



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 07 723 T2 2005.12.15**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 417 681 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 07 723.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP01/09025**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 965 170.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 03/010762**

(86) PCT-Anmeldetag: **20.07.2001**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **06.02.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.05.2004**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **08.12.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.12.2005**

(51) Int Cl.7: **G11B 7/24**  
**G11B 7/00, G11C 13/04, G11B 7/26**

(73) Patentinhaber:

**Research Investment Network, Inc., Irvine, Calif., CA**

(74) Vertreter:

**Kuhnen & Wacker Patent- und  
Rechtsanwaltsbüro, 85354 Freising**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**EL-HAFIDI, Idriss, 67100 Strasbourg, DE;  
GRZYMALA, Romualda, 67000 Strasbourg, FR;  
MEYRUEIS, Patrick, 67000 Strasbourg, FR;  
KIEFER, Renaud, 67800 Hoenheim, FR;  
TAKAKURA, Yoshitane, 67400 Illkirch, FR**

(54) Bezeichnung: **PHOTONISCHES DATENAUFZEICHNUNGSSYSTEM UNTER VERWENDUNG VON POLYPEPTID-MATERIAL, UND VERFAHREN ZUR DESSEN HERSTELLUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein einen photonischen Datenspeicher. Genauer betrifft die vorliegende Erfindung ein Speichermedium zur Verwendung in einem photonischen Datenspeicher und ein Verfahren zum Herstellen dieses Speichermediums. Und genauer betrifft die vorliegende Erfindung Vorrichtungen zum Aufzeichnen/Lesen von Informationen in/aus dem photonischen Datenspeicher. WO-A-0030084 offenbart einen photonischen Speicher wie in der Präambel von Anspruch 1 angegeben.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Die großen Speicherleistungen und relativ niedrigen Kosten für CD-ROMs und DVDs haben einen noch größeren Bedarf an noch größeren und billigeren optischen Speichermedien geschaffen. Holographische Speicher sind vorgeschlagen worden, um die Optical Disk als digitales Hochleistungs-Speichermedium abzulösen. Die hohe Dichte und Geschwindigkeit des holographischen Speichers kommt von der dreidimensionalen Aufzeichnung und dem gleichzeitigen Auslesen eines ganzen Datenpakets auf einmal. Die Hauptvorteile des holographischen Speichers sind eine höhere Informationsdichte ( $10^{11}$  Bits oder mehr), eine kurze Direktzugriffszeit ( $\sim 100$  Mikrosekunden und weniger) und eine hohe Übertragungsgeschwindigkeit ( $10^9$  Bit/s).

**[0003]** Beim holographischen Aufzeichnen wird ein Lichtstrahl aus einer kohärenten monochromen Quelle (z.B. ein Laser) in einen Referenzstrahl und einen Objektstrahl geteilt. Der Objektstrahl wird durch einen räumlichen Lichtmodulator (SLM) und dann in ein Speichermedium geleitet. Der SLM bildet eine Matrix aus Blenden, die ein Datenpaket darstellt. Der Objektstrahl passiert den SLM, der auch dazu dient, den Objektstrahl mit den binären Informationen zu modulieren, die auf dem SLM angezeigt werden. Der modulierte Objektstrahl wird dann von einem Adressierungsmechanismus auf einen Punkt auf dem Speichermedium gelenkt, wo er den Referenzstrahl schneidet, um ein Hologramm zu bilden, welches das Datenpaket darstellt.

**[0004]** Ein optisches System, das aus Linsen und Spiegeln besteht, wird verwendet, um den mit dem Datenpaket codierten optischen Strahl genau auf den speziellen adressierten Bereich des Speichermediums zu richten. Eine optimale Nutzung der Kapazität eines dicken Speichermediums wird durch Raum- und Winkel-Multiplexing erreicht. Beim Raum-Multiplexing wird ein Satz von Paketen in dem Speichermedium gespeichert, das in einer Ebene als Gruppierung von räumlich getrennten und regelmäßig ange-

ordneten Subhologrammen gebildet wird, und zwar durch Variieren der Strahlrichtung in der x-Achse und y-Achse der Ebene. Jedes Subhologramm wird an einem Punkt im Speichermedium ausgebildet, wo die rechtwinkligen Koordinaten die jeweilige Paketadresse darstellen, wie sie im Speichermedium aufgezeichnet ist. Beim Winkel-Multiplexing wird das Aufzeichnen dadurch ausgeführt, daß die x- und die y-Koordinaten beibehalten werden, während man den Einfallswinkel des Referenzstrahls im Speichermedium ändert. Durch wiederholtes Inkrementieren des Einfallswinkels wird eine Vielzahl von Informationspaketen als Satz von Subhologrammen an derselben räumlichen x- und y-Position aufgezeichnet.

**[0005]** Ein Volumen- (dickes) Hologramm erfordert ein dickes Speichermedium, normalerweise einen dreidimensionalen Körper, der aus einem Material besteht, das für die räumliche Verteilung von Lichtenergie, die durch die Interferenz eines kohärenten Lichtstrahls und eines Referenzlichtstrahls erzeugt wird, empfindlich ist. Ein Hologramm kann in einem Medium als Absorptions- oder Phasenvariation oder beides aufgezeichnet werden. Das Speichermedium muß auf einfallende Lichtmuster reagieren, die eine Änderung seiner optischen Eigenschaften verursachen. In einem Volumenhologramm können eine große Anzahl von Datenpaketen übereinander gelegt werden, so daß jedes Datenpaket ohne Verzerrung rekonstruiert werden kann. Ein Volumen- (dickes) Hologramm kann als Überlagerungen von dreidimensionalen Gittern angesehen werden, die in der Tiefe der Emulsion angeordnet sind, und die jeweils das Bragg'sche Gesetz erfüllen (d.h. ein Volumenphasengitter). Die Gitterebenen in einem Volumenhologramm erzeugen eine Änderung der Refraktion und/oder Absorption.

**[0006]** Mehrere Materialien sind wegen der ihnen eigenen Vorteile als Speichermedium für optische Speichersysteme in Betracht gezogen worden. Diese Vorteile schließen eine Selbstentwicklungsfähigkeit, Trockenentwicklung, gute Stabilität, dicke Emulsion, hohe Empfindlichkeit und nichtflüchtige Speicherung ein. Diese Materialien haben auch Nachteile gezeigt, die nachstehend erörtert werden.

**[0007]** Photorefraktive Kristalle wie jene, die zum Beispiel aus Lithiumniobat ( $\text{LiNbO}_3$ ) gebildet werden, wurden für die Echtzeit-Aufzeichnung von Volumenphasen-Hologrammen verwendet. Daten in Form von Hologrammen wurden erfolgreich in diesen Kristallen gespeichert. Der Speicherungsmechanismus besteht darin, daß die Photoelektronen in dem Kristall an jedem Punkt im Kristall umverteilt werden, wenn die Intensität des Laserstrahls eine Modifizierung des lokalen Brechungsindex bewirkt. Die photorefraktiven Materialien enthalten lokale Zentren mit eingefangenen Elektronen, die durch die Wirkung des Lichts in den leitenden Bereich angeregt werden können.

Wenn dieses Material einem Interferenzmuster ausgesetzt wird, driften und/oder diffundieren die elektrischen Ladungen der Interferenzmaxima und werden an den Interferenzminima (eingefangen) gesammelt. Das Raumladungsmuster erzeugt ein starkes periodisches Feld. Dieses Feld deformiert den Kristall durch den Pockels-Effekt und bewirkt eine Modulierung des Brechungsindex, was ein Hologramm erzeugt.

**[0008]** Jedoch haben diese photorefraktiven Kristalle eine Anzahl von Nachteilen. Zunächst besteht eine sehr niedrige Toleranz im Hinblick auf die Lokalisierung des Lesestrahls. Dies liegt daran, daß angesichts der kristallinen Beschaffenheit des verwendeten Feststoffs das Adressieren der gewünschten Daten eine Winkelabweichung im Hinblick auf den fraglichen Winkelwert von nur einigen Milliradian toleriert, was tatsächlich die Verwendung einer Lesevorrichtung von sehr hoher Präzision erfordert, was in einem nicht vertretbaren Anstieg der Herstellungskosten resultiert. Diese niedrige Toleranz trifft außerdem auf das Problem der technischen Verfügbarkeit. Zur gegenwärtigen Zeit ist kein System in der Lage, gleichzeitig eine genaue Winkelsteuerung mit einer schnellen Winkelsteuerung zu kombinieren. Entweder ist solch ein System genau, aber nicht schnell, oder es ist schnell, aber nicht genau. Außerdem liegt die Energie, die erforderlich ist, um Daten in solch einem Material aufzuzeichnen, in der Größenordnung von 1 Watt/cm<sup>2</sup>. Außerdem benötigt das Aufzeichnen eines Pakets im konventionellen Format eine Fläche von etwa 1 cm<sup>2</sup>, die darüber hinaus mit einer Tiefe des Materials von mindestens 1 cm verdoppelt werden muß, was in einem Medium von relativ großen Abmessungen resultiert. Außerdem und vor allem haben diese Materialien einen unannehmbaren Fehler, nämlich daß das Lesen der in dem Material gespeicherten Daten zu einer Löschung der Daten führt, was natürlich dem angestrebten Ziel einer Verwendung als Speichermedium völlig entgegensteht. Um dieses große Problem zu überwinden, wurde tatsächlich ein neuartiges, zerstörungsfreies Leseverfahren vorgeschlagen, das sowohl ein elektrisches Feld als auch einen polarisierten Lichtstrahl nutzt. Auf diese Weise benötigen die Hologramme mehr Energie zum Löschen der Daten als zum Speichern der Daten. Jedoch verlangt diese Technik eine Vorrichtung, deren Anwendung schwieriger ist und die auch einem schnellen Zugang zu den gespeicherten Informationen nicht förderlich ist. Die jüngsten Fortschritte auf dem Gebiet der photorefraktiven Systeme haben diese grundlegenden Probleme nicht angemessen gelöst. Physikalische Beschränkungen theoretischer Natur bestehen weiterhin, so daß es nicht vorstellbar ist, diese Probleme in der nahen Zukunft zu überwinden. Schließlich schließen die Schwierigkeiten, die sich beim Züchten der Kristalle ergeben, jegliche Reproduzierbarkeit zu wirtschaftlich vertretbaren Aufstockungskosten aus.

**[0009]** Photopolymere Materialien können auch Speicher aufgrund einer optischen Beugung bilden. Die angewandte Technik beruht auf der Polymerisierung von lichtempfindlichen Monomeren unter Einwirkung eines Laserstrahls, der das zu speichernde Hologramm trägt. Der Konzentrationsgradient der lichtempfindlichen Spezies, der sich aus dem polymerisierten Muster ergibt, bewirkt eine Diffusion der unpolymerisierten lichtempfindlichen Spezies und erzeugt ein Muster, welches die ursprüngliche optische Interferenz in eine Modulierung des Brechungsindex umwandelt.

**[0010]** Die Analyse dieser Indexmodulation mittels eines geeigneten Lesestrahls ermöglicht es, die gespeicherten Informationen wederzufinden.

**[0011]** Obwohl es zutrifft, daß diese Materialien die Speicherung relativ großer Datenmengen ermöglichen, haben sie den Nachteil, im Lauf der Zeit ziemlich instabil zu sein. Diese Instabilität kann variieren, je nachdem, ob sie Licht ausgesetzt werden, und insbesondere UV-Licht. Sogar in Abwesenheit von Licht neigen die gespeicherten Daten zum Verschwinden. Physikochemische Verfahren wurden entwickelt, um die Stabilität der gespeicherten Informationen zu erhöhen. Aber diese erweisen sich insofern als nicht sehr zufrieden stellend, als sie in allen Fällen das Rauschen deutlich erhöhen, und zwar über hinnehmbare Pegel hinaus.

**[0012]** Außerdem führen die Photopolymere zu einer Reduzierung der Dicke des Materials von etwa 7 bis 10 %, was beim Wiederfinden oder Lesen zu einer Änderung des Bragg-Winkels führt. Diese Änderung muß entweder durch Modifizieren der Geometrie des Lesesystems oder durch Modifizieren der Wellenlänge des Lesestrahls ausgeglichen werden. Dieses Verhalten des Bragg-Winkels ist eine Folge des Multiplexing, das heißt der Speicherung mehrerer Hologramme im selben Volumen. Dafür wird der Einfallswinkel des Referenzlaserstrahls während der Phase der Speicherung von Informationen im Medium modifiziert. Dieser Referenzlaserstrahl interferiert kohärent mit dem Laserstrahl, der die zu speichernden Informationen trägt und der normalerweise als Objektstrahl bezeichnet wird, so daß das Interferenzmuster oder Hologramm gebildet wird, das aufgrund der Störung des Brechungsindex im Medium gespeichert wird. Auf diese Art wird jedes Hologramm in einem einzigartigen Winkel des Referenzstrahls gespeichert. Die Trennung zwischen den im selben Volumen gespeicherten verschiedenen Hologrammen hängt von der kohärenten Natur des Hologramms ab, um ihre Wiederauffindung in der Phase in dem Volumen nur für einen definierten Winkelwert zu ermöglichen. Das Wiederfinden der gespeicherten Informationen erfordert daher die Verwendung eines Lesestrahls, dessen Eigenschaften denen entsprechen, die für das Schreiben oder Speichern verwendet wer-

den (Wellenlänge, Einfallswinkel und Position im Speichermaterial). Dieser Lesestrahls führt zu einer Beugung aufgrund der Störung im Brechungsindex, die den Eigenschaften des Strahls entspricht, wodurch der modulierte gespeicherte Strahl gebildet wird. Somit liegt die große Bedeutung der Variation des Bragg-Winkels für das korrekte und schnelle Wiederfinden der gespeicherten Informationen klar auf der Hand.

**[0013]** Parallel zu den beiden genannten Techniken wurde auch eine Technik entwickelt, die PHB (Photochemical Holes Burning) genannt wird. Diese Technik beruht auf der Nutzung von Quanteneffekten. Genauer besteht diese Technik darin, ein neues Absorptionsprofil für ein Material zu erzeugen, das der Wirkung einer Lichtquelle ausgesetzt wird. Diese Erregung ändert sich je nach den Spezies, die in dem Material vorliegen, welche andere Absorptionslinien aufweisen als der Hauptkanal. Wenn dieses Brennen von ausreichender Dauer ist, wird das Brennen der Löcher als dauerhaft bezeichnet. Materialien, die diese Eigenschaft aufweisen, sind amorphe Feststoffe (Polymere, anorganische Gläser, Xeroge), die mit organischen Molekülen dotiert sind. Innendotierte Kristalle können diese Eigenschaften ebenfalls entwickeln.

**[0014]** Der „Lochbrenn“-Effekt wird im Prinzip erzeugt, wenn das Material abgekühlt wird. Dieses Phänomen ist bei Temperaturen gleich oder unter der von flüssigem Helium (4,2K) am deutlichsten. In diesem Fall ist die homogene Absorptionslinie sehr schmal, und die Störung des amorphen Mediums ergibt Absorptionslinien, die über einen großen Bereich verteilt sind, was nicht-homogener Absorptionsbereich genannt wird. Das Medium verhält sich somit wie ein lichtempfindliches Medium, dessen spektrale Empfindlichkeit von der Wellenlänge des nicht-homogenen Absorptionsbereichs abhängt. Das Material kann dann Daten aufzeichnen: es kann für die spektrale Lochbrennholographie verwendet werden. Die verwendete Lichtquelle ist ein Farbstofflaser zum Aufzeichnen bei mehreren Wellenlängen in einem dotierten amorphen Material. Während der Aufzeichnungsoperation wird das Material unter hoher Spannung in einen Kryostat gegeben. Die Schwierigkeit, die dieser Technik zum Speichern von gemultiplexten Daten innewohnt, beruht auf der Notwendigkeit, während der gesamten Aufzeichnungsoperation eine niedrige Temperatur beizubehalten. Eine andere Schwierigkeit besteht darin, die Wellenlängen des Farbstofflasers sehr genau zu steuern. Folglich ist diese Art der Technik in der unmittelbaren Zukunft für die Speicherung in diffraktiven Speichern nicht vorstellbar.

**[0015]** Somit haben die oben erörterten Materialien Nachteile, wenn sie als holographische Speichermedien verwendet werden. Zusätzlich zum Vermeiden

der oben genannten Nachteile ist es wünschenswert, ein Speichermaterial zu entwickeln, das eine hohe Beugungseffizienz und einen niedrigen Crosstalk-Effekt hat.

**[0016]** Die Beugungseffizienz ist ein Speichermedienparameter, der das Verhältnis des Lichts des für die Datenpaketrekonstruktion verwendeten Lesestrahls zum Gesamtlicht des Lesestrahls, der auf das Hologramm fällt, bedeutet. Somit benötigt ein Material mit einer hohen Beugungseffizienz für jede Leseoperation, mit der ein Paket wiedergefunden wird, weniger Energie.

**[0017]** Ein Crosstalk tritt während des Wiederauffindens der gespeicherten Daten auf und führt dazu, daß die gewünschten Daten und die daneben liegenden Daten gleichzeitig abgerufen werden. Das Interferenzmuster der benachbarten Daten beeinflusst die Qualität der gesuchten Informationen erheblich. Dieses Crosstalk-Problem hängt direkt mit der Winkel-Bandbreite jedes Hologramms zusammen, das heißt mit der Halbwertsbreite der maximalen Beugungseffizienz als Funktion des Einfallswinkels, auch als Winkelbereich definiert, in dem der einfallende Referenzstrahl variieren kann, ohne die Qualität der Informationen, die in einem ausgelesenen Paket enthalten sind, zu senken.

**[0018]** Sobald ein adäquates Speichermaterial für die Speicherung von holographischen Informationen gefunden ist, wird das Material zu einem Speichermedium geformt (z.B. einer rechteckigen Matrix, einem Würfel, einer Scheibe), und entsprechende Vorrichtungen werden anschließend entwickelt, um Informationen auf dem Material aufzuzeichnen und aus diesem auszulesen. Die Apparate werden so entworfen, daß sie sich die Eigenschaften des Materials zunutze machen. Zum Beispiel kann ein Speichermaterial einen schnelleren Zugriff auf Informationen ermöglichen oder eine geringere Genauigkeit bei der Positionierung des Strahls erfordern und trotzdem den Crosstalk im Bereich einer zu erwartenden Toleranz halten. Ein Steuerungsmechanismus, der normalerweise von einem Rechner gesteuert wird, steuert die optischen Strahlen sowohl während der Aufzeichnungsphase als auch der Schreibphase an, um die optischen Strahlen exakt an einem bestimmten Punkt und in einem bestimmten Winkel bezüglich des Speichermediums zu fokussieren. Für den Designer eines holographischen Speichersystems stellt es eine erhebliche Herausforderung dar, einen Mechanismus zu konstruieren, der den Strahl innerhalb der benötigten Toleranzen exakt positioniert, insbesondere den Winkel des Strahls.

#### GEGENSTAND DER ERFINDUNG

**[0019]** In Anbetracht des Vorhergehenden ist es Gegenstand der vorliegenden Erfindung, ein photoni-

sches Datenspeichersystem bereitzustellen unter Verwendung eines Materials, das es ermöglicht, sowohl die Speicherleistung erheblich zu erhöhen als auch parallel dazu die Zugriffsgeschwindigkeit zu optimieren, d.h. die Zeit, die für den Zugriff auf die gesuchten Informationen benötigt wird, zu begrenzen.

**[0020]** Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist die Entwicklung eines Polypeptidmaterials zum Aufzeichnen und Speichern von Informationen durch interferometrische Codierung mit einem Referenzlaserstrahl.

**[0021]** Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist die Entwicklung eines Polypeptidmaterials, in dem Informationen durch ein Interferenzmuster mittels Raum- und Winkel-Multiplexing gespeichert werden können.

**[0022]** Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist die Entwicklung eines Polypeptidmaterials mit minimalem Crosstalk, in dem Informationen durch ein Interferenzmuster mittels Winkel-Multiplexing gespeichert werden können.

**[0023]** Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist die Entwicklung eines Polypeptidmaterials, in dem Informationen durch ein Interferenzmuster mittels Winkel-Multiplexing mit hoher Beugungseffizienz gespeichert werden können.

**[0024]** Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, eine Software zum exakten Positionieren des Winkels des Lesestrahls in einem Polypeptidmaterial bereitzustellen.

**[0025]** Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, ein photonisches Datenspeicherungssystem mit Transformationsknoten innerhalb eines optischen Pfads bereitzustellen, um den Lesestrahl innerhalb einer Genauigkeit auf das Speichermedium zu richten, welche die Beschaffenheit des Speichermaterials berücksichtigt.

**[0026]** Die Ziele und Vorteile ergeben sich aus der folgenden Offenbarung.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0027]** Um die oben erwähnten Ziele zu erreichen, liegt ein photonisches Datenspeicherungssystem vor wie in Anspruch 1 angegeben. Daten werden anhand eines interferometrischen Verfahrens in dem Speichermedium codiert. Das Aufzeichnungsmedium besteht aus einem Polypeptidmaterial auf der Grundlage von oder abgeleitet von einem Collagen, wie Schweinehaut-Collagen, Hühnerbein- (Knochen-) Collagen und dergleichen. Das Polypeptidmaterial umfaßt ein Gel aus Polypeptid auf der Grundlage von chromdotiertem Collagen, in dem alpha- und be-

ta-Ketten in den Abschnitten überwiegen, so daß das Gewichtsverhältnis der alpha/beta-Ketten über 1 liegt.

**[0028]** In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt das Gewichtsverhältnis der alpha/beta-Ketten zwischen etwa 1,2 und etwa 2,1.

**[0029]** In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird das Chromdotieren durch Zugabe eines Chrom(VI)-Salzes in einer wäßrigen Lösung zur Polypeptidlösung in einer Menge von etwa 5 bis etwa 10 Gew.-% des trockenen Polypeptids, bevorzugt etwa 10 %, durchgeführt. Eine Zugabe von 5 % Chrom(VI)-Salz ergibt eine Chrombelastung von etwa 100 mg pro 100 ml Polypeptidlösung (5 % Polypeptid).

**[0030]** In noch einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt das durchschnittliche Molekulargewicht des Polypeptid-Ausgangsmaterials zwischen etwa 120 000 und etwa 150 000 Dalton, vorzugsweise bei etwa 120 000 Dalton.

**[0031]** Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt die Viskosität des Polypeptidgels zwischen etwa drei und etwa vier Centipoise, vorzugsweise bei etwa 3,5 Centipoise, unter Standardbedingungen.

**[0032]** In noch einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung kann das Polypeptid mit einem Härtungs- (Gerb-, Vernetzungs-) Mittel dotiert oder behandelt werden. Härten wird bevorzugt.

**[0033]** In noch einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung umfaßt das Härtungsmittel ein wasserlösliches Chrom(III)-Salz, wenn es vor dem Belichten gehärtet wird, oder Alaun, wenn es während des Entwickelns gehärtet wird.

**[0034]** Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird das Polypeptid auf Collagen-Basis oder das von Collagen abgeleitete Polypeptid mit einem Tensid behandelt, wie einem fluorierten Tensid oder einem Fluorkohlenstofftensid.

**[0035]** In noch einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Polypeptidmaterial für den Zweck der Herstellung eines Speichermediums hergestellt. Ein Polypeptid, normalerweise in Form eines trockenen Pulvers, von biologischem Ursprung, wie Collagen, wird in Wasser, vorzugsweise in entionisiertem Wasser, für einen Zeitraum von etwa zwei bis etwa zehn Stunden bei Raumtemperatur angelöst, um eine mindestens Teil-Polypeptidlösung zu bilden. Während der Anlösung quillt das Polypeptid. Die Lösung wird dann auf zwischen etwa 40 und etwa 60 Grad Celsius erwärmt, bis das Polypeptid völlig aufgelöst ist. Die Polypeptidlösung wird dann mit Cr(VI)

(einem Chromium+6-Salz) und optional mit einem Tensid und/oder Härtungsmittel dotiert. Danach wird die Lösung über einen Zeitraum von etwa 15 bis etwa 60 Minuten bei einer Temperatur von etwa 55 bis etwa 60 Grad Celsius gehalten. Die Lösung wird dann filtriert. Die auf diese An erhaltene Lösung kann zum zukünftigen Gebrauch gelagert oder als Anstrich oder Schicht auf einem Glas- oder Kunststoffsubstrat aufgebracht werden. Wenn sie für den zukünftigen Gebrauch gelagert wird, wird die Lösung unter gekühlten Bedingungen im Dunkeln gelagert. Die so aufgebrauchte Lösung wird dann abgekühlt und getrocknet, um ein Polypeptidgel-Speichermedium zu liefern. Die oben genannten Schritte, beginnend mit dem Dotieren mit Cr(VI), können unter Verwendung von dunkelrotem aktinischem Licht durchgeführt werden. Das fertiggestellte Speichermedium wird bei kalten Temperaturen um null Grad Celsius im Dunkeln gespeichert, um seine Lichtempfindlichkeit zu bewahren.

**[0036]** In noch einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung kann das Substrat vor dem Auftragen der Lösung, und wird auch vorzugsweise, mit einer dünnen hydrophilen Adhäsionsschicht versehen, um eine bessere Haftung zwischen dem Polypeptidgel und dem Substrat zu ergeben. Die Adhäsionsschicht wird zwischen dem Substrat und der Polypeptidgelschicht angeordnet.

**[0037]** Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die Polypeptidlösung auf dem Glas- oder Kunststoffsubstrat aufgebracht. Glassubstrate können durch Schwerkraftbeschichtung beschichtet werden. Kunststoffsubstrate werden vorzugsweise durch Extrusionsbeschichtung oder mit der Rakelmethode überzogen. Foliensubstrate können mit dem Meyer-Stabbeschichtungsverfahren oder durch Walzentauchen überzogen werden.

**[0038]** In einem weiterem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die Polypeptidlösung zwischen zwei Flächengebilden, wie Glas- und/oder Kunststoff-Flächengebilden, geformt. Bei einem der Flächengebilde kann es sich um Metall, Keramik oder Stein handeln, mit einer planen, glatt polierten Oberfläche. Die Polypeptidlösung wird zwischen den Flächengebilden ausgebreitet, und eine innere Oberfläche, d.h. eine darauf gerichtete Oberfläche eines der Flächengebilde, wird mit einem hydrophoben Film oder Überzug beschichtet, um zu verhindern, daß die Polypeptidlösung an der planen, glatt polierten Oberfläche haftet. Die Polypeptidlösung haftet am anderen Flächengebilde, einem klaren, transparenten Flächengebilde. Die Dicke des fertigen Speicher- oder Aufzeichnungsmediums wird von dem Abstand zwischen den Flächengebilden definiert, der durch zwischen die zwei Flächengebilde gelegten Unterscheiben gesteuert werden kann.

**[0039]** In einem noch weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird das belichtete Aufzeichnungsmedium entwickelt, d.h. fixiert oder fixiert/gehärtet, dehydratisiert und getrocknet. Eine transparente Platte oder ein transparentes Flächengebilde wird auf die Oberseite des entwickelten Aufzeichnungsmediums geklebt, um das aufgezeichnete Medium vor Feuchtigkeit und Abrieb zu schützen. Alternativ dazu kann die obere oder belichtete Oberfläche des entwickelten Aufzeichnungsmediums mit einer Lackschicht oder einem Lacküberzug geschützt werden. Vorzugsweise hat die Schutzplatte oder der Schutzlack einen Brechungsindex nahe dem des Polypeptids. Der Lack muß an der freiliegenden Oberfläche des dotierten Polypeptids haften und muß inert sein, um nicht mit der Polypeptidschicht zu reagieren. Außerdem muß die Schutzplatte oder der Schutzlack für die Wellenlänge des Lichts, das verwendet wird, wenn das belichtete, beschriebene Aufzeichnungsmedium gelesen wird, optisch transparent sein. Der Lack kann als Einzelschicht aufgebracht oder abgeschieden werden oder kann in mehreren Schichten aufgetragen werden, solange er das optische Signal während des Lesens nicht stört. Vorzugsweise ist der Lack hydrophob, nicht hydrophil und ist nicht wasserlöslich.

**[0040]** Das belichtete Aufzeichnungsmedium wird in einer Fixiermittellösung bei einer Temperatur von zwischen etwa 20 und etwa 22 Grad Celsius entwickelt. Gegebenenfalls kann das belichtete Aufzeichnungsmedium vor dem Entwickeln gehärtet werden. Wenn zuvor kein Härten durchgeführt wurde, werden das Fixieren und das Härten vorzugsweise zusammen durchgeführt. Wir haben gefunden, daß eine kombinierte Behandlung mit einem Fixiermittel der Marke Kodak und einem Härtungsmittel der Marke Kodak reproduzierbare Ergebnisse und ein hervorragend beschriebenes Medium ergibt. Das belichtete Aufzeichnungsmedium wird etwa 4 bis etwa 10 Minuten lang in eine Lösung des Fixiermittels oder aus Fixiermittel und Härter gegeben. Während der Entwicklung verändert das Aufzeichnungsmedium seine Farbe von einer orangebraunen in eine farblose oder sehr hell grün gefärbte Platte. Der Härtungsschritt ist wichtig, da der Härtungsvorgang die entwickelte Platte physikalisch stabiler gegen die Einflüsse von Luftfeuchtigkeit und Temperatur machen kann.

