



(10) **DE 10 2010 034 085 A1** 2012.02.16

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 034 085.5**

(22) Anmeldetag: **12.08.2010**

(43) Offenlegungstag: **16.02.2012**

(51) Int Cl.: **B44F 1/12 (2006.01)**

**B81C 1/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Giesecke & Devrient GmbH, 81677, München, DE**

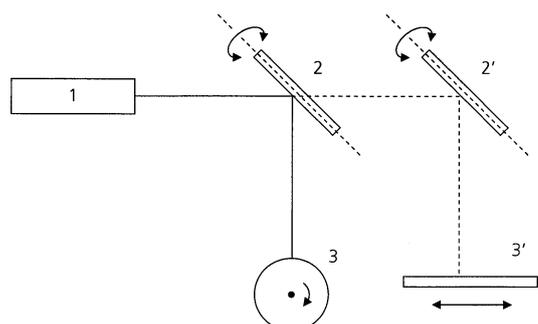
(72) Erfinder:

**Lochbihler, Hans, Dr., 80333, München, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Prägewerkzeuge für Mikrostrukturelemente**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Prägewerkzeugen, die aus einem Substrat bestehen, in dessen Oberfläche Prägestrukturen für Mikrostrukturelemente, wie Hologramme, Nanostrukturen oder dergleichen, eingebracht werden. Erfindungsgemäß werden die Prägestrukturen für die Mikrostrukturelemente in die Oberfläche des Substrats mittels ultrakurzer Laserpulse aus polarisierten elektromagnetischen Wellen bzw. polarisierter elektromagnetischer Strahlung eingebracht. Es wird somit ein Verfahren der Oberflächenstrukturierung benutzt, um Prägewerkzeuge für Mikrostrukturelemente herzustellen. Damit kann die Originalstruktur direkt auf die Oberfläche eines Prägewerkzeugs übertragen und davon Folienabzüge angefertigt werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Prägwerkzeugen, die aus einem Substrat bestehen, in dessen Oberfläche Prägestrukturen für Mikrostrukturelemente, wie Hologramme, Nanostrukturen oder dergleichen, eingebracht werden.

**[0002]** Das Herstellungsverfahren des Standes der Technik, mit dem Prägwerkzeuge für Mikrostrukturelemente erzeugt werden, beinhaltet eine relativ lange Prozesskette. Zunächst wird ein sogenanntes Original in einem photolithographischen Verfahren hergestellt, wobei ein Elektronenstrahl aus einem Elektronenbeschleuniger, einer sogenannten e-Beam-Anlage, Material von der Oberfläche eines gehärteten metallischen Blechs aus Nickel abträgt. Hierbei wird mit der e-Beam-Anlage bevorzugt ein homogenes Gitter geschrieben und in Quarz geätzt. Davon werden Kopien in ein Substrat aus einem anorganisch-organischen Hybridpolymer abgeformt. Diese Kopien werden dann in einem photolithographischen Prozess mit dem Laserwriter bearbeitet, um eine laterale Strukturierung vorzunehmen.

**[0003]** Das Original wird anschließend mehrfach galvanisch umkopiert, um einen Stempel für die Herstellung des Prägwerkzeugs anzufertigen. Schließlich wird mit diesem Stempel das Motiv des Originals in einer Rekombinationsanlage vervielfacht, um die gesamte Fläche eines Prägwerkzeugs auszufüllen. Letztendlich entsteht das Prägwerkzeug als galvanische Abformung dieses vervielfältigten Abdrucks.

**[0004]** Dieser Herstellungsprozess ist jedoch sehr personal-, zeit- und kostenintensiv. Des Weiteren sind für die Errichtung von Fertigungsanlagen für diesen Herstellungsprozess hohe Investitionen erforderlich.

**[0005]** Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes Sicherheitselement derart weiterzubilden, dass die Nachteile des Standes der Technik behoben werden.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0007]** Erfindungsgemäß werden die Prägestrukturen für die Mikrostrukturelemente in die Oberfläche des Substrats mittels ultrakurzer Laserpulse aus polarisierten elektromagnetischen Wellen bzw. polarisierter elektromagnetischer Strahlung eingebracht. Es wird somit ein Verfahren der Oberflächenstrukturierung benutzt, um Prägwerkzeuge für Mikrostrukturelemente herzustellen. Damit kann die Originalstruktur direkt auf die Oberfläche eines Prägwerkzeugs übertragen und davon Folienabzüge angefertigt werden.

**[0008]** Bei dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren kann die Originalstruktur direkt in die Oberfläche eines gehärteten metallischen Blechs eingebracht werden, so dass besonders vorteilhaft die Nanostrukturen direkt in die Oberfläche eines Prägezylinders eingebracht werden können. Die photolithographischen Prozessschritte der Originalherstellung und die anschließende galvanische Replizierung entfallen somit bei dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren.

**[0009]** Die Periode der entstehenden Mikrostrukturelemente hängt von der Wellenlänge der gepulsten Laserstrahlung ab, aber auch von der Pulsdauer und der Pulsanzahl der Laserstrahlung. Die Homogenität der Quasigitterstruktur, der sogenannten Ripples, ist limitiert durch die Homogenität des fokussierten Laserstrahls an der Oberfläche. Ein typischer Laserstrahl weist beispielsweise einen Durchmesser von etwa 20 µm auf, wobei ein größerer Durchmesser die Intensität an der Oberfläche des Substrats verringert.

**[0010]** Die entstehenden Mikrostrukturelemente haben bevorzugt eine Periode von etwa 500 nm und eine Tiefe von einigen Hundert nm. Es sind jedoch auch feinere Strukturen mit einer Periode von weniger als 300 nm möglich.

**[0011]** Der genaue Entstehungsprozess der Mikrostrukturelemente bzw. Quasigitterstruktur ist derzeit noch nicht abschließend verstanden. Gemäß der derzeit vorherrschenden wissenschaftlichen Meinung handelt es sich um eine Mischung aus einem Selbstorganisationsprozess, der an der Oberfläche des Substrats durch den hohen Energieeintrag ausgelöst wird, und die wechselwirkende Ordnung durch die elektromagnetische Strahlung des Laserlichts. Das Ergebnis ist dann eine Gitterstruktur, die gewisse Unregelmäßigkeiten zeigt.

**[0012]** Das Substrat wird mit ultrakurzen Laserpulsen beaufschlagt, so dass Nanostrukturen auf dem Substrat entstehen. In einer bevorzugten Ausführungsform wird anschließend eine Trennschicht, beispielsweise eine

Trichlorsilanverbindung, auf die Oberfläche des Prägwerkzeugs aufbracht und schließlich die Reliefstruktur in einen UV-Lack auf einer Kunststoffolie abgeformt.

**[0013]** Bevorzugt haben die Laserpulse eine Pulsdauer von weniger als 50 Pikosekunden, d. h. weniger als  $50 \cdot 10^{-12}$  Sekunden, bevorzugt weniger als 1 Pikosekunde, d. h. weniger als  $1 \cdot 10^{-12}$  Sekunden, und besonders bevorzugt von etwa 150 Femtosekunden, d. h. etwa  $150 \cdot 10^{-15}$  Sekunden.

**[0014]** Bevorzugt sind die elektromagnetischen Wellen der Laserpulse linear polarisiert, wobei sich eine Gitterstruktur ergibt, deren Gitterlinien senkrecht zum Richtungsvektor der elektromagnetischen Welle, dem sogenannten E-Vektor, der einfallenden Laserstrahlung ausgerichtet sind. Bekanntlich steht der Richtungsvektor des elektromagnetischen Felds einer Welle immer senkrecht auf deren Ausbreitungsrichtung und definiert die Polarisationsrichtung der Welle. Wenn zwei Bereiche mit jeweils unterschiedlicher linearer Polarisationsrichtung strukturiert werden und die beiden Polarisationsrichtungen bevorzugt senkrecht zueinander stehen, zeigen diese beiden Bereiche einen maximalen Farbkontrast.

**[0015]** Alternativ sind die elektromagnetischen Wellen der Laserpulse elliptisch polarisiert, wobei sich eine Gitterstruktur ergibt, deren Gitterlinien senkrecht zur großen Hauptachse des E-Vektors der einfallenden Laserstrahlung ausgerichtet sind. Hierbei variiert die Vorzugsrichtung der Rippelstrukturen gegenüber dem Fall der linearen Polarisationsrichtung stärker und erscheint die Struktur matter.