**[0041]** Normalerweise muß das Polypeptid nur einmal gehärtet werden, entweder im Anschluß an die Dotierung mit Cr(VI) oder unmittelbar vor oder gemeinsam mit dem Fixieren. Vorzugsweise wird das Polypeptid während des Fixierungsschritts gehärtet.

**[0042]** Die behandelte Platte, fixiert und optional gehärtet, wird in einem Wasserbad gewaschen und mit einem mit Wasser mischbaren inerten, niedrig siedenden organischen Lösemittel, wie Methanol, Ethanol, Isopropanol, Aceton oder dergleichen dehydrati-

siert. Vorzugsweise wird die Dehydratisierung schrittweise unter Verwendung immer trockener Lösemittel durchgeführt, beispielsweise mit vier aufeinanderfolgenden Bädern aus 25%-igem Alkohol, 50%-igem Alkohol, 75%-igem Alkohol und schließlich 100%-igem Alkohol. Die Dehydratisierung wird vorzugsweise unter Rühren durchgeführt. Die Dehydratisierung dauert in jedem gerührten Alkoholbad nur einige Minuten. Nach der Dehydratisierung wird das belichtete, gehärtete, fixierte, gewaschene Aufzeichnungsmedium, d.h. das mit beschriebene Medium, bei erhöhter Temperatur getrocknet, um das organische Lösemittel zu entfernen, wodurch man das auf einem Substrat, wie einer Platte, einem Flächengebilde oder einer Folie aufgebrachte Polypeptidgel-Aufzeichnungsmedium erhält. Der Trocknungsschritt kann im Vakuum durchgeführt werden.

**[0043]** In einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung werden digitale Informationen in einem Speichermedium gespeichert, das alternativ als aus einem Polypeptidmaterial bestehendes Speichermedium bezeichnet wird. Ein Referenzlichtstrahl und ein Objektlichtstrahl schneiden sich in dem Polypeptidmaterial und bilden ein Interferenzmuster, das durch die ganze Dicke des Speichermediums gespeichert wird. Das Speichermedium bildet ein Volumenphasengitter, in dem das Interferenzmuster ausgebildet wird.

**[0044]** In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt das Polypeptidmaterial in Form eines durch rechtwinklige Koordinaten (x,y) definierten flachen Flächengebildes vor. Ein Paket aus digitalen Informationen, die auf dem Objektlichtstrahl moduliert sind, wird an einer Stelle der Ebene des flachen Flächengebildes als Subhologramm kodiert.

**[0045]** In einem noch anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die Variierung der Winkelrichtung des Referenzlichtstrahls durch einen variablen Abstand von einem bis vier Grad bewirkt.

**[0046]** In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt das Speichermaterial in Form eines durch rechtwinklige Koordinaten (x,y) einer Ebene des flachen Flächengebildes definierten flachen Flächengebildes vor. Mindestens fünfzehn einzelne Variationen werden in einer Winkelrichtung des Referenzlichtstrahls durchgeführt, um eine Wellenfront des Objektlichtstrahls zu kodieren.

**[0047]** Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt ein System vor, das ein Speichermedium aufweist, das aus einem Polypeptidmaterial besteht und in dem digitale Informationen als eine Vielzahl von Paketen gespeichert sind, die durch die gesamte Dicke des Speichermediums gespeichert sind. Ein Leselichtstrahl ist so ausgelegt, daß er mindestens eines der Pakete in dem Speichermedi-

um adressiert.

**[0048]** In noch einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird der Lesestrahls von einem oder mehreren Transformationsknoten, die auf dem optischen Pfad des Lesestrahls angeordnet sind, auf einen aus einer Vielzahl von Punkten gerichtet und geformt, welche eine Matrix auf dem Speichermedium definieren, wie von einer oder mehreren ursprünglichen Speicherbedingungen und einem oder mehreren Operationsparametern definiert.

**[0049]** In noch einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung schließen die ursprünglichen Speicherbedingungen die Größe der Matrix, die Anzahl der Punkte der Matrix und die physikalischen Eigenschaften des Polypeptidmaterials ein. Die physikalischen Eigenschaften des Polypeptidmaterials schließen eine Auswahl der Moleküle, aus denen es besteht, ein sowie Ergebnisse eines Verfahrens zum Herstellen des Polypeptidmaterials. Das Verfahren zum Herstellen des Polypeptidmaterials bestimmt die Wellenlängenempfindlichkeit des Polypeptidmaterials und schließt ein Beschichtungsverfahren ein. Das Aufzeichnungsverfahren wird durch mindestens einen der folgenden Parameter definiert: Wellenlänge, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und die physikalischen Eigenschaften des Substrats des Polypeptidmaterials. Das Nachbelichtungsverfahren wird von Faktoren bestimmt wie den physikalischen Eigenschaften der Bäder und von physikalischen Parametern wie der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit.

**[0050]** In noch einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung schließen die Operationsparameter die gewünschte Zeit ein, die es dauert, um auf das Speichermedium zuzugreifen, die Art des verwendeten Aktivierungsmittels, den Grad der Miniaturisierung und den Grad der Auflösung.

**[0051]** In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung bestehen die Knoten aus dynamischen Vorrichtungen. Die dynamischen Vorrichtungen sind ausgewählt aus einer Gruppe, bestehend aus Spiegeln, Mikrospiegeln, die mit einer rotierenden Komponente verbunden sind, akustooptischen Komponenten, Beugungsgittern, die mit Flüssigkristallen, Kerr-Zellen und Pockels-Zellen verbunden sind. Die räumliche Anordnung der dynamischen Vorrichtungen und die Steuerung ihrer Ausrichtung werden von einer Software gehandhabt.

**[0052]** In noch einem anderen Aspekt die vorliegende Erfindung werden Komponenten an den Knoten positioniert, um den Lesestrahls abzulenken. Die Komponenten umfassen zwei akustooptische Vorrichtungen, die auf eine bekannte Art den Lesestrahls in Winkelrichtung entsprechend der Frequenz der verwendeten Ultraschallwellen beugen. Die Komponenten umfassen ferner ein Beugungsgitter, das den

akustooptischen Vorrichtungen nachgeschaltet und so ausgerichtet ist, daß ein Strahl, der von den akustooptischen Vorrichtungen ausgeht, die aktive Fläche des Gitters in einem ersten Winkel trifft, der so optimiert ist, daß ein gebeugter Strahl in einem zweiten Streifwinkel herauskommt. Die Komponenten umfassen weiter mindestens eine dynamische Winkelablenkvorrichtung, die dem Gitter nachgeschaltet ist, und die den Strahl, der von dem Gitter ausgeht, auf das Speichermedium lenkt.

**[0053]** Weitere Ziele, Vorteile und neuartige Merkmale der vorliegenden Erfindung werden für den Fachmann aus dieser Offenbarung einschließlich der folgenden detaillierten Beschreibung ebenso wie durch die Durchführung der Erfindung offensichtlich. Obwohl die Erfindung nachstehend mit Bezug auf eine bevorzugte Ausführungsform beschrieben wird, sollte verstanden werden, daß die Erfindung nicht auf diese beschränkt ist. Für einen durchschnittlichen Fachmann, der Zugang zu den Lehren hierin hat, werden weitere Implementierungen, Modifizierungen und Ausführungsformen, ebenso wie weitere Anwendungsgebiete naheliegen, die im Bereich der Erfindung liegen wie sie hierin offenbart und beansprucht ist, und im Hinblick auf welche die Erfindung von besonderer Nützlichkeit sein könnte.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

**[0054]** Um ein umfassenderes Verstehen der vorliegenden Erfindung zu ermöglichen, wird nun auf die angefügte Zeichnung Bezug genommen. Diese Zeichnung sollte nicht als einschränkend für die vorliegende Erfindung betrachtet werden, sondern sie soll nur der Erläuterung dienen.

**[0055]** [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Aufzeichnen eines Interferenzmusters gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0056]** [Fig. 2](#) ist eine schematische Darstellung einer Matrix aus in einem Speichermedium gebildeten Punkten.

**[0057]** [Fig. 3](#) ist ein Ablaufschema eines Algorithmus, der verwendet wird, um Datenpakete auf dem Speichermedium aufzuzeichnen.

**[0058]** [Fig. 4](#) ist ein Blockschema, das für die Schreibphase gemäß der vorliegenden Erfindung beispielhaft ist.

**[0059]** [Fig. 5A](#) ist eine schematische Darstellung eines Knotenadressier-Designs gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0060]** [Fig. 5B](#) zeigt eine Vorrichtung zum Steuern der Position des Laserstrahls gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0061]** [Fig. 6A](#) ist eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Aufzeichnen von Informationspaketen in einem Speichermedium gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0062]** [Fig. 6B](#) ist eine perspektivische Ansicht der Vorrichtung zum Lesen einer Zeile der Matrix des Speichermediums.

**[0063]** [Fig. 6C](#) zeigt die Vorrichtung zum Lesen einer Zeile, die so konfiguriert ist, daß sie die erste Zeile der Matrix liest.

**[0064]** [Fig. 6D](#) zeigt die Vorrichtung zum Lesen einer Zeile, die so konfiguriert ist, daß sie die letzte Zeile der Matrix liest.

**[0065]** [Fig. 6E](#) zeigt die geometrische Beziehung zwischen den optischen Elementen der Vorrichtung zum Lesen einer Zeile der Matrix gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0066]** [Fig. 6F](#) zeigt ein Beispiel für Winkelkombinationen von zwei Spiegeln zum Lesen eines Pakets, das sich an Punkt 1 befindet.

**[0067]** [Fig. 6G](#) zeigt ein Beispiel für Winkelkombinationen von zwei Spiegeln zum Lesen eines Pakets, das sich an Punkt 10 befindet.

**[0068]** [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) sind eine schematische Ansicht bzw. eine perspektivische Ansicht einer anderen Ausführungsform zum Lesen von Informationspaketen in einem Speichermedium gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0069]** [Fig. 7](#) ist eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Lesen von Informationspaketen mittels einer Vielzahl von Mikrospiegeln gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0070]** [Fig. 8](#) ist eine schematische Darstellung einer Ausführungsform zum Lesen von Informationspaketen mittels einer MEOMS-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0071]** [Fig. 9](#) ist eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Messen der Beugungseffizienz eines holographischen Gitters.

**[0072]** [Fig. 10](#) zeigt berechnete Werte für die rechtwinkligen Koordinaten und den Winkel, in dem der Laserstrahl in dem Speichermedium positioniert wird.

**[0073]** [Fig. 11](#) zeigt die Berechnung von Galvanometeraktorenwerten als Funktion von rechtwinkligen Koordinaten und Winkel.

**[0074]** [Fig. 12](#) ist ein Blockschema, das für die Schreibphase gemäß der vorliegenden Erfindung



beispielhaft ist.

[0075] **Fig. 13** zeigt die Molmassenverteilung eines Collagens von Industriegüte gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0076] **Fig. 14** zeigt ein industrielles Verfahren der Polypeptidherstellung gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0077] **Fig. 15** zeigt die Verfahrensschritte bei der Herstellung von Polypeptidmaterial gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0078] **Fig. 16** zeigt ein Verfahren für die Vorbehandlung von Glas oder Kunststoffplatten, um die Haftung von dotiertem Polypeptid an den Platten zu verbessern, gemäß der vorliegenden Erfindung.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0079] Beschrieben wird ein photonisches Speichersystem gemäß der vorliegenden Erfindung, welches ein Aufzeichnungs- (Speicher-) Material, eine Datenaufzeichnungs/Speicherungs-Vorrichtung zum Aufzeichnen von Informationen auf diesem Speichermedium und eine Adressierungs/Datenlese-Vorrichtung zum Lesen der aufgezeichneten Informationen aus diesem Speichermedium umfaßt. Das photonische Datenspeichersystem überwindet die Beschränkungen der im Stand der Technik erörterten früheren holographischen Systeme.

#### Das Material

[0080] Es wird ein Holographiesystem gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben, das ein Aufzeichnungsmedium (auch als photonisches Datenspeichermedium, Aufzeichnungsmaterial, Datenspeichermedium, holographischer Volumenspeicher, Datenspeicher-Aufzeichnungsmaterial, Speichermedium und Polypeptid-Aufzeichnungsmaterial bezeichnet), eine Datenaufzeichnungs/Speicherungs-Vorrichtung zum Aufzeichnen von Informationen auf dem Aufzeichnungsmaterial und eine Adressierungs/Lese-Vorrichtung zum Lesen der aufgezeichneten Informationen aus dem Aufzeichnungsmaterial umfaßt.

[0081] In **Fig. 15** sind die Schritte einer der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dargestellt. Trockenes Polypeptidpulver wird mit destilliertem Wasser gemischt, was eine etwa 5%-ige Polypeptidmischung ergibt. Man läßt die Mischung absitzen, damit das Polypeptid vollständig vom Wasser gequollen wird. Dann wird die Mischung in einem Wasserbad auf eine Temperatur zwischen etwa 55 und etwa 60 °C erwärmt, um das Polypeptid vollständig zu lösen. Eine 5 bis 10%-ige Ammoniumdichromat-Lösung

wird zu der Polypeptidlösung gegeben und gerührt, um das Polypeptid zu dotieren. Um die Konzentration des Polypeptids in der Lösung aufrechtzuerhalten, wird zusätzliches Wasser zugegeben, um das Wasser zu ersetzen, das während des Erwärmens durch Verdampfung verloren geht. Nach Abschluß des Dotierungsschritts wird die dotierte Polypeptidlösung filtriert und dann in einem Wasserbad bei einer Temperatur zwischen etwa 55 und etwa 60 °C über einen Zeitraum von etwa 15 bis etwa 60 Minuten thermostatiert, um das thermische Gedächtnis des Peptids zu löschen. Die thermostatische Polypeptidlösung wird dann auf eine glatte Glas- oder Kunststoffplatte oder -folie aufgebracht. Die Platte befindet sich normalerweise auf einem Warmbeschichtungstisch in einer Reinraumumgebung, um einen glatten, gleichmäßigen Überzug der dotierten Polypeptidlösung auf der Platte zu bilden. Der Tisch wird dann abgekühlt, um die Platte und die Polypeptidlösung abzukühlen, um die dotierte Polypeptidlösung erstarren zu lassen. Dann wird die kalte Platte mit der kalten Polypeptidschicht in eine Atmosphärenkammer gegeben, um das Wasser aus der Polypeptidschicht zu entfernen. Dies liefert das unbelichtete Aufzeichnungsmedium. Das Aufzeichnungsmedium kann dann für die Lagerung in eine Kühlvorrichtung gegeben oder belichtet werden, wie hierin beschrieben, um Informationen aufzuzeichnen. Nach der Belichtung wird die Platte mit Hilfe eines Fixiermittels entwickelt und vorzugsweise gleichzeitig gehärtet. Nach der Entwicklung wird die entwickelte belichtete Platte in mindestens zwei Wasserbädern gewaschen und dann durch Waschen in einem 25%-igen Alkoholbad, dann einem 50%-igen Alkoholbad, dann einem 75%-igen Alkoholbad und schließlich nacheinander mit zwei 100%-igen Alkoholbädern dehydratisiert, um sämtliches Wasser aus dem entwickelten belichteten Medium zu entfernen. Das dehydratisierte Aufzeichnungsmedium wird dann bei etwa 100 °C etwa 1 Stunde lang gebrannt, um sämtlichen Alkohol auszutreiben. Die belichtete Oberfläche des dehydratisierten Aufzeichnungsmediums wird dann durch Aufkleben einer Glas- oder einer Kunststoffplatte auf die Oberfläche oder durch Überziehen der Oberfläche mit einem Lack geschützt. Wenn ein Lack aufgebracht wird, wird der Lack vorzugsweise durch Ultraviolettlicht gehärtet.

[0082] All die oben genannten Schritte, ab dem Punkt der Zugabe von Ammoniumdichromat zu der Polypeptidlösung bis zur Entwicklung werden im Dunkeln oder allenfalls bei rotem inaktinischem Licht durchgeführt. Eine Einwirkung von aktinischer Strahlung oder Licht vor dem Entwickeln oder während oder nach dem Dotieren mit Ammoniumdichromat belichtet das Aufzeichnungsmedium und zerstört seine Fähigkeit, Daten aufzuzeichnen.

[0083] **Fig. 16** die bevorzugte Vorbehandlung der Glasplatten (jede Kunststoffplatte hat ihre eigene op-

timale Bearbeitung), um die Haftung des dotierten Polypeptids an der Platte zu verbessern. Das Haftmittel wird dadurch gebildet, daß man 0,5 Gramm Polypeptid in destilliertes Wasser (100 Milliliter) gibt. Man läßt die Gelatine in dem destillierten Wasser quellen. Die resultierende Mischung wird auf 40 °C erwärmt, um eine Gelatinelösung zu bilden. Ein Milliliter einer 10%-igen Chromalaunlösung wird der Gelatinelösung zugegeben und eingerührt. Die mit Chromalaun dotierte resultierende Polypeptidlösung wird bei 30 °C thermostatiert. Saubere Platten werden in die resultierende Lösung getaucht und senkrecht angeordnet, um in einer sauberen Kammer zu trocknen. Die gelatine Lösung bildet nach dem Trocknen auf der Oberfläche der Platte eine haftende Oberfläche, die ohne weiteres mit dem dotierten Polypeptid bindet.

#### Das Polypeptidmaterial

**[0084]** Das Polypeptidmaterial zur Verwendung als Aufzeichnungsmedium umfaßt gemäß der vorliegenden Erfindung eine Lösung aus Peptid auf der Basis von chromdotiertem Collagen, wobei in dieser Lösung die alpha- und beta-Ketten, aus denen das Polypeptid besteht, überwiegend in solchen Anteilen vorliegen, daß das alpha/beta-Verhältnis größer als 1 ist und vorteilhafterweise zwischen etwa 1,2 und etwa 2,1 liegt. Dieses Polypeptidmaterial biologischen Ursprungs durchläuft eine vorbereitende Behandlung, bevor es auf ein Substrat aufgebracht wird. Das Aufzeichnungsmedium wird vor der Verwendung in einer Atmosphäre mit einer definierten Temperatur und bei einer definierten relativen Luftfeuchtigkeit gehalten und gespeichert.

**[0085]** Das Polypeptid-Ausgangsmaterial mit einem durchschnittlichen Molekulargewicht zwischen etwa 120 000 und etwa 150 000 Dalton, vorzugsweise etwa 120 000 Dalton, wird von einem Grundmaterial erhalten, das aus einem Collagen besteht. Nun wird ein Verfahren zum Herstellen eines Polypeptidmaterials für das Aufzeichnungs- oder Informationsmedium gemäß der Erfindung nachstehend in größerer Einzelheit beschrieben.

**[0086]** Dieses Verfahren besteht erstens aus dem Anlösen und Quellen eines Polypeptids biologischen Ursprungs in Wasser, vorzugsweise entionisiertem Wasser, für etwa zehn Stunden bei Raumtemperatur. Das Polypeptid ist in der Regel als trockenes Pulver erhältlich. Es werden Polypeptide gewählt, die das gewünschte alpha-Kette-zu-beta-Kette-Gewichtsverhältnis, ein durchschnittliches Molekulargewicht, das Gele mit der gewünschten Gelierungsleistung bilden kann, aufweisen, und die die gewünschte, oben beschriebene Viskosität aufweisen. Die auf diese Weise erhaltene Teillösung wird auf eine Temperatur zwischen etwa 40 und etwa 60 °C erwärmt, bis sich das Polypeptid völlig gelöst hat. Dann werden die Dotie-

rungsmaterialien zugegeben, insbesondere die Chrom(VI)-Salze. Das Ziel besteht darin, diese Dotierungsmittel oder Additive völlig zu lösen.

#### Collagen, Hydrolyse

**[0087]** Wenn Collagen in ein wasserlösliches Polypeptid umgewandelt wird, beispielsweise durch alkalische oder saure Hydrolyse, kommt es normalerweise zu einer Denaturierung, was zu einem Verlust der Helixstruktur des Collagens führt. Das Collagen wird aus einer Reihe von tierischen Quellen erzeugt, wobei Knochen, Häute und Sehnen von Tieren verwendet werden. Abhängig von der Collagenquelle unterscheiden sich die Materialeigenschaften des Polypeptids etwas aufgrund der molekularen Beschaffenheit des Polypeptids aus der Collagenquelle. Sogar Collagene von derselben Tierart können sich je nach dem geographischen Lebensraum des Tiers unterscheiden. Außerdem können Herstellungsverfahren zu Unterschieden zwischen den resultierenden Polypeptiden führen.

**[0088]** Aus Collagen erzeugte Polypeptide sind im Handel erhältlich und werden in der Nahrungsmittel-, Arzneimittel-, Kosmetik- und fotografischen Filmindustrie eingesetzt.

**[0089]** Die besten Ergebnisse, die wir bis zu diesem Zeitpunkt erhalten haben, kommen von Polypeptiden, die durch die Hydrolyse von Schweinehautcollagen und Geflügelbeincollagen erzeugt werden. Solche Polypeptide sind leicht verfügbar, weil sie in der Kosmetikindustrie verwendet werden. Polypeptide wurden von mehreren Erzeugern erworben und in der vorliegenden Erfindung mit Erfolg verwendet. Das Polypeptid aus Schweinehautcollagen, das von der SKW Company erzeugt wird, die in Südfrankreich ansässig ist, weist ein Gewichtsverhältnis von alpha-Kette zu beta-Kette zwischen etwa 1,2 und etwa 1,3 auf, das sich als sehr geeignet erwiesen hat. Wir haben Polypeptide aus Hühner- und Putencollagen verwendet mit einem alpha-zu-beta-Gewichtsverhältnis von etwa 1,5 und von etwa 2,0 bis etwa 2,1, die durch alkalische Hydrolyse erzeugt wurden.

**[0090]** Wenn sie verfügbar sind, erzeugen Polypeptide, die durch gentechnische Verfahren unter Verwendung von Bakterien erzeugt wurden, wahrscheinlich ein konsistentes Standard-Polypeptid, das die meisten Abweichungen in dem Polypeptid eliminiert. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist es nicht in gewerblichen Mengen verfügbar, obwohl kleine Partien auf Forschungsebene hergestellt worden sind. Wir haben diese Polypeptide nicht getestet. Wir haben gefunden, daß handelsübliche auf Polypeptid basierende Collagene, d.h. Polypeptide, die von Collagenen abgeleitet wurden, auch in den chemischen Katalogen von SIGMA MERCK KNOX NITTA KONICA und CRODA COLLAIS zu finden sind. Wir haben diese

Polypeptide nicht getestet.

**[0091]** Die Moleküle in Collagen bestehen aus Aminosäuren, die durch Peptidbindungen verknüpft sind, die in einer Dreifachhelix verbunden sind. Die Moleküle von Collagen aus verschiedenen Quellen unterscheiden sich durch die Aminosäuresequenz auf der Helix und der Position jeder Aminosäure auf der Helix. Aminosäuren können auf der Helix häufig wiederkehren. Die Architektur des Collagenmoleküls ist um eine Hauptkette herum organisiert. Jeder dritte Kohlenstoff wird von einem Glyzin besetzt. Aminosäuren, die am häufigsten auf der Collagenmolekülkette gefunden werden, sind Glyzin, Prolin, Hydroxyprolin und Alanin. Dies sind die häufigsten Aminosäuren, obwohl sich auch viele der anderen Aminosäuren normalerweise auf einem Collagenmolekül finden.

**[0092]** Collagene sind keine reinen Materialien, da sie viele andere chemische Bestandteile aufweisen, einschließlich von Lipiden und einigen Mineralien. Manche dieser Verunreinigungen werden im Anschluß an eine Hydrolyse und die Abtrennung des wasserlöslichen Polypeptidas auf das Polypeptid übertragen. Mineralien sind normalerweise zu weniger als 2 Gew.-% und normalerweise weniger als 1 Gew.-% des Polypeptids vorhanden.

#### Das Polypeptid, Hydrolyse

**[0093]** Obwohl jedes auf Collagen basierende Polypeptid in der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann, finden wird, daß die Polypeptide aus hochreinen Collagenen von Industriegüte, insbesondere die Collagene vom Typ I (Typ I-Collagene stammen im Wesentlichen aus Säugetierquellen) und die Collagene von Hühnern und Puten sich am besten eignen.

**[0094]** Etwa die Hälfte des Molekulargewichts liegt zwischen etwa 34 000 und 125 000 Dalton. (Siehe [Fig. 13](#)). Wie oben erwähnt, wird das Polypeptid durch Hydrolyse von Collagen erzeugt. Siehe [Fig. 14](#), wo ein typisches industrielles Verfahren dargestellt ist. Bei der Hydrolyse kann es sich entweder um eine saure Hydrolyse oder eine alkalische Hydrolyse handeln. Jeder Hersteller von Collagenpolypeptiden verwendet seine eigenen Hydrolyseverfahren. Sie wählen die Bedingungen, wie die Collagenbelastung, die Konzentration der Säure oder Base, die speziellen Säuren oder Basen, die für die Hydrolyse verwendet werden, die Temperatur der Hydrolyse, die Dauer der Hydrolyse und dergleichen so aus, um ein Polypeptidprodukt zu erhalten, das wasserlöslich ist und ein durchschnittliches Molekulargewicht von etwa 120 000 Dalton aufweist. Durch Modifizieren der Bedingungen der Hydrolyse kann der Hersteller das durchschnittliche Molekulargewicht und den Molekulargewichtsbereich des resultierenden Polypeptids vergrößern oder verkleinern. Obwohl andere Poly-

peptide, die andere durchschnittliche Molekulargewichte haben, verwendet werden können und obwohl der Bereich von Molekulargewichten im Polypeptid von fast einer Million bis weniger als 25 000 Dalton betragen kann, finden wir, daß das Polypeptid mit einem durchschnittlichen Molekulargewicht von zwischen 120 000 und 150 000 Dalton, vorzugsweise etwa 120 000 Dalton, in der vorliegenden Erfindung zufriedenstellend funktioniert.

#### alpha- und beta-Ketten

**[0095]** Zwei grundlegende Polypeptidkomponenten werden während der Hydrolyse erhalten, genannt alpha- und beta-Ketten. Eine andere Komponente, die gamma-Kette, kann ebenfalls erhalten werden.

**[0096]** Die alpha-Ketten sind Komponenten mit einem durchschnittlichen Molekulargewicht von etwa 95 000. Die beta- und gamma-Ketten sind Komponenten, die jeweilige durchschnittliche Molekulargewichte von etwa 190 000 und etwa 285 000 haben, wobei die gamma-Komponente dem Tropocollagen ähnlich ist. Die Alphakette ist der Abschnitt des Polypeptids, der ein Molekulargewicht von mehr als 70 000 Dalton und weniger als 125 000 Dalton aufweist. Die beta-Kette ist der Abschnitt des Polypeptids, der ein Molekulargewicht von mehr als 125 000 Dalton, aber weniger als 230 000 Dalton aufweist. Die gamma-Kette ist der Abschnitt des Polypeptids, der ein Molekulargewicht von mehr als 230 000 Dalton, aber weniger als 340 000 Dalton aufweist. Andere restliche Komponenten können während der Hydrolyse ebenfalls erzeugt werden.

**[0097]** Gemäß einem Merkmal der Erfindung beruht das Material, das verwendet wird, um das Aufzeichnungsmedium oder den Hinterlegungsspeicher herzustellen, auf einem Polypeptid, in dem das Gewichtsverhältnis von alpha- zu beta-Ketten größer als 1 ist, und vorteilhaft zwischen etwa 1,2 und etwa 2,1 liegt. Es zeigt sich in der Tat, daß mit einem solchen Verhältnis die Beugungseffizienz erhöht ist, wobei die Menge selbst als Verhältnis der Energie des gebeugten Signals zur Energie des einfallenden Lichts definiert ist. Obwohl wir gefunden haben, daß ein Gewichtsverhältnis der alpha- und beta-Ketten von größer als 1 für die Durchführung der Erfindung wesentlich ist, haben wir auch gefunden, daß die hochmolekularen Bestandteile dem Material seine Photonenempfindlichkeit verleihen. Wir glauben, der Grund dafür ist, daß es während der Gelatine- oder Gelbildung leichter ist, aus nicht-getrennten Polypeptidmolekülen (höhermolekularen Bestandteilen), die eine Dreifachhelix-Architektur aufweisen, zu gelieren als für Einfachhelix-Polypeptidmoleküle (niederermolekulare Bestandteile), die eine einfache Helix aufweisen, wie eine alpha-Kette. Durch Erhöhen des Gewichtsverhältnisses von alpha- zu Beta-Ketten erreichen wir eine niedrigere Beugungseffizienz.