**[0016]** Ein Spezialfall der elliptischen Polarisation stellt die zirkulare Polarisation der elektromagnetischen Wellen dar, wobei sich eine Gitterstruktur ergibt, deren Gitterlinien etwa  $45^\circ$  für linkszirkular polarisierte und etwa  $-45^\circ$  für rechtszirkular polarisierte Laserstrahlung ausgerichtet sind, bezogen auf die Einfallsebene des Laserstrahls.

**[0017]** Wenn derartige Strukturen in UV-Lack auf eine Folie abgeformt und wie in DE 10 2009 058 243 bzw. DE 10 2009 056 933 beschrieben mit einem Mehrschichtaufbau bedampft werden, erscheinen die strukturierten Bereiche in unterschiedlichen Farben. Die Mattierung der Farben kann dabei durch die erfindungsgemäße Rippelanordnung eingestellt werden.

**[0018]** Besonders bevorzugt besteht das Substrat mindestens auf seiner Oberfläche aus einem gehärteten Metall, insbesondere gehärtetem Nickel oder einer gehärteten Nickellegierung, einem Dielektrikum oder einer Keramik.

**[0019]** Bevorzugt bestehen die Prägwerkzeuge aus einem Substrat, das zumindest an seiner Oberfläche eine Vickershärte von mindestens 100 HV-5 und bevorzugt von mindestens 150 HV-5 aufweist. In der nachfolgenden Tabelle sind einige Materialien und die dazugehörigen Vickershärten in HV-10 aufgelistet:

Galvanisches Glanz-Nickel	450–600 HV-10
Galvanisches Matt-Nickel	300–400 HV-10
Titan	300–400 HV-10
Martensit (Edelstahl)	700–1200 HV-10
Chromierter Edelstahl	1100–2000 HV-10
Titan-Nitrid Schicht	1800–2000 HV-10
Keramik	1400–1900 HV-10
Saphir	1800–2200 HV-10

**[0020]** Diese Werte wurden mit einem stationären Prüfgerät gemäß DIN EN ISO 6507-1:2005 bis -4:2005 bei einer Prüfkraft von 5 Kilopond (HV-5) bzw. 10 Kilopond (HV-10) ermittelt.

**[0021]** Mikrostrukturelemente, die mit einem erfindungsgemäßen Prägwerkzeug erzeugt werden, werden besonders bevorzugt für Sicherheitselemente zur Erhöhung des Fälschungsschutzes von Sicherheitsdokumenten, wie Banknoten, Wertpapieren, Ausweisen, Kreditkarten, Debit-Karten oder dergleichen, verwendet. D. h., mit dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Prägwerkzeuge hergestellt, mit denen wiederum Sicherheitselemente zur Erhöhung des Fälschungsschutzes von Sicherheitsdokumenten, wie Banknoten, Wertpapieren, Ausweisen, Kreditkarten, Debit-Karten oder dergleichen, oder des Markenschutzes hergestellt werden. Der Fälschungsschutz beruht dabei im Wesentlichen darauf, dass ein visuell einfach und deutlich erkennbarer op-

tisch variabler Effekt der Mikrostrukturen von Reproduktionsgeräten, wie beispielsweise Farbkopierern, nicht oder nur ungenügend wiedergegeben wird.

**[0022]** Anhand der nachfolgenden Ausführungsbeispiele und den ergänzenden Figuren werden die Vorteile der Erfindung erläutert. Die Ausführungsbeispiele stellen bevorzugte Ausführungsformen dar, auf die jedoch die Erfindung in keinerlei Weise beschränkt sein soll. Des Weiteren sind die Darstellungen in den Figuren des besseren Verständnisses wegen stark schematisiert und spiegeln nicht die realen Gegebenheiten wider. Insbesondere entsprechen die in den Figuren gezeigten Proportionen nicht den in der Realität vorliegenden Verhältnissen und dienen ausschließlich zur Verbesserung der Anschaulichkeit. Des Weiteren sind die in den folgenden Ausführungsbeispielen beschriebenen Ausführungsformen der besseren Verständlichkeit wegen auf die wesentlichen Kerninformationen reduziert. Bei der praktischen Umsetzung können wesentlich komplexere Muster oder Bilder zur Anwendung kommen.