**[0098]** Wenn wir den Ursprung des Collagens ändern, beispielsweise von Schweinecollagen zu Hühner- oder Putencollagen wechseln, bekommen wir eine Änderung des optimalen Verhältnisses für die Beugungseffizienz, das die Säurehydrolyse von Schweinehaut ein Gewichtsverhältnis von alpha- zu beta-Ketten von 1,2 bis 1,3 ergibt, während die Säurehydrolyse von Knochen (Hühner- oder Putencollagen) ein Gewichtsverhältnis von alpha- zu beta-Ketten von etwa 1,5 ergibt. Es besteht auch eine andere Beziehung bei der Beugungsoptimierung. Photonenparameter wie die Lichtempfindlichkeit hängen von der Wahl des Polypeptidmoleküls ab. Die Anpassung der Beugungseffizienz (die zum Beispiel mit der Belichtungszeit und dem Photonenenergiepegel zusammenhängen), werden je nach dem Ursprung der Polypeptidmoleküle nicht gleich sein, beispielsweise sind sie zwischen Schwein- und Hühner- und Putenpolypeptid (leicht) unterschiedlich.

**[0099]** Während der Säurehydrolyse von Collagen werden Querverknüpfungen nicht zerstört. Wenn alpha- und beta-Ketten erzeugt werden, werden daher auch gamma-Ketten erzeugt. Bei der Alkalihydrolyse werden kovalente Vernetzungen zwischen Collagenketten aufgebrochen und es können mehr alpha-Ketten erzeugt werden als bei der Säurehydrolyse. Die relativen Prozentsätze der alpha-, beta- und gamma-Ketten hängt vom Collagen und den Details des Hydrolyseverfahrens ab, das vom gewerblichen Hersteller bestimmt wird. Es besteht eine Beziehung zwischen der eine Molekulargewichtsverteilung und der Verteilung der alpha-, beta- und gamma-Ketten. (Siehe [Fig. 13](#)). Um ein besser gesteuertes Standard-Polypeptid aus handelsüblichen Collagenquellen zu erhalten, kann man eine Enzymverdauung anwenden. Wir haben diesen Weg bisher nicht beschrritten.

**[0100]** Bei der gewerblichen Herstellung des Polypeptids aus Collagen kann der Hersteller eine gewisse Steuerung der hochmolekularen und niedermolekularen Komponenten ausüben durch Entfernen durch Filtrierung, Zentrifugenabtrennung und differentielle Abtrennung durch Kühlen der wäßrigen Polypeptidlösung. Derzeit ist es nicht möglich, ein Polypeptid zu erzeugen, das nur die alpha-, beta- und gamma-Bestandteile umfaßt. Die Hydrolysetemperatur hat auch eine Wirkung auf die Verteilung der alpha-, beta- und gamma-Ketten. Eine Hydrolyse bei niedrigeren Temperaturen begünstigt die Erzeugung einer höhermolekularen Fraktion, während eine Hydrolyse bei höheren Temperaturen die Erzeugung von niedrigeremolekularen Fraktionen erhöht und die Produktion von alpha-Ketten begünstigt.

#### Das Polypeptidgel

**[0101]** Das Polypeptidmaterial, das gemäß der Erfindung als Aufzeichnungsmedium verwendet wird, liegt in Form eines Gels vor, das auf einem Substrat

getragen ist. Ein Polypeptidgel ist eine gesättigte Form eines weichen Materials, die auf die Solbildung aus einer Flüssigkeit folgt, wo Wasser ein Lösemittel ist und Polypeptid ein Substrat ist. Das Gel kann Verunreinigungen oder Fehler haben. Die Fehler können sich aus dem Aufbau des Gels ergeben, und die Verunreinigungen können aus Fremdmaterialien bestehen, die vom Collagen stammen. In der Praxis der vorliegenden Erfindung besteht eine Toleranz für diese beiden Kriterien.

**[0102]** Es wurde gezeigt, daß die Fähigkeit des Materials unter optimalen Bedingungen die Hologramme aufzuzeichnen und zu speichern, die für die aufzuzeichnenden Daten stehen, von der Qualität dieses Gels abhängt. Die Viskosität und Gelierungsleistung des Polypeptids beeinflusst die Lichtempfindlichkeit des dotierten Polypeptids. Somit sind Viskosität und Gelierungsleistung kritisch für das Erreichen von optimalen Ergebnissen der vorliegenden Erfindung. Je höher die Viskosität und die Gelierungsleistung des Polypeptids sind, desto höher muß die Belichtungsenergie sein. Die Gelierkraft dieses Polypeptidgels kann durch eine Größe definiert werden, die als „Bloom“-Kraft bezeichnet wird. Diese Größe erlaubt die Bestimmung der Anzahl der Wasserstoffbindungen pro Einheitsvolumen. Sie steht in direkter Beziehung mit der Gelierleistung des Polypeptids. Vorteilhaft liegt die Gelierkraft des Polypeptids zwischen etwa 90 und etwa 300 Bloom und genauer nahe bei etwa 250 Bloom, um optimale Aufzeichnungen zu erhalten. Die Gelierkraft wird mit einem Gelometer mittels eines Verfahrens gemäß dem AFNOR NF V 59-001 oder BSI BS 757 (1975) Standard bestimmt. Die Beschaffenheit des Gels kann auch durch den Schmelzpunkt, den pH-Wert, Verunreinigungen im Gel, der Molekulargewichtsverteilung, dem durchschnittlichen Molekulargewicht und der Viskosität bestimmt werden. Die Gelierkraft wird vor dem Dotieren des Polypeptids mit einem Tensid, Cr(VI), Härtungsmittel, Weichmacher und dergleichen gemessen.

**[0103]** Die Viskosität des Polypeptids ist ebenfalls ein wichtiges Kriterium in der vorliegenden Erfindung. Die Viskosität des Polypeptids stellt einen Faktor dar, der mit der Qualität des Aufzeichnungsmediums zusammenhängt. Die Viskosität steht in direkter Beziehung zur die Länge der Molekülketten, aus denen das Polypeptidmaterial besteht. Zu Beginn unserer Untersuchung maßen wir die Viskosität des Polypeptids zwischen etwa 3 und etwa 4 Centipoise. Jedoch zeigen neuere Ergebnisse, daß die Viskosität näher an etwa 3,5 Centipoise liegt, gemessen mit dem Standardverfahren. Die Viskositätsmessungen wurden in milliPascalsekunden durchgeführt. Die Viskositätsmessungen wurden bei 60 °C mit einer 6,67gew.-%igen Polypeptidlösung in Wasser durchgeführt. Es wurde die Zeit verwendet, die eine 6,67gew.-%ige Polypeptidlösung benötigte, um in dem Standardverfahren zum Probenehmen und Tes-

ten von Gelatine (hierin als „Standardverfahren“ bezeichnet) durch eine viskosimetrische Kapillarpipette zu fließen. Die Viskositätsmessungen kommen vor dem Dotieren des Polypeptids.

**[0104]** Das Polypeptidgel wird gebildet, indem man das Polypeptidmaterial, das im Handel normalerweise in Form von festen Blättchen oder Pulver vorliegt, nimmt und das Polypeptidmaterial in entionisiertes Wasser mischt. Das Polypeptid wird 2 bis 10 Stunden im Wasser gelassen. Während dieser Zeit absorbiert das trockene Polypeptidmaterial das Wasser und quillt auf und bildet zumindest eine Teillösung. Dann wird das Polypeptid auf eine Temperatur zwischen etwa 40 und etwa 60 °C erwärmt, um eine Polypeptidlösung zu bilden. Die Polypeptidlösung wird in Konzentrationen von etwa 5 Gew.-% bis etwa 10 Gew.-% des trockenen Polypeptids erzeugt. Die Polypeptidlösung wird dann mit Chrom(VI)-Ion behandelt oder dotiert, wie nachstehend beschrieben.

#### Polypeptid-Dotierungsschritt

**[0105]** Wie schon erwähnt, wird das Polypeptid mit einem Chrom(VI)-Salz dotiert. Das Polypeptid wird in Lösung mit einer Lösung aus löslichem Chrom(VI)-Salz, die etwa 5 bis etwa 20 Gew.-% Salz, vorzugsweise etwa 5 bis 10 Gew.-% Salz enthält, unter Verwendung von wasserlöslichen Salzen, wie Ammoniumdichromat, Kaliumdichromat und dergleichen, dotiert. Pyridindichromat kann auch verwendet werden. Dies ist das lichtempfindlichste der Dichromatsalze, aber seine Verwendung verringert die Lagerbeständigkeit des Aufzeichnungsmediums. Die Dichromatsalzlösung wird bei einer Temperatur von etwa 55 bis etwa 60 °C in die Polypeptidlösung (etwa 5 Gew.-% bis etwa 10 Gew.-% Polypeptid) gegossen. Die Zugabe ist eine Massenzugabe, obwohl schrittweise erfolgende Zugaben auch angewendet werden können. Die resultierende dotierte Lösung wird bewegt, d.h. gerührt. Wir haben gefunden, daß ein Rühren über 10 bis 15 Minuten ausreicht. Das Dotieren mit Chrom(VI)-Salz wird in einer Menge von etwa 5 bis etwa 15 Gew.-% des verwendeten trockenen Polypeptids, vorzugsweise von etwa 10 Gew.-% durchgeführt. Das Dotieren mit Chrom(VI)-Salz kann in Mengen von weniger als 5% oder in Mengen von über 10% durchgeführt werden. Wenn es mit weniger als 5 Gew.-% Chrom(VI)-Salz dotiert wird, ist das dotierte Polypeptid nicht so empfindlich gegen aktinisches Licht wie Polypeptide, die mit einer höheren Beladung von Chrom(VI)-Salz dotiert wurden. Wenn mit weniger als 5 Gew.-% Chrom(VI)-Salz dotiert wird, ist eine höhere Photonenergie für das Aufzeichnen nötig als bei Polypeptiden, die mit etwa 5 bis etwa 10 Gew.-% Chrom(VI)-Salz dotiert werden. Das Polypeptid kann mit bis zu 25 bis 26 Gew.-% Chrom(VI)-Salz dotiert werden. Jedoch kann bei den höheren Beladungen eine Oberflächenkristallisation des Polypeptids auftreten. Eine Beladung von 25

oder 26 % Chrom(VI)-Salz ist nicht praktikabel, da Polypeptide das Chromiumion sättigen, wodurch das Polypeptid praktisch nutzlos für die Aufzeichnung der vorliegenden Erfindung wird. Eine Chrom(VI)-Ionenkonzentration von über 15 Gew.-% des Polypeptids kann zu einer Sättigung der Lichtabsorption durch die Polypeptidschicht führen. Die Folge davon ist die Entstehung von Rauschen. Andere Chrom(VI)-Salzbeladungen können möglich sein, aber wir finden, daß für eine dotierte Polypeptidbeschichtung auf einem Aufzeichnungsmedium von 30 Mikrometer Dicke eine Dotierung von etwa 5 bis etwa 15 % Chrom(VI)-Salz sich für die Durchführung der vorliegenden Erfindung gut eignet. Die fertige dotierte Polypeptidlösung weist vorzugsweise eine Konzentration zwischen etwa 100 und etwa 200 mg Chrom(VI)-Ionen pro 100 ml 5%-iger Polypeptidlösung bis etwa 200 bis etwa 400 mg Chrom(VI)-Ionen pro 100 ml Polypeptidlösung auf. Das Cr(VI)-Dotieren und alle anschließenden Schritte bis zur Entwicklung werden im Dunklen durchgeführt, obwohl rotes inaktinisches Licht verwendet werden kann. Das Cr(VI)-Polypeptid ist empfindlich gegenüber aktinischer Strahlung oder Licht.

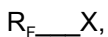
**[0106]** Es wurde gezeigt, daß das latente Bild, d.h. die holographischen Daten, die in dem Polypeptid des Aufzeichnungsmediums aufgezeichnet sind, auf die intermolekulare Übertragung von Ladungen (Elektronen) von dem Polypeptid zu dem Chrom(VI) (Cr+6) zurückgehen, welches eine Reduktionsreaktion zu Chrom(V) (Cr+5) durchläuft. Gleichzeitig wird das Polypeptid oxidiert. Während des Entwicklungsschritts, der auf den Aufzeichnungsschritt folgt, wird das Chrom(V) (Cr+5) seinerseits zu Chrom(III) (Cr+3) reduziert, das von den polaren Gruppen der Peptidketten komplexiert wird, wodurch stabile Bindungen kovalenter Natur entstehen. Das Chrom(V), das in der konstitutiven Matrix des Materials unreduziert bleibt, wird während der Fixierungs- und Waschschriffe mit wäßrigem Fixiermittel und Wasser, die nachstehend detaillierter beschrieben sind, entfernt.

**[0107]** Wiederum gemäß einer anderen günstigen Eigenschaft der Erfindung kann die verwendete dotierte Polypeptidlösung auch vor oder nach dem Cr(VI)-Dotieren mittels eines Härtungsmittels gehärtet werden, beispielsweise mit wäßriger Chrom(III)-Lösung, für die ein lösliches Cr(III)-Salz in einer Menge von etwa 5 Gew.-% des trockenen Polypeptids verwendet wird. Die Härtungsmittel sollen die mechanische Integrität des Polypeptids verbessern. Eine Härtung beeinflusst auch die optischen Eigenschaften des Aufzeichnungsmediums. Das Härtungsprodukt reagiert mit den ionisierten Teilen des Polypeptidmoleküls, wodurch es kovalente Bindungen erzeugt und ein dreidimensionales Netzwerk bildet. Vorzugsweise wird das Härten während des Fixierens durchgeführt.

**[0108]** Dieses Härtungsmittel kann aus löslichen

Chrom(III)-Salzen oder anderen löslichen Härtungsmitteln oder Polypeptiden bestehen, wie Metallionen, welche Aluminium-, Cobalt-, Eisen-, Platin-, Titanium-, Zirconiumsalze oder dergleichen umfassen, oder mit organischen Härtungsmitteln, wie Aldehyden (Formaldehyd, Glyoxal, Glutaraldehyd, Croton- und Bernsteinsäurealdehyd, Acrolein), Aldehydcarboxylverbindungen (Glyoxylverbindungen), polymeren Aldehyden (para-Aldehyd), Ketonen (Diacetyl, 3-Hexen-2,5-dion, Chinon), Carbon- und Kohlensäure-Derivaten, Sulfonateestern und Sulfonylhalogeniden, Epoxiden (Butadienepoxid, Ethylenglycoldiglycidylether) Aziridinen, aktiven Olefinen (Divinylsulfon, Divinylketontriazine), Isocyanaten, Carbodiimiden, polymeren Härtungsmitteln und dergleichen. Diese anderen Arten von Polypeptidhärtern sind für diese Erfindung nicht getestet worden, und ihre Verwendung kann gewisse Anpassungen des Verfahrens im Hinblick auf die Konzentrationen des Härtungsmittels, der Behandlungsdauer, der Behandlungstemperatur und dergleichen erfordern.

**[0109]** Die dotierte Polypeptidlösung kann mit einem Tensid behandelt werden, wie einem Fluorkohlenstoff-Tensid. Die Verwendung solch eines Tensids hilft, die Oberflächenspannung der Polypeptidlösung zu reduzieren. Solch ein Tensid kann eine Formel der nachstehenden halbentwickelten Form haben:



wobei  $R_F$  einen stabilen fluorhaltigen Rest darstellt und X eine stabilisierende oder hydrophile Gruppe darstellt. Das Tensid verbessert das Oberflächen-Finish der dotierten Polypeptidschicht auf einem Substrat und verbessert gleichzeitig den Überzug der Letzteren auf einem Substrat, was eine Automatisierung ermöglicht. Das Tensid ist ein nicht-reaktives Material in der Polypeptidlösung, das durch eine Reduzierung der Zugfestigkeit der Polypeptidlösung eine bessere Beschichtung liefert. Das 3M-Produkt CF129 hat sich für die Verwendung in der vorliegenden Erfindung als ziemlich geeignet erwiesen. Die Zusammensetzung von CF129 wird folgendermaßen angegeben: 51 % Kaliumfluoralkylcarboxylate, 31 % Wasser, 14 % Z-Butoxyethanol, 4 % Ethylalkohol. Wir haben ausreichend Tensid zugegeben, um eine Beladung von etwa 0,005 Gew.-% Tensid pro 100 Milliliter Polypeptidlösung zu ergeben. Wenn keine korrekte Tensidmenge zugegeben wird, klebt oder haftet die Polypeptidbeschichtung oder die resultierende Schicht möglicherweise nicht an dem Substrat. Wir haben gefunden, daß die genannte Menge an 3M CF129-Tensid praktisch jedes Mal zufriedenstellende Ergebnisse liefert. Es können auch andere Tenside verwendet werden, wie ein Tensid, das in der Polypeptidlösung und dem Polypeptidgel löslich ist und das die Belichtungsempfindlichkeit des Aufzeichnungsmediums oder die Qualität der in dem belichteten und entwickelten Aufzeichnungsmedium gespeicherten Daten nicht negativ beeinflusst. Eine geringfügige Abnahme der Belichtungsempfindlichkeit und Qualität

der gespeicherten Daten kann toleriert werden. Vorzugsweise geht das Tensid mit dem Chrom oder anderen Bestandteilen der Polypeptidlösungen und des Gels keine chemische Reaktion oder Bindung ein.

**[0110]** Die Art, wie wir das Dotierungsverfahren durchführen, schließt folgendes ein: wird geben zuerst das Tensid zu, dotieren dann die Polypeptidlösung mit der wäßrigen Chrom(VI)-Lösung und geben schließlich das Härtungsmittel dazu, wenn wir in diesem Stadium härten. Diese Reihenfolge muß nicht wesentlich sein, und es können möglicherweise andere Reihenfolgen der Zugabe möglich sein, aber wir haben sie nicht untersucht.

**[0111]** Ein Glycerol-Weichmacher kann der Polypeptidlösung ebenfalls zugesetzt werden. Der Weichmacher, den wir verwenden, ist ein Glycerol. Die Menge des Glycerols muß kontrolliert werden, wegen seiner Wirkungen bei einer niedrigen Temperatur (die Photonendatenvolumen-Leistung wird gesenkt, und es kann unter 50 °C zu einer Unschärfe kommen. Wir haben der Polypeptidlösung 5 Gew.-% Glycerol zugesetzt. Wir haben es im Anschluß an die Cr(VI)-Dotierung oder das Härten zugegeben, je nachdem was als letztes kommt. Die Reihenfolge der Zugabe muß nicht kritisch sein. Wir haben die vorliegende Erfindung erfolgreich ohne die Verwendung von Glycerol oder anderen Weichmachern durchgeführt.

**[0112]** Es kann ein Weichmacher verwendet werden, der in der Polypeptidlösung und dem Polypeptidgel löslich ist, und der die Belichtungsempfindlichkeit des Aufzeichnungsmediums oder die Qualität der in dem belichteten und entwickelten Aufzeichnungsmedium gespeicherten Daten negativ beeinflusst, verwendet werden. Eine geringfügige Abnahme der Belichtungsempfindlichkeit und Qualität der gespeicherten Daten kann toleriert werden. Vorzugsweise geht der Weichmacher mit dem Chrom oder anderen Bestandteilen der Polypeptidlösungen und des Gels keine chemische Reaktion oder Bindung ein

**[0113]** Nach der Zugabe von oder der Behandlung mit dem Dotiermittel wird die so erhaltene Lösung dann filtriert und bei einer Temperatur zwischen etwa 55 und etwa 60 °C über einen Zeitraum von etwa 15 bis etwa 60 Minuten thermostatiert, um das Wärme Gedächtnis des Polypeptids zu löschen. Wie oben erwähnt, geschieht dies in Abwesenheit von aktinischem Licht. Die erwärmte Lösung wird dann filtriert. Das Filtern kann mit einem Whatman-Filterpapier durchgeführt werden, das Poren von 20 bis 25 Mikrometer aufweist (Filter Nr. 541). Schwerkräftfiltern hat sich als recht zufriedenstellend erwiesen, obwohl eine Druckfiltrierung oder Vakuumfiltrierung auch angewendet werden kann, wenn gewünscht. Die resultierende filtrierte Lösung wird dann auf ein Substrat aufgebracht, wie nachstehend beschrieben.

**[0114]** Das Polypeptid ist ein organisches Material und kann über einen breiten Temperaturbereich eine organische Nahrung für Bakterien und Pilze darstellen. Es hat sich gezeigt, daß einige Bakterien Polypeptide bei Temperaturen zwischen 50 und 60 °C schnell angreifen. Eine Behandlung bei höheren Temperaturen ist nicht wünschenswert wegen eines möglichen Angriffs durch Bakterien und einer möglichen Hydrolyse des Polypeptids. Niedrigere Temperaturen können angewendet werden, aber bei Temperaturen von 40 °C oder darunter wird der Sol/Gel-Übergangspunkt für Polypeptide erreicht, was es schwierig macht, sämtliches Polypeptid in der Lösung zu lösen. So werden Temperaturen nahe 60 °C bevorzugt. Um einen Angriff durch Bakterien bei 60 °C zu minimieren, wird die Polypeptidlösung vorzugsweise nur für höchstens 15 Minuten bei dieser Temperatur gehalten. Es wird angenommen, daß das Cr(VI)-Dotieren und die Cr(III)-Härtung antibakterielle und antipilzliche Eigenschaften aufweisen. In unserem Reinraum haben auch nach dreitägiger Lagerung bei Raumtemperatur (20 °C) nie einen Angriff durch Bakterien bemerkt. Bei höheren Temperaturen um 50 °C haben wir nie ein Bakterienproblem festgestellt.

**[0115]** Wir glauben, daß eine Temperatur von 55 bis 60 °C notwendig ist, um etwaige letzte Polypeptidaggregate zu lösen, die sich bei niedrigeren Temperaturen gebildet haben könnten, beispielsweise beim Lagern der dotierten Lösung in einer Kühlvorrichtung vor dem Beschichten. Vorzugsweise wird die Polypeptidlösung nicht gelagert, sondern es wird direkt vom Quellen zur Herstellung der Polypeptidlösung mit der Dotierbehandlung und dem Beschichtungsschritt übergegangen. Es kann sogar besser sein, mit der Erzeugung des Polypeptids durch Hydrolyse zu beginnen und bis hin zum Beschichtungsschritt fortzufahren.

**[0116]** Die so erhaltene dotierte Lösung ist bereit zum Aufgingen, insbesondere durch eine Beschichtung, auf ein Glas- oder Kunststoffsubstrat. Wir haben gefunden, daß eine Polypeptidbeladung von etwa 5 Gew. % in der Lösung zufriedenstellende Beschichtungsergebnisse liefert. Jedoch können auch andere Beladungen verwendet werden, wie von etwa 3 % bis etwa 15 % Polypeptidlösung.

**[0117]** Vor dem Aufbringen der dotierten Polypeptidlösung auf das Substrat wird letzteres jedoch, ob es nun eine polierte Glasplatte oder eine Kunststoffplatte oder eine Folie ist, günstigerweise mit einer dünnen Haftmittelschicht überzogen, beispielsweise einem natürlich haftenden hydrophilen Mittel, so daß das Haftmittel zwischen dem Substrat und der Polypeptidlösung angeordnet wird. Was das Glassubstrat betrifft, so kann diese Haftmittelschicht aus einer Lösung bestehen, die 0,5 g Gelatine und 1 ml einer 10%-igen Chromalaunlösung in 100 ml Wasser umfaßt. Wir haben gefunden, daß eine Beschichtung für

Schwimmglas nicht notwendig ist. Jedoch könnten Haftmittelüberzüge für einige Glasplatten, wie polierte Glasplatten, benötigt oder gewünscht werden.

**[0118]** Was das Kunststoffsubstrat und insbesondere Polymethylmethacrylat- (PMMA) und Polycarbonatsubstrate betrifft, kann das Haftmittel aus einer Lösung bestehen, die Cellulose enthält. Genauer liegt die Cellulose in Form von Natrium-Carboxymethylcellulose (NCCM) vor. Eine Haftmittellösung, die 1,5 Gewichtsteile Methylvinylether/Maleinsäureanhydrid-Copolymer, 0,5 Gewichtsteile NCCM und 98 Gewichtsteile 2-Methoxyethanol umfaßt, hat gut funktioniert. Die Oberfläche von Kunststoffplatten oder -folie kann auch mit Sauerstoffplasma oder chemischer Dampfabscheidung mit Hilfe von Plasmareaktionen behandelt werden, um die Haftung zu verbessern.

**[0119]** Die Verwendung solch einer Adhäsions-schicht fördert die Haftung der Schicht des Polypeptidmaterials am Substrat.

**[0120]** Wenn ein Gravitationsbeschichtungsverfahren angewendet wird, wird eine geeignete Menge der Polypeptidlösung auf die Substrate aufgebracht; die endgültige Dicke der Beschichtung nach dem Trocknen hängt von der Konzentration der Lösung und der aufgetragenen Menge ab.

**[0121]** Wir bringen normalerweise etwa 6,5 ml dotierte Lösung (5 Gew.-% Polypeptid) pro 100 Quadratcentimeter Substratoberfläche auf, um nach dem Trocknen eine Beschichtung oder Schicht mit einer Dicke von etwa 30 Mikrometer zu ergeben.

**[0122]** Eine Schicht der Polypeptid-Aufzeichnungsmediumlösung kann geeigneterweise mittels herkömmlicher Vorrichtungen verteilt werden, wie mit einer Rakel, einer Walze, einer Düse usw. oder aber durch Spinnen. Die Polypeptid-Beschichtungslösung weist eine Polypeptidbeladung zwischen etwa 3 Gew.-% und etwa 15 Gew.-%, vorzugsweise etwa 5 Gew.-% auf. Das Polypeptid wird in ausreichender Menge aufgebracht (eine Beschichtung von 650 bis 700 Mikrometer Dicke, um eine Schicht aus Aufzeichnungsmaterial von etwa 30 bis etwa 35 Mikrometer Dicke nach dem Trocknen zu ergeben). Eine Dicke von 700 Mikrometer ist für eine 5%gew.-%ige Polypeptid-Aufzeichnungsmediumlösung zufriedenstellend und ergibt eine Aufzeichnungsmediumbeschichtung von etwa 33 Mikrometer Dicke nach dem Trocknen.

**[0123]** Wir glauben, daß verbesserte Aufzeichnungsfähigkeiten erreicht werden könnten, wenn man dotierte Polypeptidschichten hätte, die bis zu 500 Mikrometer Dicke nach dem Trocknen erreichen. Obwohl Schichten im Dickenbereich von 30 bis 35 Mikrometer leicht erhalten werden können, war es bisher nicht möglich, eine homogene Beschichtung mit einer Di-

cke bis zu 500 Mikrometer zu erhalten. Zusätzlich zu dem Problem, eine dicke homogene Schicht des dotierten Polypeptids auf einem Substrat zu erreichen, besteht auch das Problem der gleichmäßigen Trocknung und des Erreichens einer gleichmäßigen Entwicklung des „Bildes“ in einem dicken Aufzeichnungsmedium. Außer diesen beiden Problemen ergibt sich ein drittes Problem aus einer dicken Beschichtung, nämlich die Rauheit der belichteten Oberfläche der Beschichtung. Mit einer Beschichtung im Dickenbereich von 30 bis 35 Mikrometer weist die Oberfläche der Beschichtung, in einem Reinraum aufgetragen, buchstäblich die Glätte einer polierten Glasplatte auf. Unregelmäßigkeiten, Rauigkeit, physikalische Fehler im Substrat spiegeln sich auf der Oberfläche des dotierten Polypeptids wieder. Um im Hinblick auf das Beschreiben und Lesen des beschriebenen Mediums zufriedenstellende Ergebnisse zu erhalten, muß die belichtete Oberfläche des dotierten Polypeptids (die mit einer transparenten Glas- oder Kunststoffplatte oder einem Lack geschützt ist) glatt sein.

**[0124]** Alternativ kann eine Formung für dickere Beschichtungen, d.h. +35 Mikrometer, durchgeführt werden. In dieser Situation wird die Polypeptidlösung gemäß der Erfindung als Zwischenlage zwischen zwei Flächengebilden oder Platten angeordnet, wie zwei Glas- oder Kunststoff-Flächengebilden oder -Platten oder zwischen einem Glas-Flächengebilde oder einer -Platte und einem Kunststoff-Flächengebilde oder zwischen einer Metallplatte und einem Glas- oder Kunststoff-Flächengebilde oder einer -Platte. Eines der Flächengebilde wird mit einer hydrophoben Beschichtung oder einem hydrophoben Film auf der Innenseite der Schichtstruktur überzogen, beispielsweise vom Typ Silan, z.B. Dichlordimethylsilan. Für die Zwecke dieser Erfindung bedeuten Platten Flächengebilde und Platten, und Flächengebilde bedeuten Flächengebilde und Platten. Die hydrophobe Beschichtung oder der hydrophobe Film hindert die Polypeptidlösung und das Polypeptidgel daran, am Flächengebilde zu haften.

**[0125]** In dieser Situation wird die Dicke der fertigen, getrockneten Beschichtung vom Raum oder Abstand bestimmt, der zwischen den beiden Flächen der Flächengebilde besteht, und durch die Konzentration der Lösung. Der Raum oder Abstand kann durch Unterlegscheiben zwischen den Flächengebilden fixiert werden. Die Unterlegscheiben können eine Dicke zwischen etwa 500 und etwa 1000 Mikrometern haben.

**[0126]** Nachdem die Polypeptid-Aufzeichnungsmediumlösung auf die Platte oder das Flächengebilde aufgetragen wurde, wird die beschichtete Platte oder das beschichtete Flächengebilde für einen Zeitraum von etwa zwei Stunden bei einer Temperatur unter etwa 10 °C abgekühlt, beispielsweise auf einem ge-

kühlten Beschichtungstisch, um ein Gel zu bilden. Die Platte oder das Flächengebilde, die das beschichtende Polypeptid-Aufzeichnungsmediumgel trägt, wird vom Beschichtungstisch abgenommen und getrocknet. Das Kühlen kann mittels eines temperaturregulierten Beschichtungstischs in einer Umgebung mit geregelter Temperatur durchgeführt werden. Das Trocknen wird in einer Kammer mit trockener Atmosphäre durchgeführt. Es wird eine Trocknungstemperatur von etwa 10 °C – 0,5 °C verwendet. Ein Vakuum ist nicht notwendig, aber ein Vakuum könnte besonders für dickere Beschichtungen geeignet sein. Eine Vakuumtrocknung kann für gehärtete Beschichtungen auch von Nutzen sein. Das Flächengebilde mit dem getrockneten Aufzeichnungsmedium wird bei kühlen Temperaturen gelagert, wie zwischen etwa 3 und 5 °C. Die gleichen Schritte können auf die geformten dicken Beschichtungen angewendet werden.

**[0127]** Die Aufzeichnungsstrahlung auf dem Aufzeichnungsmedium gemäß der Erfindung wirkt auf die folgende Weise.

**[0128]** Wie bereits erwähnt, werden, wenn das Aufzeichnungsmedium Licht ausgesetzt wird, die Chrom(VI)-Ionen zu Chrom(V)-Ionen und Chrom(III)-Ionen reduziert. Die Letzteren reagieren mit den Polypeptidketten und bilden damit eine kovalente Bindung. Diese Bindungen bewirken ein Härten des Polypeptids und schaffen auf diese Art eine Härte-differenz zwischen den belichteten Regionen und den unbelichteten Regionen des Aufzeichnungsmediums. Wenn das belichtete Aufzeichnungsmedium entwickelt wird, findet eine weitere Reduktion der Chrom(V)-Ionen zu Chrom(III) statt. Die erste Reduktion, die Photoreaktions-Reduktion, ist sehr schnell. Die zweite Reduktion, die Entwicklungsreduktion, ist langsam. Es gibt auch eine Dunkelreaktion, die ohne Licht langsam in dem Aufzeichnungsmedium abläuft und das Chrom(VI) zu Chrom(III) reduziert. Diese letztere Reaktion begrenzt die Lagerfähigkeit des Aufzeichnungsmediums. So wird das Aufzeichnungsmedium vorzugsweise in einer Kühlvorrichtung bei niedriger Temperatur gelagert, um die Lichtempfindlichkeit aufrechtzuerhalten. Wir haben gefunden, daß das kühl (0 °C) gelagerte Aufzeichnungsmedium seine Lagerfähigkeit für mehr als ein Jahr behält. Das Aufzeichnungsmedium kann so kühl wie immerhin –18 °C gelagert werden, wenn das Aufzeichnungsmedium zuerst entfeuchtet wird, um eine Eisbildung zu verhindern. Das Aufzeichnungsmedium wird vorzugsweise im Dunkeln gelagert und nur nicht-aktinischem Licht oder nicht-aktinischer Strahlung ausgesetzt, falls überhaupt, bis es für Aufzeichnungszwecke belichtet und entwickelt wird.

**[0129]** Die Härtemodulierung erzeugt während des „Entwicklungs“-Vorgangs eine Brechungsindexmodulation. Nachdem das Aufzeichnungsmedium der



Erfindung einer Aufzeichnungsstrahlung ausgesetzt wurde, durchläuft das Aufzeichnungsmedium vorzugsweise einen „Entwicklungs“-Schritt, der notwendig ist, um die optischen Eigenschaften des Hologramms zu optimieren und um das belichtete Aufzeichnungsmedium zu stabilisieren.

**[0130]** Dieser „Entwicklungs“-Schritt besteht im wesentlichen in der Behandlung des Materials in einer wäßrigen Fixierlösung, einem Wasserbad und dann in Dehydratisierungslösungen. So durchläuft das bestrahlte oder belichtete Material eine Behandlung in einem wäßrigen Fixiermittel, während der die Chrom+6-Ionen (CrVI), die nicht umgesetzt wurden, entfernt werden, und die Chrom+5-Ionen (CrV) zu Chrom+3-Ionen reduziert werden, was nur Chrom+3-Ionen (Cr III) auf dem Polypeptid zurückläßt. Nach dem Entwickeln ist das belichtete Aufzeichnungsmedium stabil gegenüber aktinischer Strahlung oder Licht.

**[0131]** Es können herkömmliche fotografische (Silberhalogenid-) Fixiermittel verwendet werden. Kodak Markenfixiermittel 3000A hat sich als recht geeignet erwiesen. Vor oder während dieses „Fixierungs“-Schritts wird eine Härtung empfohlen, um das erhaltene Hologramm zu härten, beispielsweise anhand eines physikochemischen Verfahrens, für den Zweck der Optimierung des Aufzeichnungsmediums und dessen Bildstabilität im Lauf der Zeit. Das Nachbelichtungs-Entwickeln/Härten kann mit herkömmlichen fotografischen Fixiermitteln und Gerbmitteln oder Härtungsmitteln durchgeführt werden. Kodak Markengerbmittel 3000A hat sich als recht geeignet erwiesen. Wenn nach dem Belichten ein Härten erforderlich ist, wird das Aufzeichnungsmedium vorzugsweise in einem einzigen Schritt fixiert und gehärtet. Obwohl das Härten während des Dotierungsschritts durchgeführt werden kann, wird vorzugsweise während des Fixierens gehärtet. Ein Volumenteil Fixiermittel wird zweckmäßig mit 3 Volumenteilen Wasser gemischt, um eine 25vol.-%ige Fixiermittellösung zu liefern.

**[0132]** Dann wird das Gerbmittel oder das Härtungsmittel in einem Verhältnis von 1 Volumenteil Härtungsmittel zu 35 Volumenteilen Fixierlösung zu dieser Mischung gegeben. Es können auch andere Volumenverhältnisse verwendet werden.

**[0133]** Der Fixierschritt, der Härtungsschritt und der Fixierungs/Härtungsschritt werden zwischen etwa 20 und etwa 22 °C durchgeführt. Temperaturen außerhalb dieses Bereichs können verwendet sein, aber wir haben sie nicht getestet. Wir fanden, daß ein Fixieren und Härten bei 28 °C die Bandbreite vergrößerte. Das Fixieren oder Fixieren/Härten wird fortgesetzt, bis sämtliches Dichromat entfernt wurde (etwa 3 bis etwa 10 Minuten). Das unentwickelte Aufzeichnungsmedium ist transparent und von orangebrauner

Farbe. Nach dem Fixieren oder Fixieren/Härten wird es farblos, d.h. die orangebraune Färbung verschwindet. Das Fixieren oder Fixieren/Härten dauert vorzugsweise zwischen etwa 4 und etwa 10 Minuten.

**[0134]** Neben Kodak Markengerbmittel 3000B können auch andere Härtungsmittel verwendet werden. Jedes Härtungsmittel müßte getestet werden, um seine Wirkung auf die belichtete Platte zu bestimmen. Die Härtung kann auf eine Reihe von Arten gemessen werden, einschließlich von: Schmelzpunktänderungen, Kratzfestigkeit der Polypeptidbeschichtung, Widerstand der Polypeptidbeschichtung gegen ein Sieden und dergleichen. Ein geschätzter Wert für die am besten geeignete Härtung kann auch das Ergebnis einer Analyse des Quellens der Beschichtung auf der Platte sein, das von der absorbierten Wassermenge kommt. Das Quellen der Polypeptidschicht wird durch Messen der Änderung des Gewichts zwischen einem wassergequollenen Polypeptid und dem trockenen Polypeptid bestimmt. Das Quellen wird durch prozentuale Zunahme des Gewichts ausgedrückt  $(W - W_0)/W_0\%$ . Wobei  $W_0$  das Gewicht der trockenen Schicht anzeigt, und  $W$  das der gequollenen Schicht. Ein Polypeptid, das bis zu etwa 300 % quellbar ist, ist in der vorliegenden Erfindung brauchbar; vorzugsweise ist das Polypeptid gehärtet, so daß das Quellen zwischen etwa 190 und etwa 210 % beträgt. Für das fertige Produkt ist es wichtig, diesen Härtungsschritt gut zu steuern. Eine Infrarotbilanz kann auch angewendet werden, um den Härtungsgrad zu bestimmen.

**[0135]** Wenn die Härte des dotierten Polypeptids zu niedrig ist, kommt es in dem Hologramm zu einem hohen Maß an Lichtstreuung. Wenn andererseits die Härte des dotierten Polypeptids zu hoch ist, wird die Brechungsindexmodulation sehr reduziert, was dem angestrebten Ziel entgegen steht, da die Möglichkeit des Multiplexens im Aufzeichnungsmedium direkt von dieser Brechungsindexmodulation abhängt.

**[0136]** Diese Härte hängt von den Herstellungsbedingungen des Materials ab, wie der Konzentration der Härtungslösung und der Verweilzeit im Härtebad. Je höher der Härtungsgrad, desto größer die Abnahme des Quellens. Ein verstärktes Härten vermindert auch die Beugungseffizienz des Aufzeichnungsmediums und verschiebt den Bragg-Winkel.

**[0137]** Im Anschluß an den Fixier- und/oder Fixier/Härtungsschritt wird das Aufzeichnungsmedium in einer Reihe von mindestens zwei Wasserbädern gewaschen, um das überschüssige Fixiermittel und das überschüssige Härtungsmittel, falls vorhanden, vom Aufzeichnungsmedium zu entfernen. Der Waschschrift wird zwischen einer Temperatur von etwa 20 und etwa 22 °C durchgeführt. Andere Temperaturen können wahrscheinlich auch für das Wa-

schen verwendet werden, aber wir haben keine anderen Waschttemperaturen getestet. Jeder Waschschritt dauert zwischen etwa 3 und etwa 4 Minuten und wird vorzugsweise unter Rühren durchgeführt, um das Entfernen des Fixiermittels und des Härtungsmittels, falls vorhanden, zu unterstützen. Das Waschen kann über 4 Minuten hinaus verlängert werden, wird aber vorzugsweise für mindestens 3 Minuten durchgeführt. Nachdem das Aufzeichnungsmedium gewaschen wurde, wird es einem Dehydratisierungsschritt unterworfen.

**[0138]** Während des Dehydratisierungsschritts werden Alkohol und andere mit Wasser mischbare niedrig siedende organische Lösemittel verwendet, um Wasser aus dem Aufzeichnungsmedium zu entfernen, was ein Aufzeichnungsmedium mit einer hohen Brechungsindexmodulation ergibt, die den Interferenzstreifen entspricht, die während der Belichtung erzeugt werden.

**[0139]** Dieser Dehydratisierungsschritt muß allmählich ausgeführt werden, um die Gleichmäßigkeit über die ganze Dicke des Materials zu gewährleisten, d.h. die Kurve der Beugungseffizienz ist symmetrisch – im Inneren der Aufzeichnungsmediumschicht sind die Abstände zwischen den Streifen identisch. Der Alkohol oder ein anderes mit Wasser mischbares Lösemittel absorbiert das Wasser und ersetzt das Wasser.

**[0140]** Die Verwendung eines Alkoholbads macht es möglich, das restliche Wasser aus der Polypeptidbeschichtung oder Schicht zu entfernen. Um der Notwendigkeit einer allmählichen Entfernung des Wassers gerecht zu werden, wird es vorgeschlagen, das Material in vier oder fünf aufeinander folgende Alkoholbäder zu tauchen, die beispielsweise einen 25%-igen, einen 50%-igen, einen 75%-igen bzw. einen 100%-igen Alkohol enthalten, und zwar jeweils etwa drei Minuten lang für die ersten beiden Behandlungen und etwa fünf Minuten für die letzten Behandlungen. Vorzugsweise wird das Aufzeichnungsmedium in den letzten Badbehandlungen in zwei 100%-igen Alkoholbädern behandelt. Die Dehydratisierung wird bei derselben Temperatur durchgeführt wie die Fixierung und das Härten, nämlich zwischen etwa 20 und etwa 22 °C. Andere Badtemperaturen können wahrscheinlich auch verwendet werden, aber wir haben keine anderen Temperaturen getestet.

**[0141]** Erhöhte Wasserbadtemperaturen und Dehydratisierungsbadtemperaturen machen die Aufzeichnungsmediumschicht anfälliger für Beschädigungen. Wenn die Temperatur der Bäder erhöht wird, muß der Härtegrad des Polypeptids erhöht werden. Wenn die Badtemperatur zu hoch ist und das dotierte Polypeptid nicht genug gehärtet wurde, fällt das dotierte Polypeptid aus und läßt die Schicht des Aufzeichnungsmediums milchig aussehen. Dies kann das Wiederfinden von Informationen von der Aufzeich-

nung auf dem Aufzeichnungsmedium behindern.

**[0142]** Nachdem der Dehydratisierungsschritt abgeschlossen ist, wird der Alkohol durch etwa einstündiges Erwärmen der Platte in einem Ofen bei etwa 100 °C aus dem Aufzeichnungsmedium entfernt. Es können wahrscheinlich auch andere Temperaturen und Erwärmungszeiten verwendet werden. Die Temperatur muß unterhalb einer Grenztemperatur gehalten werden. Diese Grenztemperatur ist die Temperatur, bei der das Polypeptid eine Rekonstruktion erfährt. Diese Rekonstruktion besteht in Änderungen der Polypeptidbindungen. Diese Änderungen bewirken Modifizierungen der Photonenreaktion des Polypeptids, die jenseits dieser Temperatur nicht die optimalen Eigenschaften für ein Aufzeichnen haben. Der Alkoholentfernungsschritt kann unter Vakuum durchgeführt werden. Methanol, Ethanol und Isopropanol können mit guter Wirkung verwendet werden. Wir fanden, daß die besten Ergebnisse mit Isopropanol erhalten wurden. Methanol ist wegen seiner Toxizität nicht bevorzugt. Es scheint, daß jedes niedrige siedende inerte, mit Wasser mischbare organische Lösemittel, wie Aceton, ebenfalls verwendet werden kann. Wir bevorzugen Isopropanol, weil es leicht verfügbarer und weniger toxisch als Methanol oder Aceton ist. Methanoldämpfe sind sehr toxisch. Obwohl Butanol verwendet werden kann, fanden wir, daß es dem Aufzeichnungsmedium nur eine geringe Beugungseffizienz verlieh.

**[0143]** In der bevorzugten Ausführungsform weist das Polypeptid, das für die Herstellung eines Aufzeichnungsmediums verwendet wird, vorzugsweise so kleine Mengen an Lipiden und auch an unhydrolysierten Proteinen sowie an Staub und Metallen auf, daß eine gute optische Qualität gewährleistet ist. Der durchschnittliche optische Index der in der Erfindung verwendeten Polypeptide lag bei etwa 1,5. Wir haben Polypeptide verwendet, die optische Indizes innerhalb des Bereichs von etwa 1,49 bis etwa 1,52 hatten. Polypeptide, die optische Indizes außerhalb dieses Bereichs haben, können wahrscheinlich auch verwendet werden. Das Polypeptidmaterial ist klar und transparent. Der optische Dichtewert des Polypeptids ist signifikant, aber nicht kritisch. Eine geringe optische Dichte ist bevorzugt. Eine Änderung der optischen Dichte führt zu einer Modifikation der Beugungseffizienz. Die optische Dichte kann zwischen der belichteten Platte und der entwickelten Platte etwas unterschiedlich sein. Wir haben versucht, eine möglichst hohe optische Dichte für die belichtete Abbildung zu erreichen. Wir versuchen auch, einem möglichst großen Unterschied zwischen der optischen Dichte der unbelichteten Regionen im Vergleich zur optischen Dichte der belichteten Regionen der Platte zu erreichen.

**[0144]** Nachdem das Aufzeichnungsmedium dehydratisiert und getrocknet wurde, wird die belichtete

Oberfläche des Aufzeichnungsmedium geschützt. Bei Aufzeichnungsmedien, die auf Glasplatten oder Kunststoffplatten befestigt sind, kann die belichtete Oberfläche mit einer Glasplatte, einer klaren transparenten Kunststoffplatte oder mit einer Lackbeschichtung oder Schicht geschützt werden. Wenn das Aufzeichnungsmedium auf einer Folie aufgebracht ist, wird die belichtete Oberfläche mit einer Lackschicht oder einem Lackauftrag geschützt. Die Schutzplatten werden auf die belichtete Oberfläche des Aufzeichnungsmediums geklebt. Der Klebstoff und der Lack können UV-gehärtet werden. Die Schutzplatten und der Lack schützen das Aufzeichnungsmedium vor physikalischem Schaden, um die Wirkung von Änderungen der Luftfeuchtigkeit zu minimieren.

**[0145]** Das Aufzeichnungsmedium kann nach der Belichtungsentwicklung usw. bei Raumtemperatur oder in einer gekühlten Umgebung aufbewahrt werden. Wenn es in einer gekühlten Umgebung gelagert wird, wird das Aufzeichnungsmedium bei einer Temperatur über dem Gefrierpunkt von Wasser und über dem Kristallisationspunkt des Polypeptids gelagert, je nachdem, welcher höher ist. Wenn das Aufzeichnungsmedium unter Umständen gelagert wird, wo keine Kühlung stattfindet, wird es bei Temperaturen unterhalb des Schmelzpunkts der Polypeptidschicht gelagert.

**[0146]** Idealerweise werden die Aufnahmen unter denselben Bedingungen durchgeführt, unter denen das Aufzeichnungsmedium gelesen wird. Wir haben gefunden, daß eine Luftfeuchtigkeit von 45 bis 50 % bei einer Temperatur von etwa 21 °C für das Aufzeichnen und das Lesen ganz zufriedenstellend ist. Um reproduzierbare Ergebnisse zu gewährleisten, halten wir die Platte nach dem Entfernen der unbelichteten Platte aus der Kühlvorrichtung bei Raumtemperatur, d.h. der Temperatur, bei der die Aufzeichnung durchgeführt werden soll, und bei der gleichen Luftfeuchtigkeit, der das Aufzeichnungsmedium während des Aufzeichnens ausgesetzt ist. Während des Aufzeichnungsschritts sollte das Aufzeichnungsmedium keinen Temperaturänderungen oder Luftfeuchtigkeitsänderungen unterworfen sein. Ebenso muß man, wenn das beschriebene Aufzeichnungsmedium im gekühlten Zuständen gespeichert wird, das Aufzeichnungsmedium sich bei Raumtemperatur stabilisieren lassen. Die Lesebedingungen sind vorzugsweise unter denselben Bedingungen von Luftfeuchtigkeit und Temperatur, die während des Aufzeichnungsschritts verwendet wurden.

**[0147]** Das beschriebene Aufzeichnungsmedium mit seiner Schutzplatte oder seinem Schutzlack ist sehr stabil und kann in aktinischem Licht oder aktinischer Strahlung und bei Raumtemperatur ohne nachteilige Wirkungen gelagert werden. Sobald die beschriebene Platte einmal geschützt ist, kann sie über sehr lange Zeit in einer Umgebung mit Temperaturen

im Bereich von etwa 100 °C bis hinunter auf -20 °C gelagert werden.

**[0148]** Die schützenden Glas- oder Kunststoffplatten werden auf die belichtete Oberfläche des Aufzeichnungsmediums geklebt, wobei ein Klebstoff verwendet wird, der Glas oder Kunststoff mit dem dotierten Polypeptid verbindet. Wir haben einen Klebstoff verwendet, der einen Brechungsindex von etwa 1,56 hat. Vorzugsweise liegen der Brechungsindex der Platte und des Klebstoffs nahe am Brechungsindex des dotierten Polypeptids. Ebenso liegt der Brechungsindex des Schutzlacks nahe am Brechungsindex des dotierten Polypeptids. Die Platten werden sorgfältig auf die belichtete Oberfläche des Aufzeichnungsmediums geklebt, so daß keine Luftspalten oder Luftblasen zwischen der Kontaktfläche der Platte und der belichteten Oberfläche des dotierten Polypeptid gebildet werden.

#### AUFZEICHNUNGSPHASE

**[0149]** Die Aufzeichnungsphase schließt unter anderem die Auswahl der Eigenschaften des Aufzeichnungsmaterials, das Herstellen des Aufzeichnungsmaterials, das Berechnen der Parameter für das Adressierungssystem und das Aufzeichnen eines Lichtstrahls, der mit Informationen moduliert ist, auf dem Aufzeichnungsmaterial ein.

#### Datenaufzeichnungs/Speicher-System

**[0150]** [Fig. 1](#) zeigt eine Datenaufzeichnungs/Speicher-Vorrichtung **40** zum Speichern von Informationen in einem Speichermedium gemäß der vorliegenden Erfindung. Laser **1** emittiert einen kohärenten Lichtstrahl. Beispielsweise ist Laser **1** ein Argonlaser, der einen Strahl mit einer Wellenlänge von 514 nm emittiert. Die Belichtungsdauer für die Aufzeichnung wird durch Öffnen und Schließen einer Blende **1a** gesteuert. Der Strahl, der vom Laser **1** ausgeht, wird mittels eines Teilers **2** in einen Objektstrahl **3** bzw. einen Referenzstrahl **4** in zwei Strahlen geteilt. Der Objektstrahl **3** wird von einem räumlichem Filter **3b** filtriert und von einer Kollimatorlinse **3c** kollimiert, wonach er an einen Strahlteiler **5** geschickt wird. Der Strahlteiler **5** lenkt den Objektstrahl **3** auf eine Anzeige **6**, die eine aufzuzeichnende Abbildung anzeigt. Bei der Anzeige **6** kann es sich um jede Anzeige zum zweidimensionalen Anzeigen eines Datenpakets handeln, wie einen räumlichen Lichtmodulator (SLM) **6** oder ein Flüssigkristall-Lichtventil (LCLV).

**[0151]** Die Anzeige **6** besteht beispielsweise aus einem Flüssigkristall-Bildschirm, auf dem Daten in einem zweidimensionalen Muster aus transparenten und opaken Pixeln kodiert sind. Die Daten werden mittels eines (nicht gezeigten) Computers oder durch andere Quellen für digitale Daten oder von analogen Quellen in die Anzeigen **6** eingegeben. Die Vielzahl

von Bits, die auf dem Bildschirm der Anzeige **6** als zweidimensionales Muster aus transparenten und opaken Pixeln dargestellt werden, werden Datenpaket genannt. Das dargestellte Datenpaket stammt aus einer beliebigen Quelle, wie einem Computerprogramm, dem Internet usw. In einer Internet-Speicherungsanwendung können die angezeigten Pakete ähnlich wie die Pakete des Internet formatiert werden.

**[0152]** Der Objektstrahl **3** wird durch die aufzuzeichnenden Informationen mittels Rückwerfens von der Anzeige **6** (dargestellt) oder mittels Übertragung durch die Anzeige **6** aufgezeichnet. Der modulierte Objektstrahl **3** wird dann mittels einer geeigneten Linse **7** reduziert, so daß der Punkt der Konvergenz des modulierten Objektstrahls **3** etwas über einem Speichermedium **8** liegt.

**[0153]** Gleichzeitig durchläuft der Referenzstrahl **4** verschiedene Reflektierungen von einer Spiegelgruppe **9, 10**, von denen mindestens einer sich drehen kann, bis der Bezugsstrahl **4** zu einer Reihe von Spiegeln **11** kommt, die linear oder entlang eines Kreisbogens verteilt sind, und deren Ausrichtung den Einfallswinkel des Referenzstrahls **4** bezüglich des Objektstrahls **3** modifiziert, wiederum im Bereich des Speichermediums **8**. Auf diese Weise wird das Winkel-Multiplexing durchgeführt. Es wird ein gebeugtes optisches Bild **8a** (siehe [Fig. 2](#)) gebildet, oder genauer ein Bild, das aus der Interferenz des Objektstrahls **3** mit dem Referenzstrahl **4** entsteht, das im Speichermedium **8** gespeichert wird. Raum-Multiplexing wird durch mechanisches Versetzen des Materials **8** durchgeführt, so daß ein Datenpaket an verschiedenen Stellen des Materials **8** aufgezeichnet wird.

**[0154]** Um in der Lage zu sein, über Informationen mit den kleinsten möglichen Durchmessern zu verfügen, um sie in dem oben genannten Speichermedium **8** zu speichern, führt die Linse **7** eine Pseudo-Fourier-Transformation des Objektstrahls **3** durch, der eine Interferenz mit dem Referenzstrahl **4** durchlaufen hat. Eine pseudooptische Fourier-Transformation ist eine Fourier-Transformation, bei der die Formationsebene der Fourier-Transformation um 1 bis 5 % der fokalen Länge der Linse, die diese Fourier-Transformation erzeugt hat, versetzt wurde. So befindet sich auf der Ausgangsseite dieser Linse kein ganzes Beugungsspektrum mehr, sondern nur ein zentraler Punkt, wodurch es möglich ist, besonders durch Auswählen der geeigneten Linse, eine Spotgröße von etwa 1 mm<sup>2</sup> zu haben. Es kann gezeigt werden, daß die Informationen, die in diesem Signal enthalten sind, das aus einer Pseudo-Fourier-Transformation kommt, ausreicht und auf jeden Fall für die Informationen repräsentativ ist, die gespeichert und anschließend wiedergefunden werden sollen.

**[0155]** [Fig. 2](#) zeigt detaillierter das Speichermedium **8**, das in Form eines flachen Flächengebilde ange-

ordnet ist, das hierin als Matrix bezeichnet wird. In diesem Beispiel ist die Matrix 1 cm<sup>2</sup> groß. Jeder einer Vielzahl von Punkten auf der Matrix ist durch seine geradlinigen Koordinaten (x,y) definiert. Das Bild-Formungssystem **7** reduziert den Objektstrahl **3** auf ein Bild **8a** mit einer minimalen Größe an einem der x,y-Punkte der Matrix.

**[0156]** In diesem Fall wird ein 1 mm<sup>2</sup> großes Bild **8a** durch Bündeln des Objektstrahls **3** auf das Speichermedium **8**, das als seine Koordinate zentriert ist, erhalten. Aufgrund dieser Interferenz zwischen den beiden Strahlen **3, 4** wird ein diffraktives Bild **8a** mit einer Größe von 1 mm<sup>2</sup> in dem Speichermedium **8** zentriert an den Koordinaten der Matrix aufgezeichnet. Räumliches Multiplexing wird durch sequentielles Ändern der geradlinigen Koordinaten durchgeführt. Der Objektstrahl **3** wird auf das Speichermedium **8** fokussiert, so daß ein separates Bild an einer einzigartigen Position in der Ebene aufgezeichnet wird, die von seinen Koordinaten definiert wird (x,y). Dieses räumliche Multiplexing führt zu einer 10 mal 10 Matrix von diffraktiven Bildern **8a**.

**[0157]** Winkel-Multiplexing wird durch sequentielles Ändern des Winkels des Referenzstrahls **4** mittels Spiegel **11** ausgeführt. Das Winkel-Multiplexing wurde verwendet, um 15 – 20 Informationspakete **8b** zu erzeugen, die 15 einzelnen Varianten des Einfallswinkels des Referenzstrahls entsprechen. Ein Datenpaket wird rekonstruiert durch Verschieben des Referenzstrahls **4** in denselben Winkel und in einer räumlichen Position, in der das Datenpaket aufgezeichnet wurde. Der Abschnitt des vom Speichermedium **8** gebeugten Referenzstrahls **4** bildet die Rekonstruktion, welches von einer Detektorgruppe der CCD-Kamera erfasst wird. Das Speichermedium **8** wird mechanisch versetzt, um Datenpakete an verschiedenen Punkten durch seine Koordinaten (x,y) zu speichern.

#### Verfahren zum Positionieren des Aufzeichnungsstrahls

**[0158]** [Fig. 1](#) zeigt die Datenaufzeichnungs/speichervorrichtung **40**, die dynamische Einrichtungen aufweist, beispielsweise die Mikrospiegel **11**, welche den Referenzstrahl **4** an eine präzise Position und einen präzisen Winkel auf einen einer Vielzahl von Punkten **8a** auf dem Speichermedium **8** formen und lenken. Ein Steuermechanismus, typischerweise ein (nicht gezeigter) Computer, wird verwendet, um den Lesestrahle anzuordnen. Der Steuermechanismus sendet Signale an die Aktoren, um den Strahl auf dem Speichermedium zu positionieren.

**[0159]** Beim Winkel-Multiplexing müssen zwei Beschränkungen festgelegt werden. Die erste Beschränkung ist der Ort, der mit ausreichender Genauigkeit in Bezug auf die Koordinaten (X, Y) des Einfallspunkts der resultierenden Interferenz zwischen dem

Objekt Laserstrahl **3** und dem Referenz Laserstrahl **4** auf dem Speichermedium **8**. Die zweite Beschränkung ist der Wert des Winkels des Referenzstrahls zur Ebene des Speichermediums **8**, der innerhalb einer vorgegebenen Genauigkeit bestimmt werden muß. Die Toleranz (d.h. die Genauigkeit), innerhalb derer der Winkel bestimmt werden muß, hängt von den Eigenschaften ab, z.B. den chemischen und mechanischen Eigenschaften, wie der Dicke des verwendeten Speichermaterials.