**[0023]** Im Einzelnen zeigen schematisch:

**[0024]** [Fig. 1](#) eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer durch Femtosekunden Laserpulsen erzeugten Gitterstruktur,

**[0025]** [Fig. 2](#) eine Vorrichtung, mit der mit einem Laser Mikrostrukturen in ein Substrat eingebracht werden,

**[0026]** [Fig. 3](#) eine erfindungsgemäße Mikrostruktur in Stahlblech und hierbei in [Fig. 3a](#) bei senkrechtem Einfallswinkel die gesamte Mikrostruktur und in [Fig. 3b](#) eine Detailansicht daraus sowie in [Fig. 3c](#) bei schrägem Einfallswinkel die gesamte Mikrostruktur und in [Fig. 3d](#) eine Detailansicht daraus,

**[0027]** [Fig. 4](#) einen Querschnitt durch einen bedampften Folienabzug der Mikrostruktur aus [Fig. 3](#).

**[0028]** [Fig. 1](#) zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer durch Femtosekunden Laserpulse erzeugten Gitterstruktur. Es ist zu erkennen, dass die durch Femtosekunden Laserpulse erzeugte Struktur nicht dieselbe Regelmäßigkeit besitzt wie ein photolithographisch bzw. interferometrisch hergestelltes Gitter. Aufgrund der relativ kleinen Spotgröße des Laserpulses spielen Randeffekte eine große Rolle. Daher schwankt die Periode und die Profilform des erzeugten Gitters etwas. Profile mit einer scharfen Rechteckform können nicht erzeugt werden. Dies wirkt sich auf das optische Erscheinungsbild aus. Die Farben sind daher matter als die Farberscheinung von herkömmlichen Gittern. Die erste Beugungsordnung wird durch die Schwankung des Azimuts und der Periode in einem Lichtkegel aufgestreut.

**[0029]** Trotzdem lassen sich kontrastreiche feine Strukturen mit Abmessungen von bis zu 10 µm erzeugen. Dadurch kann ein hologrammartiger Charakter nachgebildet werden. Solche Muster können in UV-Lack auf Plastikfolien abgeformt und anschließend bedampft werden.

**[0030]** Die Gitterstruktur aus [Fig. 1](#) wurde mittels eines Ultrakurzpuls-Lasers erzeugt, beispielsweise einem Ti:Saphir-Laser mit den folgenden Parametern:

- Pulsdauer: 150 fs,
- Wellenlänge: 800 nm,
- Wiederholrate: 5 kHz,
- Strahldurchmesser ca. 20 µm,
- Energie 0,2 J/cm<sup>2</sup>–2 J/cm<sup>2</sup> (12,5 mW–140 mW),
- linear polarisierte Strahlung,

wobei der Effekt der Oberflächenstrukturierung bereits ab Pulslängen im Bereich von Pikosekunden erfolgen kann. Eine Mehrzahl von einzelnen Laserpulsen wirkt dabei solange auf einen Bereich des Substrats ein, bis sich die gewünschte Oberflächenstrukturierung eingestellt hat.

**[0031]** Um die Oberflächenstrukturierung auszuprägen, ist materialabhängig ein gewisser Energieübertrag auf das Substrat notwendig. Dieser Energieeintrag ist jedoch niedriger als bei der Laserablation. Denn das Material wird kurzzeitig in den flüssigen Aggregatzustand überführt. Durch die elektromagnetische Wechselwirkung des Elektronengases mit der einfallenden Laserstrahlung prägt sich die quasiperiodische Oberflächenstruktur aus. Beim Prozess der Laserablation dagegen wird Material von der Substratoberfläche durch Verdampfen abgetragen.