**[0160]** Um mit diesen Beschränkungen zurechtzukommen, modifiziert die vorliegende Erfindung die räumlichen Positionen der Laserstrahlen, insbesondere des Referenz Laserstrahls **4**, durch Positionieren der Knoten bzw. Nodes, d.h. der Punkte, an denen sich die verschiedenen aktiven Elemente befinden, die an der Konstruktion der Schreibvorrichtung beteiligt sind. Die Knoten sind die Punkte, wo der Laserstrahl Form oder Richtung ändert. Der Standort dieser Knotenpunkte wird durch mit Hilfe der Software ausgeführten Berechnungen bestimmt und berücksichtigt die geometrischen Beschränkungen, denen die Schreibvorrichtung unterliegt, aber auch die Eigenschaften des Materials, z.B. chemische und physikalische Eigenschaften, wie die Dicke, in der die Daten gespeichert werden.

**[0161]** [Fig. 3](#) zeigt einen Algorithmus, der für das Aufzeichnen der Informationspakete auf einer 1 cm<sup>2</sup>-Matrix verwendet werden kann.

**[0162]** Im folgenden Beispiel ist die Anzahl der Punkte in der Matrix des Speichermediums **8** 10 × 10, wobei jeder Punkt in der Lage ist, 15 bis 20 Pakete aufzunehmen. Anders ausgedrückt, zuerst müssen die Anfangsbedingungen definiert werden, das heißt, die Grundparameter, als Funktion, durch die nicht nur der Ort, sondern auch der Typ des verwendeten Aktivators bestimmt wird. Diese Anfangsbedingungen umfassen die Größe der Matrix, die Größe der Basispunkte in dieser Matrix, die Natur des Speichermaterials und besonders die Auswahl der Moleküle, aus denen es besteht, das Verfahren zum Herstellen des Materials (z.B. Wellenlängenempfindlichkeit, Beschichtungsverfahren), das Aufzeichnungsverfahren z.B. Wellenlänge, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Natur des Substrats), und das Nachbelichtungsverfahren (z.B. die Beschaffenheit der Bäder und physikalische Parameter: Temperatur, Luftfeuchtigkeit).

**[0163]** Es ist auch erforderlich, die Operationsparameter in Betracht zu ziehen, die aus der gewünschten Zeit, die für den Zugriff auf die gewünschten Informationen nötig ist, der Art der verwendeten Aktivatoren, dem Grad der Miniaturisierung und dem Grad der Auflösung bestehen.

**[0164]** Der Grad der Miniaturisierung betrifft die Größe des Adressierungssystems. Eine Ausführ-

rungsform, ein „großes“ System, verwendet motoraktivierte zentimetrische Spiegel, die für ein qualitativ hochwertiges, aber ziemlich langsames Aufzeichnen geeignet sind, wobei jeder Spiegel eine Größe im Bereich von einem Zentimeter hat. Eine andere mögliche Ausführungsform, ein „kleines“ System, verwendet eine MEOMS (mikrooptoelektromechanisches System) Paketadressierung, wo die Festzustands-Spiegel eine Oberfläche von etwa 1 Millimeter aufweisen. Das Volumen aller Adressierungssysteme kann von einigen Litern bis zu einigen Kubikmillimetern reichen. Die Komplexität des Adressierungssystems kann in ein Chip-MEOMS oder eine Gruppe mehrerer Chips übertragen werden. Ein MEOMS ist ein Festzustands-Chip, der durch Mikrolithographie erzeugt wurde und mikromechanische Elektronik und Photonik einschließt.

**[0165]** Mit diesen verschiedenen Datenposten wird es möglich, die Dimensionen des Systems zu modifizieren, besonders mit dem Ziel, eine stärkere Miniaturisierung sowohl der Aufzeichnungsvorrichtung als auch der Lesevorrichtung zu erreichen. In der Tat wird es möglich, die vorgegebene Fokussierung des Lesestrahls, seine Positionierung auf der datentragenden Matrix, die Intensität des Lesestrahls und die Bereiche der Einfallswinkel des Lesestrahls an einem definierten Punkt (x,y) auf der Matrix beizubehalten. Diese Winkelbereiche werden ihrerseits von den Anfangsbedingungen bestimmt.

**[0166]** Die Algorithmen, verkörpert in Form der Software, berücksichtigen die Anfangsbedingungen im Falle einer Änderung der Größenordnung der Lese- oder Aufzeichnungsvorrichtung.

**[0167]** [Fig. 3](#) zeigt ein Verfahren zum Aufzeichnen von Informationen auf einem Speichermedium gemäß der vorliegenden Erfindung. Im Ablaufschema zeigt ein „Schritt“ eine Aktion an, die durch die Ausführung einer Reihe von Computeranweisungen der Software durchgeführt werden. Eine „Aktion“ bezeichnet die aufeinanderfolgenden Aktionen, die von dem optischen System durchgeführt werden, und insbesondere Aktionen, die von den Aktoren durchgeführt werden

**[0168]** In Schritt **51** wird ein General-Schnittstellenbus (GPIB) initialisiert. Der (nicht dargestellte) GPIB-Bus ist in einem (nicht gezeigten) Computer eingebaut, um die Schreibphase zu verwalten. Die Verbindungen zwischen der Ausgabe des GPIB-Busses und der Eingabe der verschiedenen Komponenten (siehe z.B. [Fig. 1](#)) und anderer Bauteile zum Formen und Lenken des Laserstrahls werden auf ihre Gültigkeit überprüft. Eine Adresse kann jeder dieser Komponenten ebenfalls zugeteilt werden. Weiterhin erlaubt es der GPIB-Bus die Aktivatoren als Kaskade verbunden zu aktivieren, da er für jede Komponente separate Adressen verwendet.

**[0169]** Bei der Aktion A wird nach der Überprüfung aller Verbindungen eine Antwort an einen Mikrocomputer geschickt, die für die Operation der Komponenten und für die Verarbeitung der Steuersignale steht.

**[0170]** In Schritt **52** wird eine Anfangsposition in der x- und y-Ebene der Matrix **8** bestimmt. Dieser Schritt soll alle Achsen (translationale und rotationale Achsen) so anordnen, daß sie ihre Anfangsstellung einnehmen. Diese Positionen entsprechen der Position des Speicherflächengebildes der Matrix **8**, und zwar auf solch eine Weise, daß der erste Punkt am anfangs programmierten Punkt aufgezeichnet wird, und daß der erste Multiplexwinkel mit diesem Punkt assoziiert wird.

**[0171]** Bei der Aktion B werden die Aufzeichnungsbedingungen (z.B. Kontrolle der Vibration; Prüfen, ob es keine Fehler im Programm gibt) normalisiert

**[0172]** In Schritt **53** wird der Anfangswinkel bestimmt. Der Referenzstrahl übernimmt den vorgeschriebenen Anfangs-Multiplexwinkelwert, der dem Anfang der Winkel-Multiplexsequenz entspricht, die auf den Wert dieses Anfangswinkels gesetzt wird.

**[0173]** Bei der Aktion C bewegen sich die Aktoren zu Positionen, um den Laserstrahl und den Multiplexing-Winkelwert zu lenken.

**[0174]** In Schritt **54** wird ein Datenpaket vom Computer an die Anzeige geschickt (z.B. SLM oder LCLV), wo es in ein Bild umgewandelt wird. Die Daten werden auf der Anzeige gemäß Beschränkungen, die Optimierungskriterien entsprechen, wie denjenigen, die mit der Bildqualität assoziiert sind, wie einem maximalen Signal/Rausch-Verhältnis, gebildet.

**[0175]** Bei Aktion D wird das Bild des Informationspakets auf dem Laserstrahl moduliert.

**[0176]** In Schritt **55** wird eine minimale Verzögerungsdauer bestimmt. Die minimale Verzögerungsdauer ist die minimale Zeit, die erforderlich ist, das Auftreten eines Rauschpegels zu verhindern, der mit Qualitätskriterien unvereinbar ist.

**[0177]** Bei Aktion E schneiden sich der Referenzstrahl **4** und der Objektstrahl **3** im Speichermaterial **8**, um ein Interferenzmuster zu bilden.

**[0178]** In Schritt **56** kommt es zur Aufzeichnung eines Datenpakets an einem Punkt, der von dem Multiplexwinkel definiert wird. Der Ausdruck „Punkt“ sollte so verstanden werden, daß er ein bestimmtes komplexes Volumen mit einem mittleren Querschnitt von  $1 \text{ mm}^2$  bezeichnet. Die Aufzeichnungsdauer hängt von der mittleren Leistung und von der Wellenlänge der verwendeten Laserquelle und von dem notwendigen Grad der Modulierung ab, um die Daten mit

einem annehmbaren Rauschpegel wiederzufinden. Der Grad der Modulation hängt vom Grad der Photosensibilisierung des Materials ab, das für das Speichern der Daten verwendet wird. Die Belichtungszeit wird aus Antwortkurven erhalten. Diese Antwortkurven stellen das Maß der Beugungseffizienz eines im lichtempfindlichen Material aufgezeichneten holographischen Gitters dar.

**[0179]** Bei Aktion F wird der Winkel verändert, um Daten im gleichen Punkt der Matrix aufzuzeichnen.

**[0180]** In Schritt **57** wird der nächste Winkel gewählt. Es gibt eine Wiederholung des 53 C-54-D -55 E -56 F Verfahrens.

**[0181]** Schritt **58** stellt die Wiederholungsschleife dar, in der Daten für eine Vielzahl von Winkeln im gleichen Punkt der Matrix aufgezeichnet werden. Die Minimalanzahl von Winkeln, die jedem gemultiplexten Punkt in einer Ebene entsprechen, ist 15, und die Maximalnummer ist mehr als 20.

**[0182]** Bei Aktion G geht das Verfahren nach Multiplexing über alle möglichen Winkel für den gleichen Punkt zum nächsten Punkt über, indem es einfach die (x,y)-Position auf der Matrix ändert.

**[0183]** In Schritt **59** wird die Position inkrementiert. Einstellung der besten Punktedichte je nach den Betriebskriterien. Im beschriebenen Beispiel beträgt der (x,y)-Matrixabstand 1 Millimeter.

**[0184]** Bei Aktion H geht der Laserstrahl, nachdem er einen Punkt der Matrix beschrieben hat, zur nächsten Zeile in der Matrix über, und die Operationen B bis G werden wiederholt.

**[0185]** Versuche haben gezeigt, daß die Anzahl der Multiplexwinkel von verschiedenen Parametern abhängt, einschließlich natürlich von der Beschaffenheit des Materials, d.h. der Beugungseffizienz des Materials und der Fähigkeit des Materials zur Begrenzung von Crosstalk-Effekten.

#### Ablaufschema für Schreibphase

**[0186]** Wie in [Fig. 4](#) dargestellt, beginnt die Schreibphase bei Schritt **110** mit einer Bestimmung der Anfangsbedingungen, z.B. der Punktgröße, des Abstands zwischen den Punkten, der Anzahl der Multiplexing-Winkel, dem Winkelabstand, der Dichte der x,y-Punkte (vertikal und horizontal), des Spitzenwerts der spektralen Empfindlichkeit des dotierten Polypeptids. Dann wird in Schritt **115** eine Tabelle von Adreßwerten bestimmt. Die Adreßwerte sind die Koordinaten zum Positionieren des Laserstrahls auf der Matrix **8**. Die Adreßwerte beziehen sich auf Winkelwerte für das Multiplexen in einem Punkt und auf x,y-Abstandswerte zwischen Punkten. Dann werden

in Schritt **116** die Eigenschaften des Speichermaterials gewählt und anhand dieser Eigenschaften werden Parameter für das Aufzeichnungsverfahren, wie die Belichtungszeit **117**, die Multiplexing-Winkel **118** und die Nachverarbeitungs-Belichtung **119**, bestimmt. Die Daten werden dann durch Winkel-Multiplexing in Schritt **120** in der Matrix **8** gespeichert.

**[0187]** In Schritt **116** beziehen sich die gewählten Eigenschaften des Aufzeichnungsmaterials auf die chemische Konzentration. Diese Konzentration spielt eine Rolle beim Bestimmen des optimalen Pegels der Photonenenergie, die notwendig ist, um eine optimale Beugungseffizienz zu erhalten. Bei Schritt **117** gibt es für einen gegebenen Konzentrationsbereich einen damit in Beziehung stehenden Belichtungszeitbereich. In Schritt **118** bestimmen die gewählte Materialdicke und die chemische Konzentration die optimalen Multiplexing-Winkel. In Schritt **119** ist es erforderlich, um tatsächlich das optimale Ergebnis zu erhalten, bei der Nachbehandlung das geeignete Bad mit der zugehörigen Zeit und Verarbeitungstemperatur zu verwenden. In Schritt **120**, nachdem alle vorangegangenen Schritte durchgeführt sind, führen diese Schritte zu einem optimalen Datenspeicherungssystem, das für ein bestimmtes Winkel-Multiplexen und eine Matrixverteilung der gemultiplexten aufgezeichneten Punkte arbeitet.

#### Materialtoleranz

**[0188]** Die Beugungseffizienz wird mittels einer Photodiode **36** unter Verwendung der in [Fig. 9](#) beschriebenen Aufstellung gemessen. Der Strahl **32**, die auf das holographische Gitter **33** fällt, hat einen reflektierten Strahl **34**, einen übertragenen Strahl **35** und eine Diffraktionsstrahl **31** zum Ergebnis, der die holographischen Informationen trägt. Die Intensität des gebeugten Strahls **31** wird durch Variieren des Winkels des einfallenden Strahls **32** gemessen. Die Beugungseffizienz in einem Winkel ist dem Verhältnis der Intensität des gebeugten Strahls **31** zur Intensität des einfallenden Strahls **32** gleich. Die Winkeltoleranz wird aus den verschiedenen so erhaltenen Werten erhalten. Die Winkeltoleranz ist definiert als die Halbwertsbreite der Beugungseffizienz.

**[0189]** Unser Ansatz beruht auf der Tatsache, daß die Lichtintensität des abgegebenen Pakets sich mit der Adressierung einer Winkelvariation in einem bestimmten Bereich nur langsam ändert. Das heißt, daß das Signal im großen und ganzen gleich bleibt, wenn ein Winkeladressierungsfehler vorliegt, wie er beispielsweise durch ein Zittern des Scannersystems entstehen kann. Dies ermöglicht die Verwendung einer schnellen Adressierungsvorrichtung. Eine schnelle Adressierungsvorrichtung hat im Allgemeinen einen Winkeladressierungsfehler, der größer ist als der einer langsameren Adressierungsvorrichtung.

**[0190]** Die Winkeltoleranz für die Adressierungsvorrichtung wird durch Messen der Beugungseffizienz bei verschiedenen Winkeln bewertet. Um diese Messung zu erhalten, wird die zu testende Speicherplatte auf einer von einem Computer gesteuerten Drehbank montiert. Der Eingangsstrahl wird durch das geeignete Winkelmeß-System verglichen. Der eingehende Strahl wird durch das entsprechende winkelförmige verglichen. Die Ausgangsintensität wird bei verschiedenen Winkeln automatisch gemessen. Die Winkeländerungsschritte betragen 1/10 Grad.

**[0191]** Durch dieses Verfahren wurde bestätigt, daß es bei einem Winkelfehler von 2/10 Grad eine Abweichung der Beugungseffizienz von unter 1 % gibt. Dieser Unterschied ist nicht groß genug, um eine signifikante Wirkung auf die Qualität des Signals zu haben. Dieses Signal kann für eine CCD-Kamera verwendet werden, die mit einer Antwortgenauigkeit mit einem Fehler von 1 % arbeitet.

**[0192]** Dies kann mit anderen diffraktiven Speichermedien verglichen werden, wie photorefraktivem Kristallmaterial, wo ein Winkelmultiplexing-Winkelschritt etwa beispielsweise 0,001 Grad beträgt und wo ein Winkelfehler nicht höher sein darf als die Hälfte des Winkelabstands, beispielsweise 0,001/2 Grad. Über diesem letzten Winkelwert tritt ein signifikantes Rauschen auf, da ein Crosstalk besteht, der dadurch entsteht, daß mehrere der Subhologramm gleichzeitig ausgelesen werden.

**[0193]** In der vorliegenden Erfindung kann die Toleranzfestlegung durch Auswahl einer geeigneten Dicke, durch Indexmodulierung und durch Anpassen der chemischen Bearbeitung gesteuert werden. So kann ein Material erhalten werden, das dafür ausgelegt ist, eine bestimmte Adressierungsspezifität durch Molekülselektion zu ergeben, sowie ein angepaßtes Naßbearbeiten. Eine gute Formel, um diese Möglichkeiten darzustellen, ist  $q \sim L/d$ , wobei  $q$  der Winkelbereich ist;  $L$  Gitterabstand =  $l/2n \sin q_B$   $d$  die Dicke ist  $q_B$  der Bragg-Winkel ist und  $n$  der Index des Materials ist.

#### LESEPHASE

**[0194]** Die Lesephase schließt die Extraktion des Signalinhalts aus dem Speichermaterial ein.

#### Knotenadressierungs-Design

**[0195]** [Fig. 5A](#) zeigt das Knotenadressierungs-Design gemäß der vorliegenden Erfindung. In diesem Design ist eine Vielzahl von Knoten vorhanden, die optische Elemente aufweisen, die den Laserstrahl bearbeiten, um Funktionen durchzuführen wie For-

men, Fokussieren und Lenken des Laserstrahls. **Fig. 5A** zeigt den Laser **15**, der einen Laserstrahl **15a** emittiert, der dann von den Knoten 1 – 6 gelenkt und transformiert wird, wobei der Laserstrahl **15a** dann auf die Speichervorrichtung **8** trifft. Der vom Laser **15** emittierte Laserstrahl **15** ist auf den Knoten 1 gerichtet. Ein optisches Element, das sich am Knoten 1 befindet, filtert den Laserstrahl **15a**. Die optischen Elemente am Knoten 1 können den Laserstrahl **15** ferner für eine Polarisierung einstellen, den Laserstrahl **15a** kollimieren und eine Durchmesseranpassung des Laserstrahls **15a** durchführen. Der Knoten 1 ist kein dynamischer Knoten. Der Knoten 1 führt den Laserstrahl **15** räumlich zum Knoten 2.

**[0196]** Die optischen Elemente am Knoten 2 fokussieren den Laserstrahl **15a** zum Knoten 3. Der Ort des Knotens 2 wird aufgrund der Positionen der anderen Knoten solchermaßen berechnet, daß der Fokalpunkt des Strahls auf einem Punkt auf dem Knoten 3 liegt. Der Knoten 2 ist kein dynamischer Knoten.

**[0197]** Der Knoten 3 ist ein dynamischer Knoten. Die optischen Elemente des Knotens 3 führen den Laserstrahl **15a** dynamisch zum Knoten 4. Die Drehung des Laserstrahls **15a** findet um eine statische Achse herum statt. Der Laserstrahl **15a** bewegt sich im Anschluß an jeden Schritt, berechnet anhand des Punkteabstands (des vertikalen Abstands zwischen den Punkten).

**[0198]** Die räumliche Anordnung des Knotens 4 ist stabil. Der Knoten 4 unterstützt das Entfokussieren des Strahls, was solchermaßen berechnet wird, daß der Strahl, der aus dem Knoten fällt, kollimiert wird. Dies ist ein statischer Knoten.

**[0199]** Der Knoten 5 dreht den Laserstrahl um eine Achse, die so angeordnet ist, daß eine Führung zum Knoten 6 möglich ist. Der Knoten 5 ist dafür programmiert, den Laserstrahl **15a** zum Ziel **8** zu schicken und zwar so, daß der Strahl immer den Knoten 6 nach dem Knoten 5 erreicht. Der Knoten 3 ist ein dynamischer Knoten.

**[0200]** Der Knoten 6 implementiert eine dynamische Winkelposition des Laserstrahls **15**. Der Strahl **15** wird um eine Achse gedreht, und die Drehung wird mit dem Knoten 5 solchermaßen synchronisiert, daß der Strahl immer die Matrix **8** erreicht. Die Genauigkeit der Punktausrichtung hängt von der Genauigkeit der anderen Knoten ab,  $10^{-2}$  mm ist normal.

**[0201]** Der Knoten 5 schließt einen Aktor ein, der den Laserstrahl winkelmäßig um eine Achse dreht, die räumlich so angeordnet ist, daß der Laserstrahl den Knoten 6 erreicht. Der Knoten 6 schließt einen Aktor ein, der den Laserstrahl winkelmäßig um eine Achse dreht, die räumlich so angeordnet ist, daß der Laserstrahl, der vom Knoten 5 kommt, den Knoten 6

erreicht. Der vom Knoten 6 ausgegebene Laserstrahl erreicht die Matrix aus Punkten, die das Speichermedium **8** darstellen, mit einem ausgewählten Winkel und einer Achse mit spezieller geometrischer Position. In der Ebene des Speichers weist jedes Paket einen xy-Ort auf der Speicherplatte auf und einen bestimmten Winkel der Strahladressierung. So ist die Adressierung eine Folge der Anordnung der Knoten (im Raum) und der Winkelauswahl, die anhand der xy-Position und der Multiplexing-Winkel programmiert ist. Als Folge der Kombination der Anordnung der Knoten 5 und 6 im Raum und der Positionierung der Drehachse und der Winkelauswahl der programmierten Aktoren und der Positionierung der Spiegel mit einem geeigneten Programm und einer Computersteuerung, wird das Paket adressiert, wenn der Laserstrahl auf der Punktmatrix der Speicherplatte **8** mit dem Winkel positioniert ist, der dem ausgewählten Paket entspricht, das gelesen werden soll.

**[0202]** Die Drehwinkel und die Geometrie in diesem Knotensystem sind so konfiguriert, daß ein Zugriff auf jedes Datenpaket möglich ist. Jedes Paket wird in weniger als 1 ms erreicht unter Verwendung beispielsweise von Mikrogalva-angesteuerten Spiegeln, die in den Knoten implementiert sind. Nachdem er auf die Matrix getroffen ist, liefert der Strahl **15a** ein Datenpaket. Der resultierende Strahl wird durch die Abbildungslinse **8b** auf die CCD-Kamera **8c** fokussiert, die eine Anzahl von Pixeln aufweist, die für die gewünschte Auflösung geeignet ist.

#### Vorrichtung zur Steuerung des Lesestrahls

**[0203]** **Fig. 5B** zeigt eine Ausführungsform der Vorrichtung zum Lenken des Raumwegs eines Laserstrahls **15a** eines Lasers **1** zu einem Punkt (x,y) in einem Winkel  $\alpha$  auf dem Speichermedium **8** gemäß der vorliegenden Erfindung. Der Laserstrahl **15** wird von dynamischen oder statischen Vorrichtungen geformt und gelenkt, die an dem einen oder den mehreren Knoten Node 1 – Node 6 angeordnet sind. Die dynamischen Vorrichtungen, die typischerweise aus Spiegeln oder Mikrospiegeln bestehen, sind mit einer rotierenden Komponente assoziiert. Sie können auch aus mit einem Beugungsgitter verbundenen akustooptischen Komponenten oder aber Kerr- oder Pockels-Zellen bestehen. Eine der Hauptschwierigkeiten, denen sich die vorliegende Erfindung gegenüber sieht, besteht darin, wie die dynamischen Vorrichtungen im Raum angeordnet werden sollen und infolgedessen wie ihre Ausrichtung gesteuert werden soll.

**[0204]** **Fig. 5B** zeigt den Steuermechanismus **100** für das Adressierungssystem der **Fig. 5A**, das verwendet wird, um den Laserstrahl **15a** zu positionieren. Der Steuermechanismus **100** sendet Signale an die Aktoren **102**, um den Strahl auf dem Speichermedium **8** zu positionieren. Während der Lesephase sind die Aktoren **102** der Knoten Mikrospiegel zum



Formen und Lenken des Referenzstrahls **15a**.

**[0205]** Der Computer **106** sendet unter der Steuerung der Software **108** Signale an die Aktivatoren an einem oder mehreren Knoten. Die Software **108** erhält über eine Verbindung **105** Information von den Aktivatoren **102**.

**[0206]** Der Laserstrahl **15a** wird von den Knoten auf das Speichermedium **8** gelenkt und von dort von der Abbildungslinse **8b** auf die CCD-Kamera **8c** fokussiert, die eine Anzahl von Pixeln aufweist, die für die gewünschte Auflösung geeignet ist. Das digitale Ausgangssignal der CCD-Kamera **8c** wird vom Computer **106** weiter verarbeitet.

#### Adressierungs-Lesesystem

**[0207]** **Fig. 6A** zeigt eine Ausführungsform einer Adressier-Lesevorrichtung **14** zum Speichern von Informationen in dem Speichermedium **8** gemäß der vorliegenden Erfindung. Diese Lesevorrichtung **14** verwendet Spiegel oder Mikrospiegel, die mit Galvanometern verbunden sind, und die daher in der Lage sind, sich zu drehen, was ermöglicht, daß jeder Spiegel in der gewünschten Richtung ausgerichtet wird. Diese Spiegel werden durch Software an definierten Punkten oder Knoten angeordnet, für den Zweck einer Winkelindexierung der Wellenfront für einen Punkt von definierten Koordinaten (x,y) im Speichermedium **8**. Um alle Zeilen und alle Spalten der Matrix **8** zu durchmustern, werden gemäß einer Ausführungsform des in **Fig. 6A** beschriebenen Typs zwei Spiegel **19, 20**, die jeweils mit einem geeigneten Galvanometer verbunden sind, mit einem konkaven Spiegel verbunden.

**[0208]** In **Fig. 6A** tritt ein Lesestrahl **15a** aus einem Niedrigenergie-Laser **15** aus. Typischerweise hat der Lesestrahl weniger als 5 mW. Der Laser **15** kann ein Heliumneon- oder Halbleiter-Laser sein. Der Lesestrahl **15a** wird mittels einer Linse **16** auf einen ersten rotierenden Spiegel **17** gerichtet, dessen Drehungszugang horizontal ist. Der Spiegel **17** soll den kollimierten Lesestrahl entlang der Mittellinie eines konkaven Spiegels **18** reflektieren. Der konkave Spiegel **18** wiederum reflektiert den Strahl auf einen rotierenden Spiegel **19**, der mit einem (nicht gezeigten) Galvanometer verbunden ist und eine senkrechte Drehachse aufweist. Das Galvanometer ist beispielsweise vom Typ VM 2000 von General Scanning (Optical Scanning Products Division, MA 02472). Vorzugsweise weist das Galvanometer eine hohe Drehgeschwindigkeit und eine hohe Präzision auf. Der Drehwinkel kann bis zu 30 Grad mit einer Genauigkeit in der Größenordnung von **104** sein. Dieses Galvanometer kann in einer Zeit von etwa 0,3 ms von einem Ausrichtung zu einer anderen übergehen und kann im Frequenzbereich von über 2,5 kHz arbeiten. Solch ein Galvanometer wird auch in Verbindung mit einem

dritten Spiegel **20** verwendet, der auch eine senkrechte Drehachse aufweist.

**[0209]** Die Adressierungs-Lesevorrichtung **14** von **Fig. 6A** ist gemäß dem Knoten-Adressierungs-Design von **Fig. 5A** konstruiert, wobei der Knoten 1 nicht verwendet wird, Knoten 2 eine Linse **16** aufweist, die in ihm angeordnet ist, Knoten 3 einen Spiegel **17** aufweist, der in ihm angeordnet ist, Knoten 4 einen Spiegel **18** aufweist, der in ihm angeordnet ist, Knoten 5 einen Spiegel **19** aufweist, der in ihm angeordnet ist, und Knoten 6 einen Spiegel **20** aufweist, der in ihm angeordnet ist.

**[0210]** **Fig. 6B – Fig. 6E** stellen eine Vergrößerung der Knoten **16, 17** und **18** von **Fig. 6A** dar. In **Fig. 6B** wird der Laserstrahl **15a** eines Lasers **15** von der Linse **16** zum Spiegel **17** gelenkt, der den Laserstrahl **15** zu eine Spiegeloberfläche **18** reflektiert. Der Laserstrahl, der von der Oberfläche **18** reflektiert wird, ist ein kollimierter (paralleler) Strahl **15b**. Das Kippen des Spiegels **17** erzeugt eine weitere Scanning-Zeile. **Fig. 6A – Fig. 6D** sind Ergebnisse, die man von Simulationen erhält, die von der Code-V CAD CAM-Software von Optical Research Associates erhält. Die Fokussierlinse **16** ist am Knoten 2 angeordnet. Am Knoten 3 ist ein Mikrogalva-Spiegel **17** (Drehung um die horizontale Achse). Ein konkaver statischer Spiegel **18** ist am Knoten 4 positioniert. **Fig. 6B** ist ein vergrößerter Teil der **Fig. 6A**, dieser Teil entspricht den optischen Elementen **16, 17, 18** von **Fig. 6A**. **Fig. 6C – Fig. 6D** zeigen zwei extreme Drehungen von Mikrogalva **17** um eine horizontale Achse. **Fig. 6C** zeigt die erste Drehung des Spiegels **18** am Punkt **16a**, was durchgeführt wird, um die erste Zeile der Matrix **8** zu lesen.

**[0211]** **Fig. 6F** und **Fig. 6G** zeigen einige der Winkelkombinationsbeispiele von Galva **19** und Galva **20**. **Fig. 6F** zeigt die Winkelkombination, um ein Paket zu lesen, das im ersten Punkt angeordnet ist. **Fig. 6G** zeigt die Winkelkombination, um ein anderes Paket zu lesen, das im Punkt Nr. 10 angeordnet ist.

**[0212]** Wie in **Fig. 6B** gezeigt, enthält der Knoten 2 eine Fokussierungslinse **16**. Die Position der Fokussierlinse **16** ist so berechnet, daß ihr geometrischer Mittelpunkt von dem Laserstrahl **15a** geschnitten wird, der vom Laser **15** erzeugt wird. Der Laserstrahl **15** muß orthogonal zur Linsenebene verlaufen.

**[0213]** Wie in **Fig. 6E** dargestellt, hängen die optischen Eigenschaften des optischen Elements **16** und des optischen Elements **18** zusammen. Die Laserstrahlgröße muß 1 mm (Durchmessergröße) betragen, um für die Größe eines Matrixpunkts (1 mm<sup>2</sup>) zu passen. So ist die Beziehung zwischen der fokalen Länge der Linse **16** und dem Spiegel **18**:

$$\frac{S_{18-8}}{S_{15-16}} = \frac{f_{18}}{f_{16}}$$

wobei

$S_{18-8}$ : Größe des Laserstrahls zwischen Spiegel **18** und Speichermedium **8**,

$S_{15-16}$ : Größe des Laserstrahls zwischen Laser **15** und Linse **16**

$f_{16}$ : ist die fokale Länge der Linse **16**

$f_{18}$ : ist die fokale Länge des Spiegels **18**.

**[0214]** Die fokalen Längen  $f_{16}$  und  $f_{18}$  müssen diese Beziehung erfüllen, und ihre Wahl hängt von der Größe des ausgegebenen Laserstrahls ab. Der Abstand zwischen der Linse **16** und dem Spiegel **17** muß gleich  $f_{16}$  sein, weil der Laserstrahl auf den Spiegel **17** fokussiert werden muß.

**[0215]** Das optische Element **17** (Knoten 3) ist statisch und hat eine Drehachse, die sich um die horizontale Achse dreht.

**[0216]** Das Zentrum des Spiegels **18** befindet sich in einem Abstand  $f_{18}$  zum Zentrum des Spiegels **17**. Die Symmetrieachse des Spiegels **18** muß orthogonal zur Drehachse des Spiegels **17** sein. Die Schneidung der horizontalen Achse muß auf dem Laserfokuspunkt passieren, der auf dem Spiegel **17** liegt.

**[0217]** Der Strahl, der von Spiegel **18** kommt, wird so kollimiert, daß er einen Durchmesser von 1 mm hat. Der Laserstrahl durchmustert eine Spalte der Speichervorrichtungsmatrix **8** durch Drehung des Spiegels **17** um seine waagerechte Achse.

**[0218]** Während der Beschreibung der Matrix beträgt der vertikale Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Punkten 1 mm. Der Drehwinkel des Spiegels **17** kann so berechnet werden, daß er jeden Punkt in einer Spalte durchmustert. Die Beziehung ist:

$$\Delta\alpha = \arcsin\left(\frac{h+d}{f_{18}}\right) - \arcsin\left(\frac{h}{f_{18}}\right)$$

$h$ : ist der erste Punkt der senkrechten Koordinate und  
 $d$ : ist die Entfernung zwischen dem Punkt, der gelesen werden muß, und dem ersten Punkt

**[0219]** Um alle Pakete in einem Punkt zu lesen, müssen verschiedene Winkelkombinationen gefunden werden, die auf dem Spiegel **19** und dem Spiegel **20** implementiert werden. Die Hauptbeschränkung besteht hier darin, daß die räumlichen Positionen für den Spiegel **19** und den Spiegel **20** stabil gehalten werden. So haben sie nur eine Drehungsmöglichkeit um die senkrechte Achse.

**[0220]** Der Laserstrahl, der von Spiegel **18** kommt,

wird vom Spiegel **19**, dann vom Spiegel **20** reflektiert. Dieser Laserstrahl trifft in einem bestimmten Winkel auf einen Matrixpunkt, um ein bestimmtes Paket zu lesen. Die Spiegelgröße die auf dem Spiegel **19** implementiert ist muß mindestens 1 m breit sein, da die Größe des Lasers 1 mm beträgt. Die vertikale Größe des Spiegels ist 11 mm hoch, um es möglich zu machen, eine Spalte, die 10 Punkte enthält (Punktgröße = 1 mm<sup>2</sup>), komplett zu lesen.

**[0221]** Alle Laserstrahlen, die vom Spiegel **18** kommen, müssen orthogonal zur senkrechten Achse sein, die die Drehachse des Spiegels **19** ist. Die vertikale Drehachse des Spiegels **20** muß zum Spiegel **19** parallel sein.

**[0222]** Die vertikale Spiegelgröße des **20** ist 11 mm. Die Spiegelbreite muß diese Bedingungen respektieren:

- so klein wie möglich sein, um eine hohe Geschwindigkeit der Mikrogalva-Dynamik zu ermöglichen; und
- muß in der Lage sein, alle Punkte in einer Matrixzeile und für alle Pakete zu durchmustern.

**[0223]** All diese Bedingungen müssen erfüllt und respektiert werden, und die Entfernung zwischen dem Spiegel **19**, dem Spiegel **20** und der Matrix **8** muß so klein wie möglich sein.

**[0224]** Um eine optimierte Größe und Position des Spiegels **19**, **20** und der Matrix **8** zu finden, wurden Simulationen mittels eines CAD/CAM-Softwarepakets durchgeführt, z.B. Code V optical CAD/CAM Software von Optical Research Associates. Die Ergebnisse der optischen CAD/CAM-Simulationen sind jeweilige Positionen der Spiegel **19**, **20** und der Matrix **8**. Die CAD/CAM-Simulationen ergeben auch Winkelwertkombinationen für die Spiegel **19**, **20**. Diese Winkelwerte entsprechen Multiplexwinkelwerten, die bei der Matrixaufzeichnung und bei der Größe der Punktezahl bei der Matrixaufzeichnung verwendet werden (10 × 10 Punkte mit mindestens 15 Paketen pro Punkt).

**[0225]** In einer alternativen Form der Ausführungsform der Lesevorrichtung **14** von [Fig. 6A](#) sind die Spiegel **19**, **20**, die mit ihren Galvanometern verbunden sind, durch Mikrospiegel (MOEMS) des Typs ersetzt, wie er von der deutschen Firma IMS hergestellt wird. Mikrooptoelektromechanische Systeme (MOEMS) bezieht sich auf Systeme, die elektrische und mechanische Komponenten einschließlich optischer Komponenten, auf geringem physikalischem Raum kombinieren. Solche Mikrospiegel bestehen aus einer Platte, die in ein Siliciumsubstrat geschnitten ist, auf dem ein dünner Film aufgebracht ist, in der Regel ein Aluminiumfilm mit einer typischen Dicke von etwa fünfzig Nanometern. Diese Platte hängt an zwei oder vier Drehpunkten und wird von zwei oder vier Antrieb-

selektroden betätigt, je nachdem, ob man einen Spiegel möchte, der sich in eine oder in zwei Richtungen dreht. Der Ablenkungswinkel ist theoretisch unbegrenzt, aber in der Praxis beträgt er etwa 60°. Außerdem bildet der Raum zwischen dem Spiegel (der Platte) und den Antriebselektroden einen variablen Kondensator. So erzeugt das Anlegen einer Spannung ein elektrostatisches Moment, das auf die Platte wirkt und bewirkt, daß sie sich dreht und/oder oszilliert. Angesichts der besonders geringen Größe dieser Mikrospiegel auf der einen Seite, aber ihrer Funktionsweise auf der anderen Seite wird es möglich, die Größe der Lesevorrichtung **14** erheblich zu reduzieren und somit einen sehr hohen Grad an Integration zu erreichen.

**[0226]** In [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) ist eine zweite Ausführungsform des Lese- und Adressierungssystems gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt, wobei die Spiegel durch akustooptische Vorrichtungen ersetzt sind. Wenn akustooptische Kristalle einer Spannung ausgesetzt werden, insbesondere mittels eines Wandlers, der in der Regel aus einem piezoelektrischen Kristall besteht, modifizieren sie den Beugungswinkel des Lichts und generell der elektromagnetischen Welle, die durch sie hindurch geht. Um den Wert des Beugungswinkels des ausgehenden Strahls zu modifizieren, muß lediglich die Ansteuerfrequenz des piezoelektrischen Wandlers modifiziert werden. So kann die Lese- oder Zugriffsgeschwindigkeit im Speichermedium **8** erheblich gesteigert werden. Ein Beispiel für eine Aufstellung des Adressierungssystems, das solch ein Prinzip anwendet, ist in [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) gezeigt.

**[0227]** Aufgrund des relativ kleinen Beugungswinkels, der am Ausgang eines solchen akustooptischen Materials **21**, **22** verfügbar ist, wird ein zweidimensionales Gitter **23** mit blaze-Bereich so ausgerichtet, daß der Einfallswinkel des Strahls so ist, daß der Beugungsstrahl (der Ordnung 1 oder -1, je nach verwendetem Gitter), das Gitter in einem Winkel verläßt, der nahe an dem Streifwinkel liegt (wobei der Streifwinkel 90 zur Senkrechten zur Oberfläche des Gitters ist).

**[0228]** So werden, wie in [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) dargestellt, die Variationen der Ausrichtung entlang OX und OY des einfallenden Lesestrahls **20**, der von einem Niedrigenergie-Laser ausgeht, dadurch erhalten, daß man diesen Strahl zwei oder mehr akustooptischen Komponenten **21**, **22** aussetzt. Nach diesen Komponenten wird der Beugungswinkel mittels eines Gitters **23** mit blaze-Bereich erhöht, und dann von einer Reihe von Mikrospiegeln **24** ([Fig. 7](#)) oder alternativ von einem mikrooptoelektromechanischem System MEOMS **25** ([Fig. 8](#)) reflektiert, um den gewünschten Einfallswinkel am Speichermedium **8** zu erhalten.

**[0229]** Infolgedessen liegt es auf der Hand, daß

durch Variieren der Vibrationsfrequenz des piezoelektrischen Kristalls in Verbindung mit der akustooptischen Komponente es möglich wird, die gewünschte Ausrichtung des Gitters innerhalb der Reihen und Spalten der daten tragenden Matrix **8** sehr schnell zu modifizieren. Der einschränkende Faktor wird dann das MEOMS oder die Mikrospiegel, die auf den Einfallswinkel des Lesestrahls an der Matrix **8** wirken.

**[0230]** Angesichts des Vorstehenden werden viele weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung hoch willkommen sein. Erstens und im Hinblick auf das verwendete Speichermaterial einerseits und des Aufzeichnungs- und Adressierungsverfahrens andererseits wird es möglich, die Menge an Informationen, die in Paketen innerhalb einer Einheit von relativ kleiner physikalischer Größe gespeichert werden kann, sehr deutlich zu erhöhen.

**[0231]** Dieses Ergebnis kann auch durch Verwenden von Niedrigenergie-Lese- oder -Aufzeichnungsvorrichtungen erhalten werden, was eine Miniaturisierung des Systems in Formaten ermöglicht, die weitgehend mit denen der bisher bekannten Aufzeichnungs- und Speichervorrichtungen kompatibel sind, oder die sogar im Vergleich zu den letztgenannten noch mehr verkleinert sind.

**[0232]** Schließlich kann aufgrund der verwendeten Komponenten und aufgrund der speziellen Wahl des Speichermaterials der Zugriff auf die gespeicherten Informationen schnell durchgeführt werden, ohne die Notwendigkeit für Vorrichtungen, die teuer oder schwierig anzuwenden sind.

#### Software für das Positionieren des Lesestrahls

**[0233]** [Fig. 6A](#) zeigt die Adressierungs/Lese-Vorrichtung **14**, die dynamische Vorrichtungen aufweist, beispielsweise die Mikrospiegel **17** – **20**, welche den Referenzstrahl, der vom Laser **15** erzeugt wird, formen und zu einer präzisen Stelle und in einem präzisen Winkel an einem aus einer Vielzahl von Punkten **8a** des Speichermediums **8** lenken. [Fig. 5B](#) zeigt den Steuermechanismus **100**, der verwendet wird, um den Strahl zu positionieren. Der Computer **106** schickt Signale **104** an die Aktoren **102**, um den Strahl auf dem Speichermedium **8** zu positionieren. Während der Lese-Phase sind die Aktoren **102** die Mikrospiegel **17** – **20**, die den Referenzstrahl **4** formen und lenken.

**[0234]** Beim Winkel-Multiplexing wird der Lesestrahl so angeordnet, daß er im entsprechenden Adressierungswinkel auf ein Datenpaket zugreifen kann, das an einem definierten Punkt (x,y) im Speichermedium enthalten ist. Dann wird ein Scan durchgeführt, um die gesamte Reihe von Punkten wiederzufinden, aus denen die horizontale Zeile in dem Medium entlang der OX-Achse besteht. Dieses Verfahren wird durch

schrittweises Vergrößern der OY-Achse wiederholt, um eine neue Zeile entlang der OX-Achse zu durchmustern.

**[0235]** Das Leseverfahren ähnelt dem Schreibverfahren insofern, als beide dasselbe Prinzip der Knotenpunkte nutzen. So wird ein Aktivator oder eine Komponente zum Formen des Lese-Laserstrahls an jedem Knoten 102 des Systems **100** angebracht. Das Leseverfahren wird mit einem höheren Grad an Toleranz als das Aufzeichnungsverfahren durchgeführt. Jedoch muß die Laserquelle, die für das Lesen verwendet wird, nicht so leistungsfähig sein, wie die Laserquelle, die zum Aufzeichnen verwendet wird. Folglich ist es möglich, eine sehr kompakte Laserquelle vom Festkörper-Typ für das Leseverfahren zu verwenden.

**[0236]** Der Lesestrahl **15a** wird von einem oder mehreren Transformationsknoten 102, die auf dem optischen Pfad des Laserstrahls **15a** angeordnet sind, geformt und zu einem aus einer Vielzahl von Punkten gelenkt, die eine Matrix **8** auf dem Speichermedium definieren, wie von einer oder mehreren anfänglichen Speicherbedingungen und einem oder mehreren Betriebsparametern definiert.

**[0237]** Die Anfangs-Speicherbedingungen schließen die Größe der Matrix ein, die Zahl der Punkte der Matrix und die physikalischen Eigenschaften des Polypeptidmaterials. Die physikalischen Eigenschaften des Polypeptidmaterials schließen eine Auswahl der Moleküle, aus denen es besteht, ein sowie Ergebnisse eines Verfahrens zum Herstellen des Polypeptidmaterials. Bei der Wahl einer molekularen Anordnung gibt es Hunderttausende von Molekülen, aus denen gewählt werden kann. Proteine können bis zu einem gewissen Grad als Polymere betrachtet werden und sind wie Monomere aufgebaut, die miteinander verbunden sind.

**[0238]** Das Verfahren zum Herstellen des Polypeptidmaterials bestimmt die Wellenlängenempfindlichkeit des Polypeptidmaterials und schließt ein Beschichtungsverfahren ein. Die physikalischen Eigenschaften des Polypeptidmaterials können durch das Aufzeichnungsverfahren bestimmt werden. Das Aufzeichnungsverfahren wird durch mindestens einen der folgenden Parameter definiert: Wellenlänge, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und die physikalischen Eigenschaften des Substrats des Polypeptidmaterials. Die physikalischen Eigenschaften des Polypeptidmaterials schließen ferner ein Nachbelichtungsverfahren ein. Das Nachbelichtungsverfahren wird von Faktoren bestimmt wie den physikalischen Eigenschaften der Bäder und von physikalischen Parametern wie der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit. Die Operationsparameter schließen die gewünschte Zeit ein, die es dauert, um auf das Speichermedium zuzugreifen, die Art des verwendeten Aktivierungs-

mittels, den Grad der Miniaturisierung und den Grad der Auflösung ein.

**[0239]** Der einfallende Laserstrahl **15a** wird mittels eines oder mehrerer Transformationsaktivatoren **102**, die auf dem optischen Pfad des Strahls liegen, moduliert. Die Aktivatoren **102** bestehen aus dynamischen Vorrichtungen, die typischerweise aus Spiegeln oder Mikrosiegeln bestehen, die mit einer rotierenden Komponente verbunden sind. Sie können auch aus mit einem Beugungsgitter verbundenen akustooptischen Komponenten oder aber Kerr- oder Pockels-Zellen bestehen. Eine der Hauptschwierigkeiten, denen sich die vorliegende Erfindung gegenüber sieht, besteht darin, wie die dynamischen Vorrichtungen im Raum angeordnet werden sollen und infolgedessen wie ihre Ausrichtung gesteuert werden soll.

**[0240]** Für diesen Zweck, sowohl zum Positionieren als auch zur Anordnung, wurde eine Software **108** in Bezug auf die vorliegende Erfindung entwickelt, um eine bestimmte Zahl dieser Datenthemen zu integrieren, worunter sich die Beschränkungen bezüglich der Beschaffenheit der Wellenfront und der Größe des Einfallspunkts des Lesestrahls befinden.

**[0241]** Die Ergebnisse der von dieser Software ausgeführten Berechnungen machen es somit möglich, die Positionen jedes der Aktivatoren **102** genau zu bestimmen. Die Aktivatoren **102** sind in Gruppen eingeteilt: die ortsfesten Komponenten, die besonders aus den Linsen, dem Parabolspiegel, der CCD-Kamera zum Empfangen von ausgelesenen Informationen und der Laserquelle bestehen; und den beweglichen Komponenten, und insbesondere den Spiegeln oder gleichwertigen Komponenten.

**[0242]** Gemäß einem Grundmerkmal der vorliegenden Erfindung ist angesichts des verwendeten Materials die Toleranz, die im Hinblick auf die Erregung oder Modulierung der Lese-Wellenfront nötig ist, relativ groß. So ist es möglich, als Vorrichtungen zum Aktivieren der Wellenfront Systeme zu verwenden, die bereits für diesen Zweck bekannt sind, und die in der Lage sind, mit hoher Geschwindigkeit die gewünschte Modulierung der Lesestrahl-Wellenfront und infolgedessen des Wiederfindens des gewünschten Datenpakets zu erreichen. Wenn das Aufzeichnen beispielsweise ein Ergebnis des Winkel-Multiplexings ist, kann der Einfallswinkel des Lesestrahls auf dem Informationsmedium an dem Punkt der definierten Koordinaten (x, y) um einen Wert innerhalb etwa eines Zehntel Grads variieren, etwas, das bisher mit Speichern und Speichermaterialien nicht möglich war. Diese große Toleranz bedeutet, daß die Geschwindigkeit des Zugriffs auf kodierte und gespeicherte Information sehr erheblich gesteigert werden kann.

[0243] [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) geben ein Beispiel für die Wiederfindung der Information, die von der Softwareverarbeitung für die folgenden Anfangsbedingungen kommt:

[0244] Halbleiter-Lesespeicher (Wellenlänge 532 nm; Strahlgröße: 1,5 mm Durchmesser); Quadratische Matrix aus  $10 \times 10$  Punkten (zwei aufeinander folgende Punkte durch 1 mm entlang der x und entlang der y-Achse getrennt); jeder Punkt besteht aus 15 Paketen (oder Paketen) mit einer Fläche von 1 mm<sup>2</sup>; das erste Paket wird in einem Multiplexing-Winkel von 10 aufgezeichnet; das fünfzehnte Paket wird in einem Multiplexing-Winkel von 38 aufgezeichnet; und der Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Multiplexing-Winkeln beträgt 2.

[0245] [Fig. 10](#) zeigt die Berechnung der geradlinigen Koordinaten (x<sub>de</sub>, y<sub>de</sub>, z<sub>de</sub>) und des Winkels (A<sub>DE</sub>, B<sub>DE</sub>, C<sub>DE</sub>) des Lesestrahls für den Punkt bei  $x = 1$  mm und  $n = 0,1$ .

[0246] [Fig. 11](#) zeigt die Berechnung von Werten für das Positionieren der Komponenten für verschiedene Gradwerte.

Berechnungspositionen von Umwandlungsknoten

[0247] In [Fig. 6A](#) ist eine Vorrichtung **14** dargestellt, die einen Lesestrahl **15a** aufweist, der von einem oder mehreren Transformationsknoten 1 – 6, die auf dem optischen Pfad des Lesestrahls **15a** angeordnet sind, geformt und zu einem aus einer Vielzahl von Punkten **8a**, **8b** gelenkt wird, die eine Matrix auf dem Speichermedium **8** definieren, wie von einer oder mehreren anfänglichen Speicherbedingungen und einem oder mehreren Betriebsparametern definiert.

[0248] Nun wird ein Beispiel für den Fall angegeben, daß die Umwandlungsknoten 1 – 6 die Knoten der Lesevorrichtung von [Fig. 6A](#) sind. In [Fig. 6A](#) werden die Umwandlungsknoten 1 – 6 in einem Programm als Variable OBJ, STO, NODE5, NODE6 und IMG dargestellt.

[0249] Knoten OBJ stellt die Position innerhalb der Lesevorrichtung **14** dar, die von der Speichermatrix **8** eingenommen wird. STO ist ein virtueller Punkt, der sich zwischen der Matrix **8** und dem Spiegel **20** befindet. STO entspricht einer Unterbrechung zum Einstellen der Größe des Querschnitts Lese-Laserstrahls auf die Größe des aus der Matrix **8** zu lesenden Punkts. Diese Unterbrechung befindet sich praktisch zwischen dem Knoten OBJ, der am Spiegel **20** angeordnet ist, und dem Knoten 6, der an der Matrix **8** angeordnet ist. Knoten 6 entspricht dem Knoten, wo der Spiegel **20**, befestigt an einem Galvanometer, angeordnet ist. Knoten 5 entspricht dem Knoten, wo ein zweiter Spiegel **19**, befestigt an einem anderen Galvanometer, angeordnet ist. Der Knoten IMG ent-

spricht dem Knoten für die Abbildungsbildung. Eine optische CAD-Software basiert auf dem strikten Verfolgen von Lichtstrahlen, die aus einem Objektfeld kommen, solange wie die Bildformungs-Ebene. Zwischen diesen beiden Extremen liegen verschiedene Arten von Oberflächen (reflektierende und brechende), durch die der Lichtstrahl hindurchgehen muß. In diesem Beispiel entspricht der Knoten, der der IMG Knoten ist, dem Spiegel **18**, das heißt, dem Knoten, wo der konkave Spiegel für das Formen des Laserstrahls angeordnet ist.

[0250] Die Simulation der optimierten Positionen für die Transformationsknoten (OBJ, STO, NODES, NODE6, IMG) wird vollständig durch die berechneten Werte der Raum- und Winkelkoordinaten definiert. Die räumlichen Koordinaten für einen Punkt auf der (x, y, z)-Achse sind im Computerprogramm durch folgende Variablen definiert: X<sub>de</sub>, Y<sub>DE</sub> und Z<sub>DE</sub>. Eine einzigartige winkelförmige Koordinate für einen räumlichen Punkt wird von den Variablen A<sub>DE</sub>, B<sub>DE</sub> und C<sub>DE</sub> gegeben. [Fig. 11](#) zeigt ein Beispiel für einen Computerausdruck der Raum- und Winkelkoordinaten für einen Punkt von 1 mm und einen Winkel von 10 Grad. [Fig. 12](#) zeigt die Berechnung von Werten für das Positionieren der Komponenten für verschiedene Gradwerte.

[0251] Gemäß der besonderen Ausführungsform der Erfindung variiert die Winkelabwandlung des Referenzstrahls in Bezug auf die Normale zur Ebene, die vom Speichermedium gebildet wird, in Schritten von 2 zwischen extremen Werten zwischen 10 und 38.

[0252] Somit werden 15 Winkelrichtungen verwendet, die 15 möglichen Arten entsprechen, für eine bestimmte (x, y)-Position verschiedene Abbildungen zu speichern. Die Energie, die verbraucht wird, um die Informationen zu speichern, und insbesondere die Energie, die für die Reduzierungsreaktion benötigt wird, welche die Chrom(VI)-Ionen betrifft, die in dem Material enthalten sind, ist relativ niedrig und in der Regel etwa einige Millijoules/cm. Für solche eine Energie ist die Schreib- oder Aufzeichnungszeit auch relativ kurz, typischerweise etwa 10 Millisekunden.

[0253] Entsprechend der beschriebenen speziellen Ausführungsform durchläuft, wenn der Laserstrahl eine diskrete Abwandlung in Schritten von 2 zwischen den zwei oben definierten extremen Werten durchlaufen hat, die Platte, die das Speichermedium gemäß der Erfindung trägt, eine Translation von 1 mm bis sie zu dem benachbarten Schreib- oder Aufzeichnungsbereich kommt. Die Aufzeichnungsoperation wird für diese neue Position wiederholt. Der Referenzlaserstrahl durchläuft eine neue diskrete Abwandlung in Schritten von 2, die jedes Mal dem Schreiben eines neuen Pakets in das Speichermedium entsprechen. Am Ende einer ganzen Zeile in dem

Material nimmt letzteres seine Ausgangsposition durch ein geeignetes Trägerplattensystem wieder ein und durchläuft infolgedessen eine Höhentranslation entlang OY, um das Verfahren des Aufzeichnens einer nächsten Zeile entlang OX zu beginnen, usw.

#### Ablaufschema für Lese-phase

[0254] Wie in [Fig. 12](#) dargestellt, beginnt die Lese-phase bei Schritt **210** mit der Einstellung der Leistung des Laserstrahls. Laserparameter wie Leistung, Stabilität, Kohärenz (räumlich oder zeitlich) werden eingestellt. Der Ausdruck, wie "den Laser einstellen" bedeutet, daß die Lasertechnik so gewählt wird, daß Leistung, Polarisierung, Wellenlänge, Modusaufbau, Modusstabilität und Größenformat des Lasers zum allgemeinen Design des Systems passen.

[0255] Bei Schritt **215** wird der Strahl dann so konfiguriert, daß er die Informationen in einem bestimmten Multiplexing-Winkel aus der Matrix **8** ausliest. Die Optik wird so eingestellt, daß der Strahl eine Größe von 1 mm hat. Den Ausdruck "den Laserstrahl umformen" bedeutet, daß die Laserstrahlengröße so genau wie möglich zur Größe eines Punkts paßt.

[0256] Die Laserstrahlenintensität muß so gleichförmig wie möglich um ein Gauss'sches -Profil herum liegen.

[0257] In Schritt **220** wird das Adresserisystem als Gruppe von Aktivatoren angeordnet, die räumlich so organisiert sind, daß sie den Strahl richtungsgemäß so bearbeiten, daß ein gezielter Punkt vom Laserstrahl in einem bestimmten Winkel und mit einer zufriedenstellenden geometrischen Genauigkeit erreicht wird.

[0258] Bei Schritt **225** werden die Dimensionen des Adreßsystems bestimmt, um ihre Größe zu reduzieren. Beispielsweise konnte die Größe des Systems in der Mitte liegen, wenn galva-Spiegel verwendet werden, oder sie könnte klein sein, wenn MEOMS verwendet werden. Die Abmessungen des Adreßsystems hängen von der Größe des Richtstrahlprozessors ab. Mit MEOMS wird sie miniaturisiert, aber wird eine "Laborgröße" aufweisen mit motorangesteuerten Spiegeln.

[0259] Bei Schritt **230** wird der Lesestrahl dann an einem genauen Punkt und Winkel auf das Speichermedium **8** gerichtet, worin er mit der Matrix **8** interagiert, um die Informationen bei diesem Punkt und Winkel wiederzufinden. Nach den Verarbeitungsschritten trifft der Laserstrahl auf den gewählten Punkt in der xy-Ebene mit einem bestimmten Winkel zu einer bestimmten Zeit auf.

[0260] Schritt **235** betrifft die Extraktion des Signalinhalts, der aus dem Matrixspeicher extrahiert

wird.

[0261] Bei Schritt **240** wird das Speichermedium für verschiedene Zwecke eingesetzt, beispielsweise zur Verteidigung **241**, in Netzwerken **242**, in Verbraucherprodukten **243** und Computern **244**. Die digitalen Daten werden entsprechend dem angestrebten Zweck verschieden gepackt.

#### Patentansprüche

1. Photonischer Speicher, umfassend: ein gegenüber einer räumlichen Verteilung von Lichtenergie empfindliches Polypeptidspeichermaterial, wobei die räumliche Verteilung von Lichtenergie durch Interferenz eines kohärenten Referenzlichtstrahls und eines kohärenten Objektlichtstrahls zur Aufzeichnung der räumlichen Verteilung von Lichtenergie erzeugt wurde, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Polypeptidmaterial eine Lösung von chromdotiertem Collagen umfaßt.