**[0032]** Zur Bearbeitung verschiedener Bereiche eines Substrats kann gemäß [Fig. 2](#) das Substrat **3** bzw. **3'** relativ zum Laserstrahl eines Lasers **1** bewegt werden, wobei der Laserstrahl durch jeweils einen Umlenkspiegel **2** bzw. **2'** auf das Substrat **3** bzw. **3'** gelenkt wird. Bei einem zylinderförmigen Substrat **3** kann die relative Bewegung beispielsweise durch eine Drehung des Substrats in Umfangrichtung erfolgen. Alternativ kann die relative Bewegung bei einem planaren Substrat **3'** beispielsweise mittels eines Verschiebetisches in x- und y-Richtung erfolgen. Alternativ oder zusätzlich kann der Laserstrahl durch bewegliche Ablenkspiegel **2** bzw. **2'** abgelenkt werden, beispielsweise mit einer Scan-Vorrichtung, wie in [Fig. 2](#) durch die Doppelpfeile an den Drehachsen der Ablenkspiegel **2** bzw. **2'** angedeutet.

**[0033]** [Fig. 3](#) zeigt ein erfindungsgemäßes Muster in Form des Schriftzuges „PL“ und eines Sterns in einem Substrat aus einer Edelstahlfolie, wobei der Schriftzug oder der Stern eine Gesamtlänge von etwa 30 mm aufweisen. Die Strukturierung der gesamten Oberfläche erforderte einen Zeitaufwand im Bereich von wenigen Minuten, wobei die Laserpulse eine Pulslänge im Bereich von Femtosekunden aufwiesen.

**[0034]** [Fig. 3a](#) zeigt hierbei die gesamte Mikrostruktur bei senkrechter Betrachtung, [Fig. 3c](#) bei einem Betrachtungswinkel von etwa 20° gegenüber der Senkrechten zur Substratoberfläche. Die zugehörigen Detailaufnahmen in [Fig. 3b](#) bzw. [Fig. 3d](#) zeigen einen Ausschnitt des punktförmigen Musters. Die visuelle Erscheinung variiert bei unterschiedlichen Betrachtungswinkeln. So erscheint bei senkrechter Betrachtung der Schriftzug oder der Stern dunkel vor einem hellen Hintergrund und bei dem Betrachtungswinkel von 20° gegenüber der Senkrechten zur Substratoberfläche hell vor dunklem Hintergrund.

**[0035]** [Fig. 4](#) zeigt einen Querschnitt durch einen Folienabzug der Mikrostruktur bzw. des Originals aus [Fig. 3](#). Hierbei wird ein Prägestempel **4** mit einem Trennmittel **5** beschichtet, beispielsweise einer Trichlorsilan-Verbindung. Anschließend wird davon eine Abformung in einen UV-Lack **5** auf einer PET-Folie **7** erzeugt. Diese UV-Lack-Abzüge werden metallisch bedampft und schließlich mit einer Deckfolie zukaschiert.

**[0036]** Beispielsweise wurde der Folienabzug mit einer 10 nm dicken Aluminiumschicht, einer 200 nm dicken Schicht aus Siliziumdioxid und einer 10 nm dicken Aluminiumschicht bedampft. In Reflexion erscheint der Schriftzug oder Stern annähernd schwarz auf goldenem Untergrund, in Transmission ist der Untergrund dagegen blau. Bei schräger Betrachtung erscheint der Schriftzug oder Stern in grüner Farbe.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102009058243 [\[0017\]](#)
- DE 102009056933 [\[0017\]](#)

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

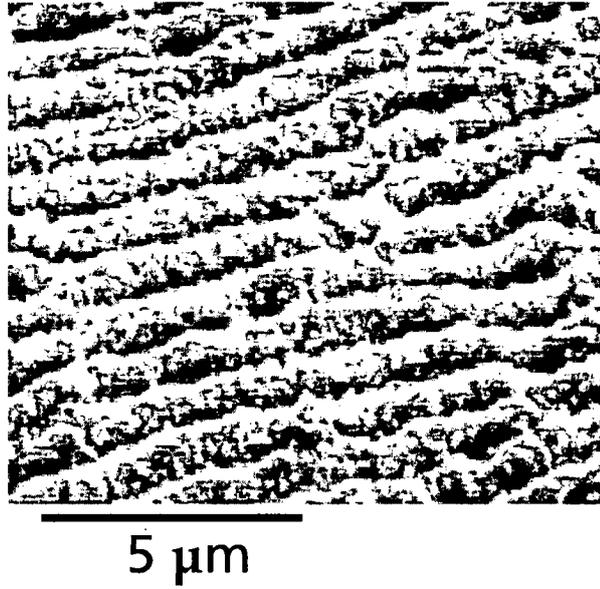
- DIN EN ISO 6507-1:2005 bis -4:2005 [\[0020\]](#)