2. Photonischer Speicher nach Anspruch 1, wobei in der Lösung des chromdotierten Collagens  $\alpha$ - und  $\beta$ - Ketten vorwiegend in solchen Anteilen vorliegen, daß ein  $\alpha/\beta$ - Verhältnis größer als 1 ist.

3. Photonischer Speicher nach Anspruch 2, wobei das  $\alpha/\beta$ -Verhältnis zwischen ungefähr 1,2 und ungefähr 2,1 ist.

4. Photonischer Speicher nach Anspruch 2, wobei die Chromdotierung durch Zugabe eines Chrom VI Salzes zu der Polypeptidlösung in einer Menge von 5 bis 10 Gew.-% des trockenen Polypeptids ausgeführt wird.

5. Photonischer Speicher nach Anspruch 2, wobei das mittlere Molekulargewicht des Polypeptidmaterials zwischen 120000 und 150000 Dalton ist.

6. Photonischer Speicher nach Anspruch 2, wobei die Viskosität der Polypeptidlösung zwischen ungefähr drei und ungefähr vier Centipoise ist.

7. Photonischer Speicher nach Anspruch 2, wobei die Polypeptidlösung auch mit einem Härtingagens in einer Menge von ungefähr 0,5 Gew.-% des trockenen Polypeptids dotiert ist.

8. Photonischer Speicher nach Anspruch 2, wobei die Collagenlösung mit einem fluorierten Tensid dotiert ist.

9. Speichersystem, umfassend den photonischen Speicher nach Anspruch 1, in dem Daten in einem Aufzeichnungsmedium durch ein holographisches Verfahren codiert werden, wobei das Medium aus auf Collagen basierendem Peptidmaterial hergestellt ist, das Polypeptidmaterial mit einem löslichen

Chrom VI Salz dotiert ist und die Alpha- und Betaketten des Polypeptidmaterials vorwiegend in solchen Anteilen vorliegen, daß das alpha/beta Kettengewichtsverhältnis größer als 1 ist.

10. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das Polypeptidmaterial mit dem Chrom VI Salz in der Menge von ungefähr 5 Gew.-% bis ungefähr 10 Gew.-% des trockenen Polypeptids dotiert ist.

11. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das alpha/beta Kettengewichtsverhältnis zwischen ungefähr 1,2 und ungefähr 2,1 ist.

12. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das Polypeptidmaterial ein Gel mit einer Gelstärke zwischen ungefähr 90 und ungefähr 300 Bloom ist.

13. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das mittlere Molekulargewicht des auf Collagen basierenden Polypeptidmaterials zwischen ungefähr 120000 und ungefähr 150000 Dalton ist.

14. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das Polypeptidmaterial ein Gel ist, das eine Viskosität zwischen ungefähr drei und vier Centipoise besitzt, wie nach dem Standardverfahren gemessen.

15. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das Polypeptidmaterial ein Polypeptidhärtungsagens in einer Menge von ungefähr 0,5 Gew.-% des trockenen Polypeptids einschließt.

16. Speichersystem nach Anspruch 15, wobei das Härtungsagens ein wasserlösliches Chrom III Salz umfaßt.

17. Speichersystem nach Anspruch 15, wobei das Härtungsagens Aluminiumsulfat umfaßt.

18. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das Polypeptidmaterial ein Tensid einschließt.

19. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das Polypeptidmaterial ein Tensid vom Fluorkohlenstofftyp einschließt.

20. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das Polypeptidmaterial ein Gel mit einer Gelstärke von ungefähr 250 Bloom ist.

21. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das mittlere Molekulargewicht des Polypeptidmaterials ungefähr 120000 Dalton ist.

22. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das Polypeptidmaterial ein Gel mit einer Viskosität von ungefähr 3,5 Centipoise ist, wie nach dem Standardverfahren gemessen.

23. Speichersystem nach Anspruch 9, wobei das Polypeptidmaterial als relativ einheitliche Schicht auf einem klaren, transparenten Substrat abgeschieden ist.

24. Speichersystem nach Anspruch 23, wobei eine Haftschrift zwischen der Schicht des Aufzeichnungsmediums und der Oberfläche des klaren, transparenten Substrats ausgebildet ist, um so das Aufzeichnungsmedium an das klare, transparente Substrat zu binden.

25. Speichersystem nach Anspruch 23, wobei das klare, transparente Substrat eine Glasplatte ist.

26. Speichersystem nach Anspruch 23, wobei das klare, transparente Substrat ein Kunststoffsubstrat ist.

27. Speichersystem nach Anspruch 26, wobei das Kunststoffsubstrat eine Kunststofftafel ist.

28. Speichersystem nach Anspruch 26, wobei das Kunststoffsubstrat ein Kunststofffilm ist.

29. Speichersubstrat nach Anspruch 9, wobei die Schicht des Aufzeichnungsmediums mit einem Schutzsubstrat bedeckt ist.

30. Speichersystem nach Anspruch 29, wobei das Schutzsubstrat eine Glasplatte ist.

31. Speichersystem nach Anspruch 29, wobei das Schutzsubstrat eine Kunststoffplatte ist.

32. Speichersystem nach Anspruch 29, wobei das Schutzsubstrat eine hydrophobe Lackbeschichtung ist.

33. Volumenholographischer Speicher, umfassend den photonischen Speicher nach Anspruch 1, der umfaßt:

ein mit einem Chrom VI Salz dotiertes Polypeptid-Aufzeichnungsmaterial, das gegenüber einer räumlichen Verteilung von Lichtenergie, die durch Interferenz eines kohärenten Referenzlichtstrahls und eines kohärenten Objektlichtstrahls zum Aufzeichnen der räumlichen Verteilung der Lichtenergie erzeugt wird, empfindlich ist, wobei die Alpha- und Betaketten des Polypeptid-Aufzeichnungsmaterials vorwiegend in solchen Anteilen vorliegen, daß das alpha/beta Kettengewichtsverhältnis größer als 1 ist.

34. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das Polypeptidmaterial mit dem Chrom VI Salz in einer Menge von ungefähr 5 bis ungefähr 10 Gew.-% des trockenen Polypeptids dotiert ist.

35. Volumgenholographischer Speicher nach An-

spruch 33, wobei das Polypeptid-Aufzeichnungsmaterial ein auf Collagen basiertes Polypeptidgel umfaßt, bei dem die Viskosität des Gels zwischen ungefähr 3 und ungefähr 4 Centipoise liegt, wie nach dem Standardverfahren gemessen.

36. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das alpha/beta Kettengewichtsverhältnis zwischen ungefähr 1,2 und ungefähr 2,1 ist.

37. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das Polypeptid-Aufzeichnungsmaterial eine Beladung von ungefähr 10 Gew.-% Chrom VI aufweist.

38. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das mittlere Molekulargewicht des auf Collagen basierten Polypeptids zwischen ungefähr 120000 und 150000 Dalton ist.

39. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das Polypeptidaufzeichnungsmedium ein Gel mit einer Gelstärke zwischen ungefähr 90 und ungefähr 300 Bloom ist.

40. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das Chrom VI dotierte Polypeptidmaterial ein Polypeptidhärtungsagens einschließt.

41. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 40, wobei das Härtungsagens ein Chrom III Salz umfaßt.

42. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 40, wobei das Härtungsagens Aluminiumsulfat umfaßt.

43. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das Chrom VI dotierte Polypeptidmaterial ein Tensid umfaßt.

44. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das Polypeptidmaterial ein Tensid vom Fluorkohlenstofftyp einschließt.

45. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das Polypeptidmaterial ein Gel mit einer Gelkraft von ungefähr 250 Bloom ist.

46. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das mittlere Molekulargewicht des Polypeptidmaterials ungefähr 120000 Dalton ist.

47. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das Polypeptidmaterial ein Gel mit einer Viskosität von ungefähr 3,5 Centipoise ist, wie nach dem Standardverfahren gemessen.

48. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das Polypeptidmaterial als relativ

einheitliche Schicht auf einem klaren, transparenten Substrat abgeschieden ist.

49. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 48, worin eine Haftschrift zwischen der Schicht des Aufzeichnungsmediums und der Oberfläche des klaren, transparenten Substrats ausgebildet ist, um so das Aufzeichnungsmedium an das klare, transparente Substrat zu binden.

50. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 48, wobei das klare, transparente Substrat eine Glasplatte ist.

51. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 48, wobei das klare, transparente Substrat ein Kunststoffsubstrat ist.

52. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 51, worin das Kunststoffsubstrat eine Kunststofftafel ist.

53. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 51, wobei das Kunststoffsubstrat ein Kunststofffilm ist.

54. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 33, wobei das Aufzeichnungsmedium mit einem Schutzsubstrat bedeckt ist.

55. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 54, wobei das Schutzsubstrat eine Glasplatte ist.

56. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 54, wobei das Schutzsubstrat eine Kunststoffplatte ist.

57. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 54, wobei das Schutzsubstrat eine hydrophobe Lackbeschichtung ist.

58. Volumenholographischer Speicher nach Anspruch 40, wobei das Härtungsagens Chrom III ist.

59. Verfahren zur Herstellung eines Datenspeichermediums mit dem photonischen Speicher nach Anspruch 1, eine Polypeptidgelbeschichtung auf einem Substrat umfassend, wobei das Verfahren folgende Schritte umfaßt:

Quellen eines Polypeptids biologischer Herkunft in Wasser bei Raumtemperatur zur Bildung einer Polypeptidlösung, wobei die Alpha- und Betaketten des Polypeptids vorwiegend in solchen Anteilen vorliegen, daß das alphas/beta Kettengewichtsverhältnis größer als 1 ist;

Erhitzen der Polypeptidlösung auf eine Temperatur zwischen ungefähr 40 und ungefähr 60°C, bis das Polypeptid vollständig gelöst ist;

Einbringen eines löslichen Chrom VI Salzes in der



Menge von ungefähr 5 bis ungefähr 10 Gew.-% des trockenen Polypeptids in die Polypeptidlösung zur Dotierung des Polypeptids;  
 Filtrieren der dotierten Polypeptidlösung;  
 Halten der dotierten Polypeptidlösung zwischen ungefähr 55 und ungefähr 60°C für einen Zeitraum zwischen 15 bis 60 Minuten;  
 Abscheiden der so erhaltenen Polypeptidlösung als Beschichtung auf einem Substrat;  
 Kühlen der abgeschiedenen, dotierten Polypeptidbeschichtung zur Verfestigung derselben; und  
 Trocknen der abgeschiedenen, dotierten Polypeptidbeschichtung, um ein Datenspeichermedium zu erhalten, das eine Polypeptidgelbeschichtung auf dem Substrat umfaßt.

60. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei das Substrat eine Glasplatte ist und die dotierte Polypeptidlösung auf der Glasplatte durch Gravitationsbeschichtung abgeschieden wird.

61. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei das Substrat ein Kunststoffsubstrat ist und die dotierte Polypeptidlösung auf dem Kunststoffsubstrat abgeschieden wird.

62. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei das Substrat ein Kunststoffsubstrat ist und die dotierte Polypeptidlösung auf dem Kunststoffsubstrat mittels Streichmesserextrudierung oder Meyer-Balken-Extraktion abgeschieden wird.

63. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei eine dünne, hydrophile Haftschrift im Sandwich zwischen dem Substrat und der dotierten Polypeptidschicht angeordnet ist.

64. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei ein Tensid vom Fluorkohlenstofftyp vor dem Einbringen eines Chrom VI Ions in die Polypeptidlösung in dieselbe eingebracht wird.

65. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei ein Polypeptidhärtungsgagens vor dem Filtrieren der dotierten Polypeptidlösung in das dotierte Polypeptid eingebracht wird.

66. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei das Polypeptidgel eine Gelstärke zwischen ungefähr 90 und ungefähr 300 Bloom besitzt.

67. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei das Polypeptidgel eine Viskosität zwischen ungefähr 3 und ungefähr 4 Centipoise besitzt.

68. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei das Polypeptid biologischen Ursprungs ein mittleres Molekulargewicht zwischen ungefähr 120000 und 150000 Dalton besitzt.

69. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei das Alpha-Betakettenverhältnis zwischen ungefähr 1,2 und ungefähr 2,1 ist.

70. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei das Polypeptidgel eine Gelkraft von ungefähr 250 Bloom besitzt.

71. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei das mittlere Molekulargewicht des Polypeptids biologischen Ursprungs ungefähr 120000 Dalton beträgt.

72. Verfahren gemäß Anspruch 59, wobei das Polypeptidgel eine Viskosität von ungefähr 3,5 Centipoise besitzt, wie nach dem Standardverfahren gemessen.

73. Verfahren gemäß Anspruch 61, wobei das Kunststoffsubstrat eine Kunststofftafel ist.

74. Verfahren gemäß Anspruch 61, wobei das Kunststoffsubstrat ein Kunststofffilm ist.

75. Verfahren zur Herstellung eines Datenspeichermediums mit dem photonischen Speicher nach Anspruch 1, umfassend eine Polypeptidgelbeschichtung auf einer Platte, wobei das Verfahren folgende Schritte umfaßt:

Quellen eines Polypeptids biologischen Ursprungs in Wasser bei Raumtemperatur zur Bildung einer Polypeptidlösung, wobei die Alpha- und Betaketten des Polypeptids vorwiegend in solchen Anteilen vorliegen, daß das alpha/beta Kettenverhältnis größer als 1 ist;

Erwärmen der Polypeptidlösung auf eine Temperatur zwischen ungefähr 40 und ungefähr 60°C bis das Polypeptid vollständig aufgelöst ist;

Einbringen einer löslichen Chrom VI Salzlösung in der Menge von ungefähr 5 bis ungefähr 10 Gew.-% des trockenen Polypeptids in die Polypeptidlösung zur Dotierung des Polypeptids;

Filtrieren der dotierten Polypeptidlösung;

Halten der dotierten Polypeptidlösung zwischen ungefähr 55 und ungefähr 60°C für einen Zeitraum zwischen 15 bis 60 Minuten;

Abscheiden der so erhaltenen, dotierten Polypeptidlösung zwischen zwei voneinander beabstandeten Platten, um den Platz zwischen den einander zugewandten Platten zu füllen, wobei die innere Oberfläche der ersten zugewandten Platte mit einem hydrophoben Film beschichtet ist, um ein Binden der Polypeptidlösung an die innere Oberfläche zu vermeiden; Kühlen der abgeschiedenen, dotierten Polypeptidbeschichtung zur Verfestigung derselben;

Entfernen der ersten Platte, wobei die andere Platte mit der darauf gekühlten, dotierten, abgeschiedenen Polypeptidbeschichtung zurückgelassen wird; und Trocknen der abgeschiedenen, dotierten Polypeptidbeschichtung zum Erhalt eines Datenspeichermediums, das eine Polypeptidgelbeschichtung auf der an-

deren Platte umfaßt.

76. Verfahren gemäß Anspruch 75, wobei die andere Platte eine Glasplatte ist.

77. Verfahren gemäß Anspruch 75, wobei die andere Platte eine Kunststoffplatte ist.

78. Vorrichtung zum Aufzeichnen digitaler Information in den photonischen Speicher nach Anspruch 1, umfassend:  
einen Objektlichtstrahl, der die digitale Information trägt;  
einen Referenzlichtstrahl; und  
ein aus einem Polypeptidmaterial hergestelltes Speichermedium, in dem der Referenzlichtstrahl und der Objektlichtstrahl sich zur Bildung eines Interferenzmusters schneiden, das über die gesamte Dicke des Speichermediums gespeichert wird, wobei das Polypeptidmaterial eine Lösung von chromdotierten Collagen umfasst.

79. Vorrichtung nach Anspruch 78, wobei das Speichermedium ein Volumenphasengitter bildet, in dem das Interferenzmuster als ein Diffractionsmuster gebildet wird.

80. Vorrichtung nach Anspruch 78, wobei das Polypeptidmaterial in der Form einer flachen Tafel vorliegt, die durch Rechtecke Koordinaten (X, Y) einer Ebene der flachen Tafel definiert ist und ein auf den Objektlichtstrahl moduliertes Paket digitaler Information in einem Punkt der Ebene als Subdiffractionsmuster codiert ist.

81. Vorrichtung nach Anspruch 78, wobei die Variation der Winkelrichtung des Referenzlichtstrahls durch variable Beabstandung von einem bis vier Grad bewegt wird.

82. Vorrichtung nach Anspruch 78, wobei das Speichermedium in der Form einer flachen Tafel geformt ist, die durch rechtwinklige Koordinaten (X, Y) einer Ebene der flachen Tafel definiert ist, wobei wenigstens fünfzehn diskrete Variationen in Winkelrichtung des Referenzlichtstrahls zur Codierung einer Wellenfront des Objektlichts ausgeführt werden.

83. Vorrichtung nach Anspruch 78, wobei in der Lösung des chromdotierten Collagens Alpha- und Betaketten überwiegend in solchen Anteilen vorliegen, daß ein  $\alpha/\beta$ Verhältnis größer als 1 ist.

84. Vorrichtung nach Anspruch 78, wobei das  $\alpha/\beta$  Verhältnis zwischen ungefähr 1,2 und ungefähr 2,1 ist.

85. Vorrichtung nach Anspruch 78, wobei das Dotieren mit Chrom durch Zugabe eines Chrom VI Salzes zu der Lösung in einer Menge von ungefähr 5

bis 10 Gew.-% des trockenen Polypeptids durchgeführt wird.

86. Vorrichtung zum Lesen gespeicherter digitaler Information in dem photonischen Speicher nach Anspruch 1, umfassend:  
ein aus einem Polypeptidmaterial hergestelltes Speichermedium mit darin gespeicherter digitaler Information als eine Vielzahl von Paketen, die über die gesamte Dicke des Speichermediums gespeichert sind, wobei das Polypeptidmaterial eine Lösung von chromdotiertem Collagen umfaßt; und  
ein zum Adressieren von wenigstens einem der Pakete in dem Speichermedium konfigurierten Lese-lichtstrahl.

87. Vorrichtung nach Anspruch 86, wobei der Lese-lichtstrahl durch ein oder mehrere Transformationsknoten, die in einem optischen Weg zu einem einer Vielzahl von Punkten angeordnet sind, die eine Matrix auf dem Speichermedium definieren, wie von einem oder mehreren Anfangsspeicherbedingungen bestimmt und einem oder mehreren Betriebsbedingungen, gerichtet und geformt wird.

88. Vorrichtung nach Anspruch 87, wobei einer der anfänglichen Speicherbedingungen die Größe der Matrix ist.

89. Vorrichtung nach Anspruch 87, wobei einer der anfänglichen Speicherbedingungen die Anzahl der Punkte in der Matrix ist.

90. Vorrichtung nach Anspruch 87, wobei einer der anfänglichen Speicherbedingungen die physikalischen Merkmale des Polypeptidmaterials sind.

91. Vorrichtung nach Anspruch 90, wobei die physikalischen Merkmale des Polypeptidmaterials eine Auswahl der bildenden Moleküle einschließt.

92. Vorrichtung nach Anspruch 90, wobei die physikalischen Merkmale des Polypeptidmaterials aus einem Verfahren zur Herstellung des Polypeptidmaterials resultieren.

93. Vorrichtung nach Anspruch 92, wobei das Verfahren zur Herstellung des Polypeptidmaterials eine Wellenlängeempfindlichkeit des Polypeptidmaterials bestimmt.

94. Vorrichtung nach Anspruch 92, wobei das Verfahren zur Herstellung des Polypeptidmaterials ein Beschichtungsverfahren einschließt.

95. Vorrichtung nach Anspruch 90, wobei die physikalischen Merkmale des Polypeptidmaterials durch einen Aufzeichnungsprozess bestimmt sind.

96. Vorrichtung nach Anspruch 95, wobei der

Aufzeichnungsprozess durch wenigstens einen der folgenden Parameter definiert ist: Wellenlänge, Temperatur, Feuchtigkeit und die physikalischen Merkmale eines Substrats aus dem Polypeptidmaterial.

97. Vorrichtung nach Anspruch 90, wobei die physikalischen Merkmale des Polypeptidmaterials einen Prozess nach der Belichtung einschließen.

98. Vorrichtung nach Anspruch 97, wobei der Prozess nach der Belichtung durch Faktoren definiert ist, wie physikalische Merkmale von Bädern und physikalische Parameter, wie Temperatur und Feuchtigkeit.

99. Vorrichtung nach Anspruch 87, wobei die Betriebsparameter die gewünschte Zeit einschließen, die zum Zugriff auf das Speichermedium erforderlich ist.

100. Vorrichtung nach Anspruch 87, wobei die Betriebsparameter den Typ der verwendeten Aktivatoren einschließt.

101. Vorrichtung nach Anspruch 87, wobei die Betriebsparameter den Grad der Miniaturisierung einschließen.

102. Vorrichtung nach Anspruch 87, wobei die Betriebsparameter den Grad der Auflösung einschließen.

103. Vorrichtung nach Anspruch 87, wobei die Knoten aus dynamischen Einrichtungen bestehen.

104. Vorrichtung nach Anspruch 103, wobei die dynamischen Einrichtungen aus einer Gruppe ausgewählt sind, die Spiegel, mit einem Rotationsbestandteil verbundene Mikrospiegel, akustooptische Bestandteile, mit Flüssigkristallen verbundene Diffractionsmitter, Kerrzellen und Pockelszellen umfassen.

105. Vorrichtung nach Anspruch 103, wobei die räumliche Positionierung der dynamischen Einrichtungen und die Steuerung ihrer Orientierung durch Software erfolgt.

106. Vorrichtung nach Anspruch 87, wobei die an den Knoten zur Ablenkung des Lesestrahls angeordneten Bestandteile umfassen:

zwei akustooptische Einrichtungen, die den Lesestrahle auf bekannte Weise in Winkelrichtung gemäß der Frequenz von einwirkenden Ultraschallwellen beugen;

ein stromab in Bezug auf die akustooptischen Einrichtungen angeordnetes und auf solche Weise orientiertes Diffractionsmitter, das ein aus den akustooptischen Einrichtungen austretender Strahl die aktive Fläche des Gitters in einem ersten Winkel trifft, der so optimiert ist, daß ein gebrochener Strahl in einem

zweiten Glanzwinkel austritt; und wenigstens eine dynamische Winkelablenkungseinrichtung, die in Bezug auf das Gitter stromab angeordnet ist und den aus dem Gitter austretenden Strahl auf das Speichermedium richtet.

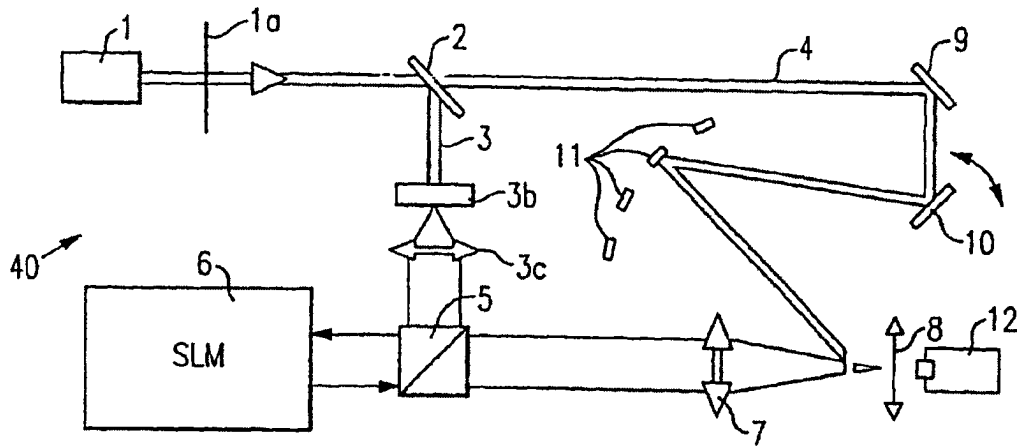
107. Einrichtung nach Anspruch 86, wobei in der Lösung des chromdotierten Collagens Alpha- und Betaketten vorwiegend in solchen Anteilen vorliegen, daß ein  $\alpha/\beta$  Verhältnis größer als 1 ist.

108. Vorrichtung nach Anspruch 107, wobei das  $\alpha/\beta$  Verhältnis zwischen ungefähr 1,2 und ungefähr 2,1 ist.

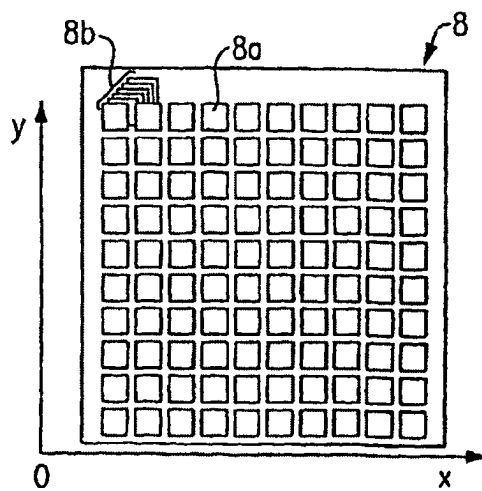
109. Vorrichtung nach Anspruch 107, wobei die Chromdotierung durch Zufügen eines Chrom VI Salzes zu der Polypeptidlösung in einer Menge von 5 bis 10 Gew. % des trockenen Polypeptids durchgeführt wird.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

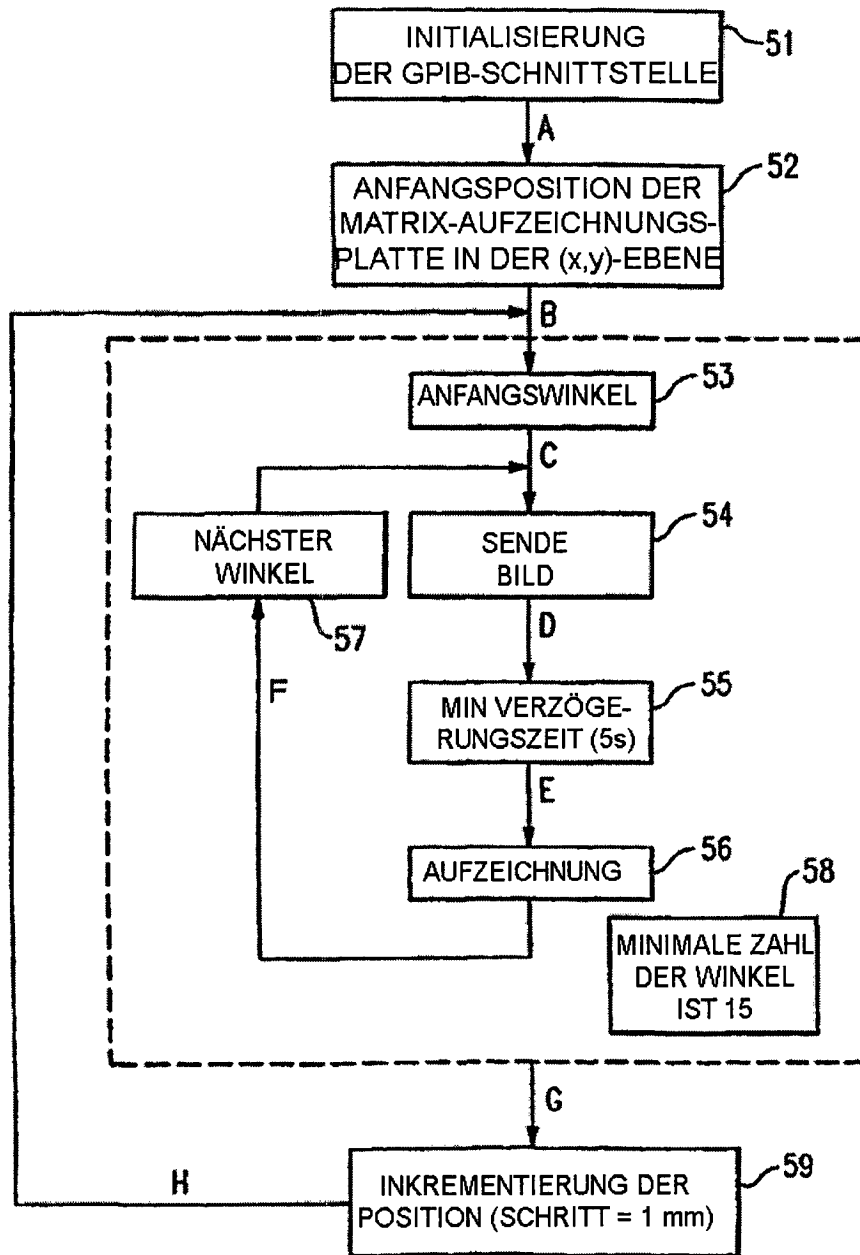
**FIG.1**



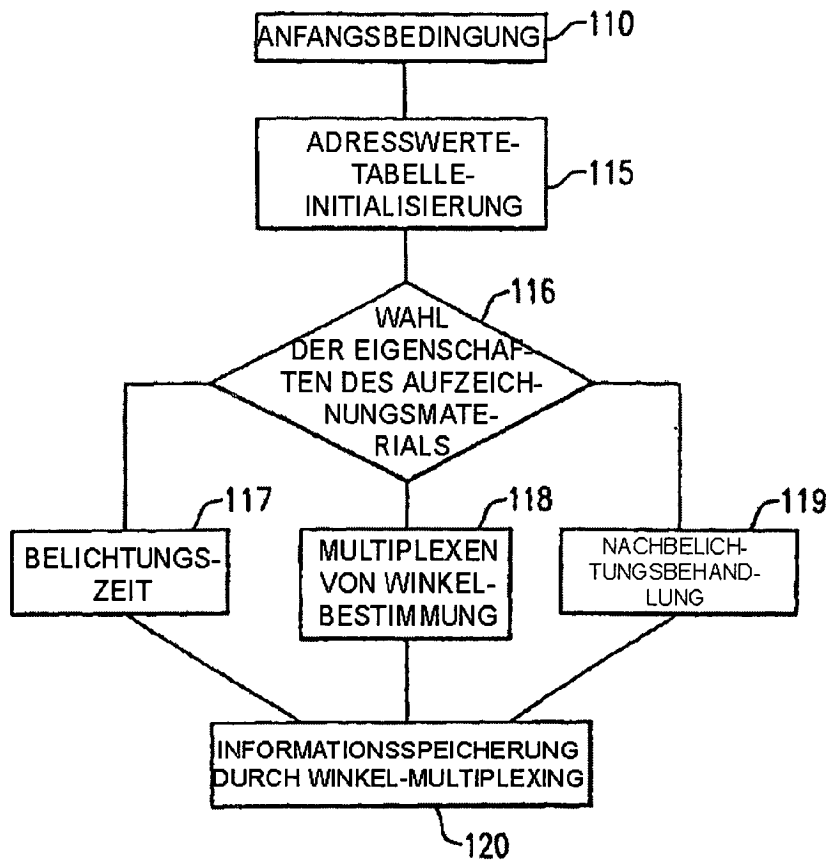
**FIG.2**



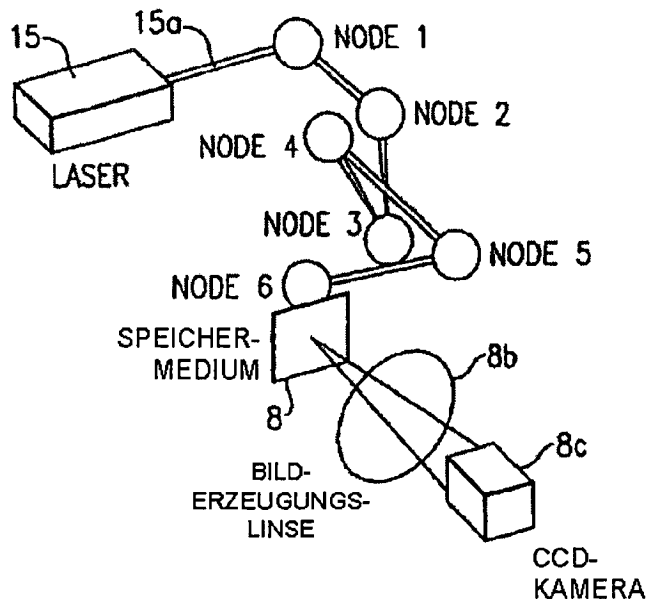
**FIG.3**



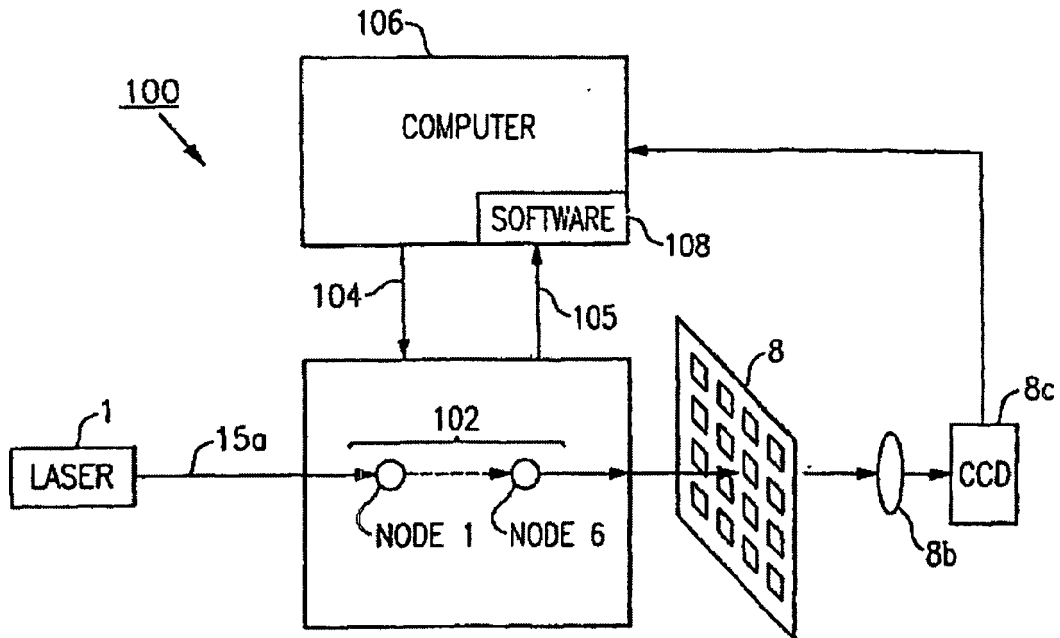
**FIG.4**



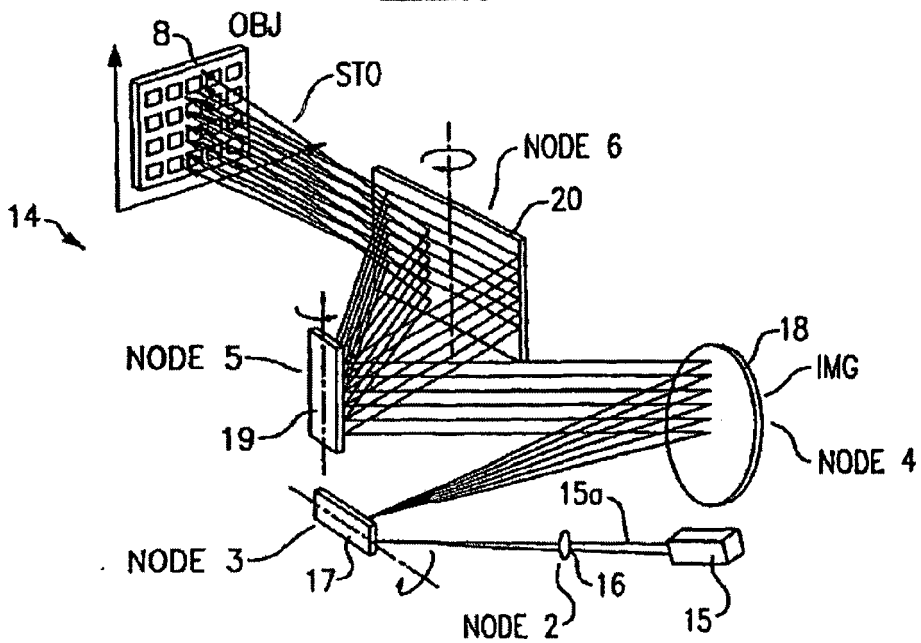
**FIG.5A**



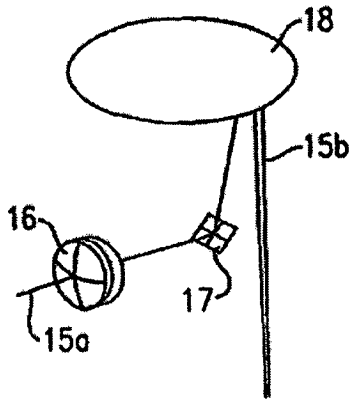
**FIG.5B**



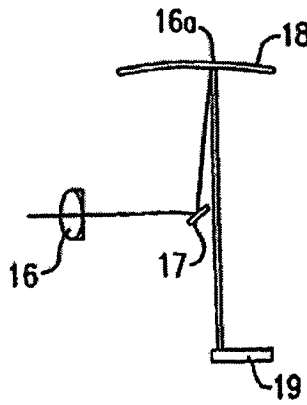
**FIG.6A**



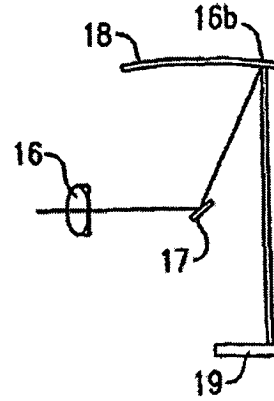
**FIG.6B**



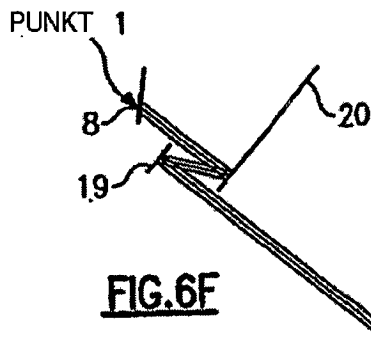
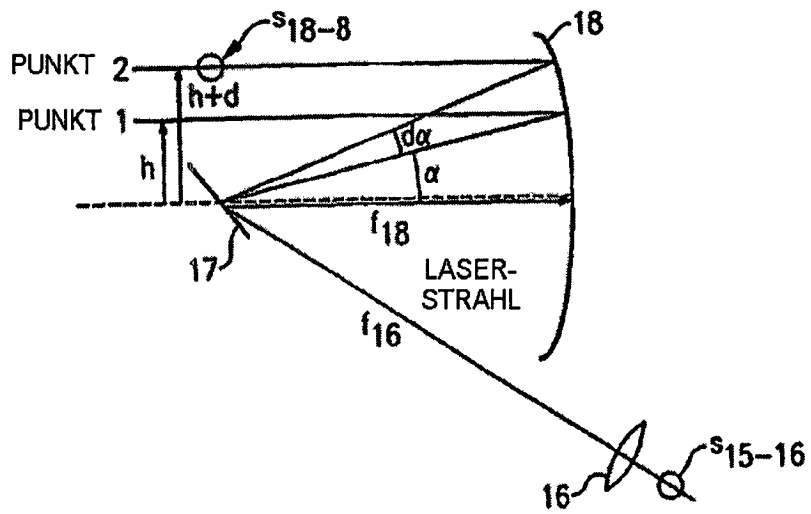
**FIG.6C**



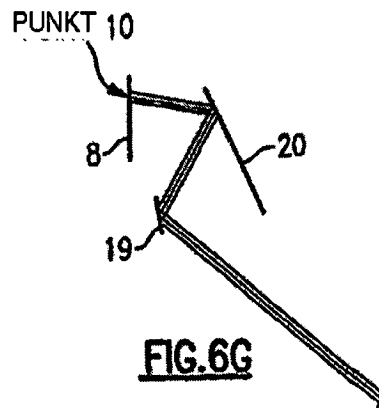
**FIG.6D**



**FIG.6E**



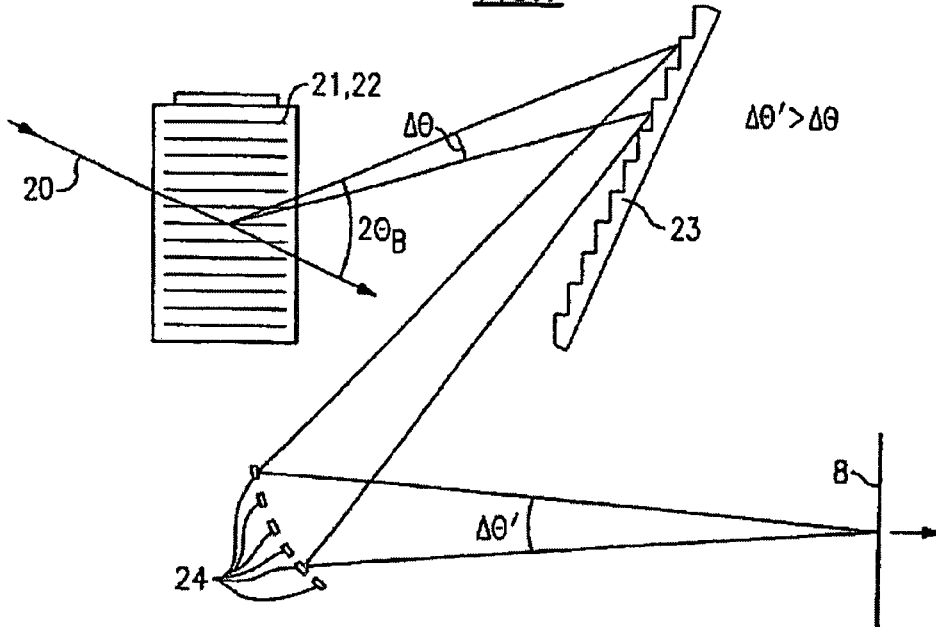
**FIG.6F**



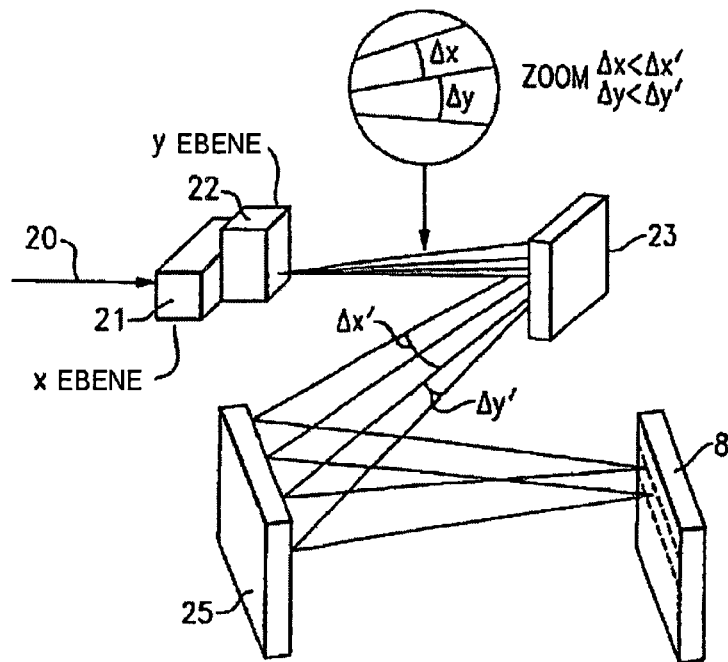
**FIG.6G**



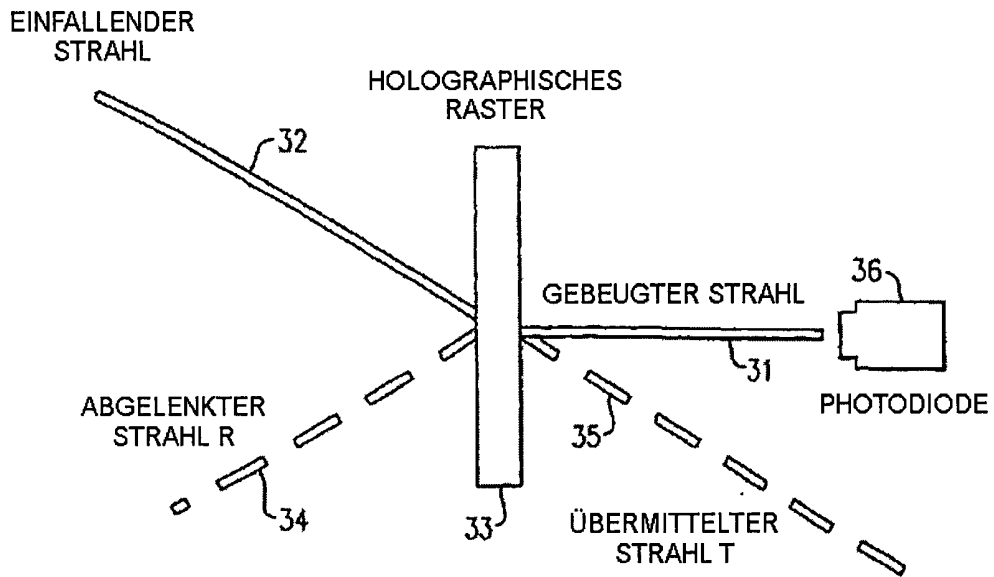
**FIG.7**



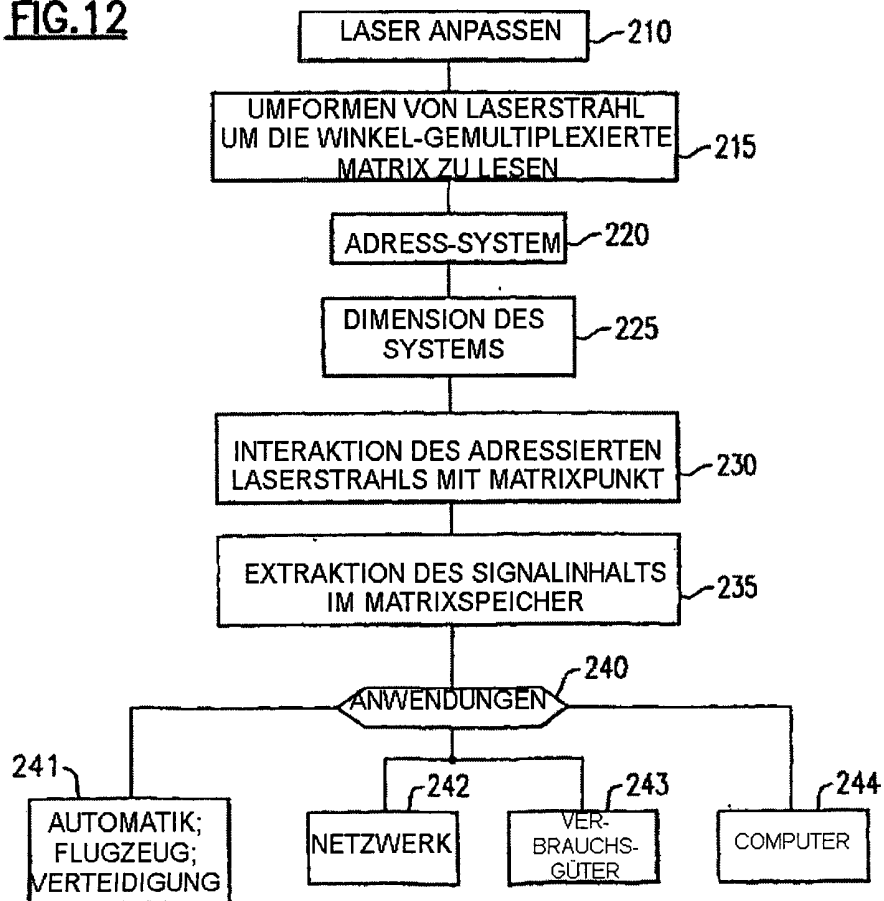
**FIG.8**



**FIG.9**



**FIG.12**



**FIG.10**

1.POINT  $n^0=1$  (X=1mm)

$\theta_1 = -10^\circ$

```

STO: INFINITY 28.000000
XDE: 0.000000 YDE: -5.000000 DAR
ADE: 0.000000 BDE: 0.000000 CDE: 0.000000
NODE 6 INFINITY -28.000000 REFL
XDE: 0.000000 YDE: -4.000000 DAR
ADE: 0.100889 BDE: 0.000000 CDE: 0.000000
NODE 5 INFINITY 5.000000 REFL
XDE: 0.000000 YDE: -10.000000 DAR
ADE: -14.901092 BDE: 0.000000 CDE: 0.000000
IMG: INFINITY 28.000000
XDE: 0.000000 YDE: -37.400000 DAR
ADE: 0.000000 BDE: 0.000000 CDE: 0.000000
EFL REDU PIM OAL EN PUP EX PUP
*****
ACTIVE CONSTRAINTS - 2: TARGET VALUE DIFF COST
Y S3 F1 W1 G3 R1 = 3.98000E-01 3.98000E-01 -1.332E-15 -1.814E-07
N S4 F1 W1 G4 R1 = 7.66000E-01 7.66000E-01 0.000E+00 7.186E-02
INACTIVE CONSTRAINTS: TARGET VALUE DIFF
EFL = 1.00000E+18 1.00000E+18 -1.280E+02
Y S4 F1 W1 G4 R1 = -1.93101E-01 1.76330E-01 3.694E-01
CYCLE NUMBER 2:
ERR. F. = 88349.07801279 (CHANGE= 0.000000002)
X 33302.88749564
Y 55046.19051715
    
```

FIG.11

PUNKT 1 (X= 1mm)

NODE 6

NODE 5

WINKELRICHTUNG IN GRAD	WINKEL GALVA2	WINKEL GALVA1
10	0.100	-14.901
12	-1.815	-15.817
14	-3.731	-16.733
16	-5.647	-17.647
18	-7.558	-18.560
20	-9.470	-19.472
22	-11.380	-20.382
24	-13.287	-21.289
26	-15.192	-22.194
28	-17.095	-23.097
30	-18.994	-23.996
32	-20.890	-24.892
34	-22.782	-25.784
36	-24.669	-26.671
38	-26.552	-27.554

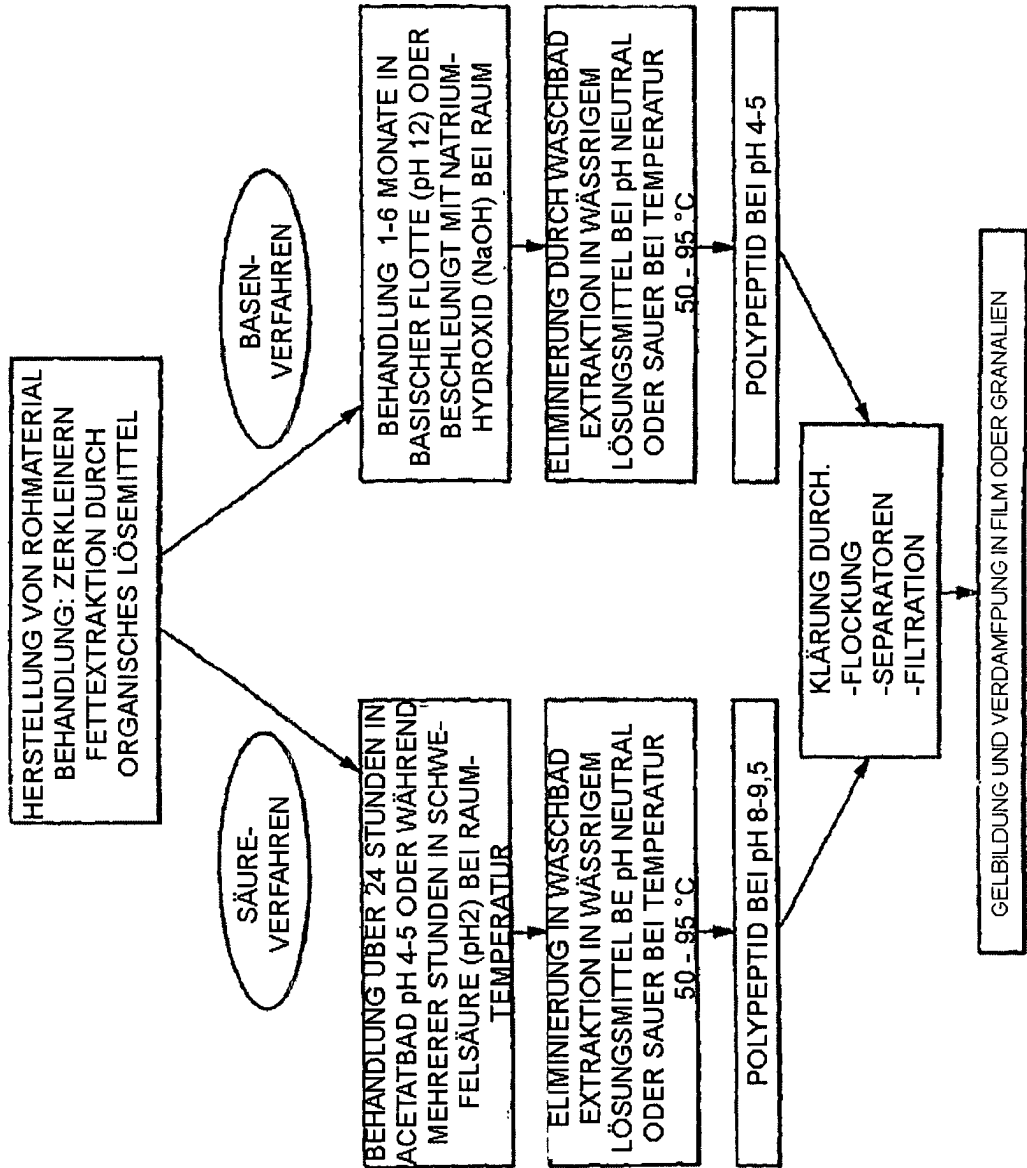
PUNKT 2 (X= 2mm)

WINKELRICHTUNG IN GRAD	WINKEL GALVA2	WINKEL GALVA1
10	2.132	-12.869
12	0.217	-13.784
14	-1.697	-14.698
16	-3.610	-15.612
18	-5.523	-16.525
20	-7.435	-17.437

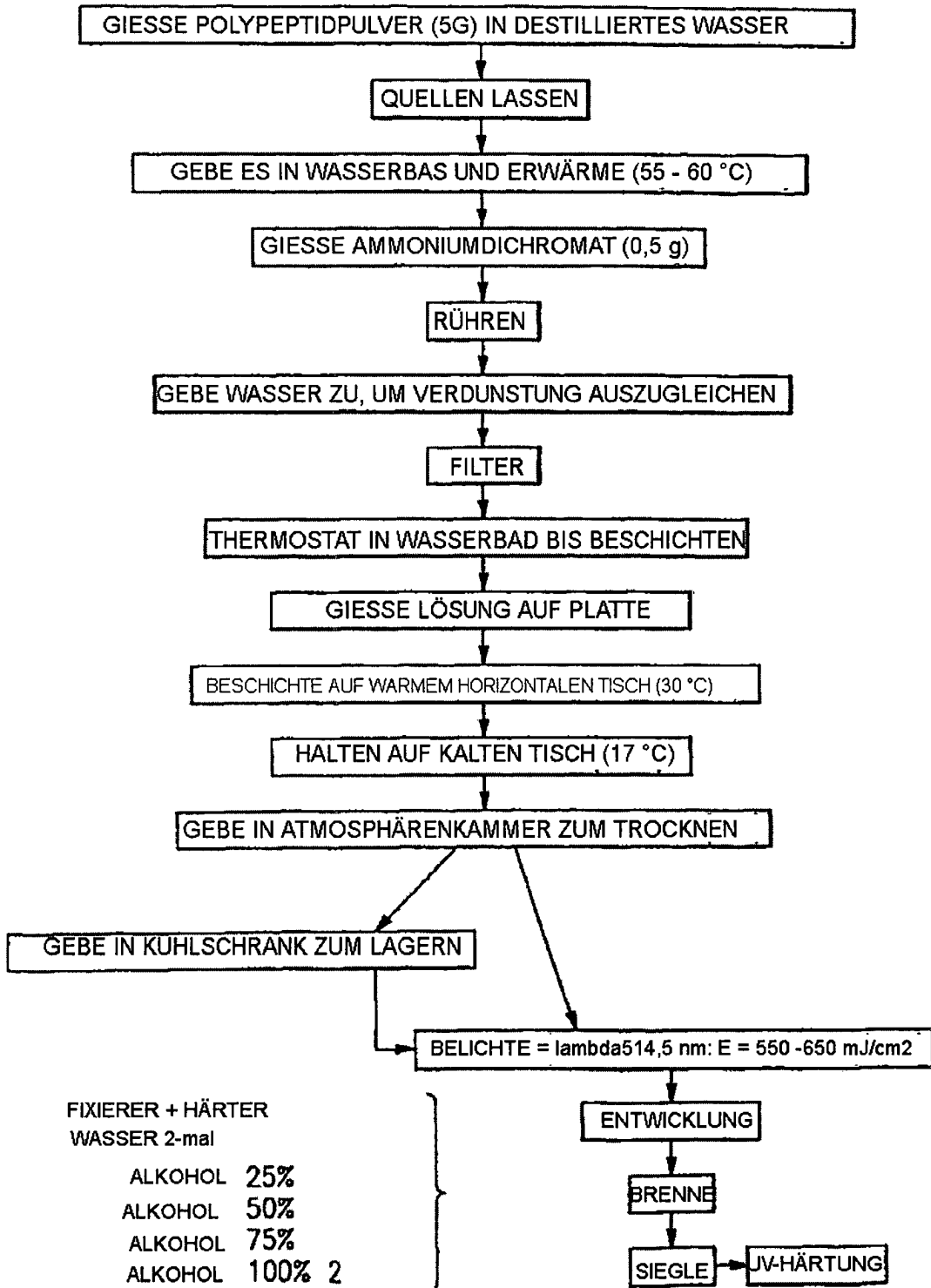
**FIG.13**

KETTEN MOLEKULAR- GEWICHT					$\gamma$	$\beta$	$\alpha$				
	<2500000	<2000000	<1000000	<540000	<340000	<230000	<125000	<70000	<49000	<35000	<25000
MOLGEW.-%			0.72%	4.34%	6.88%	17.23%	23.81%	15.70%	13.90%	9.36%	8.07%

**FIG.14**



**FIG.15**



**FIG.16**