**Patentansprüche**

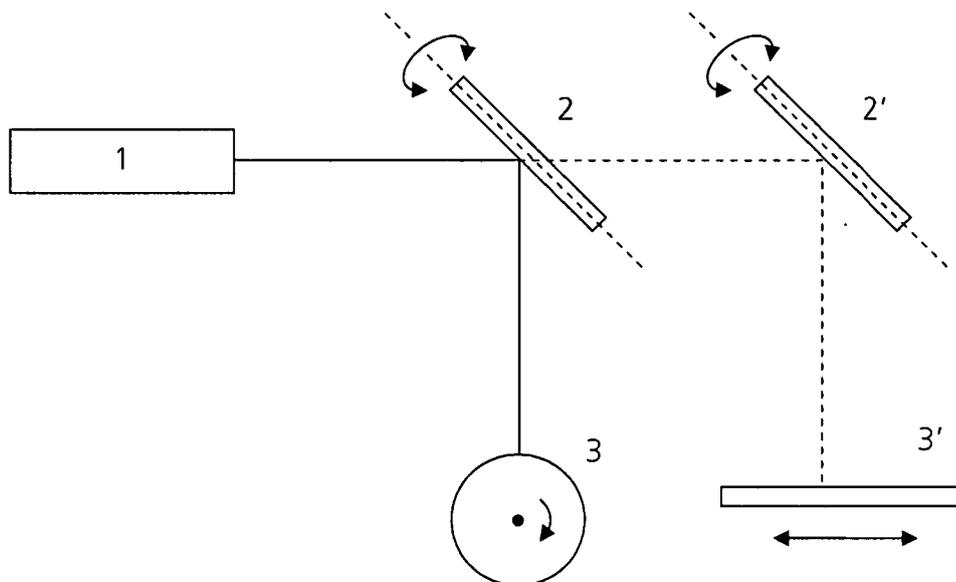
1. Verfahren zur Herstellung von Prägwerkzeugen, die aus einem Substrat bestehen, in dessen Oberfläche Prägestrukturen für Mikrostrukturelemente, wie Hologramme, Nanostrukturen oder dergleichen, eingebracht werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prägestrukturen für die Mikrostrukturelemente in die Oberfläche des Substrats mittels ultrakurzer Laserpulse aus polarisierten elektromagnetischen Wellen eingebracht werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Prägwerkzeuge aus einem Substrat bestehen, das zumindest an seiner Oberfläche eine Vickershärte von mindestens 100 HV-5 und bevorzugt von mindestens 150 HV-5 aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat aus einem gehärteten Metall, insbesondere gehärtetem Nickel oder einer gehärteten Nickellegierung, einem Dielektrikum oder einer Keramik besteht.
4. Verfahren nach mindestens einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserpulse eine Pulsdauer von weniger als 50 Pikosekunden, bevorzugt weniger als 1 Pikosekunde und besonders bevorzugt von etwa 150 Femtosekunden haben.
5. Verfahren nach mindestens einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die elektromagnetischen Wellen der Laserpulse linear polarisiert sind, wobei sich eine Gitterstruktur ergibt, deren Gitterlinien senkrecht zum E-Vektor der einfallenden Laserstrahlung ausgerichtet sind.
6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die elektromagnetischen Wellen der Laserpulse elliptisch polarisiert sind, wobei sich eine Gitterstruktur ergibt, deren Gitterlinien senkrecht zur großen Hauptachse des E-Vektors der einfallenden Laserstrahlung ausgerichtet sind.
7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die elektromagnetischen Wellen der Laserpulse zirkular polarisiert sind, wobei sich eine Gitterstruktur ergibt, deren Gitterlinien etwa  $45^\circ$  für linkszirkular polarisierte und etwa  $-45^\circ$  für rechtszirkular polarisierte Laserstrahlung ausgerichtet sind, bezogen auf die Einfallsebene des Laserstrahls.
8. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrostrukturelemente, die mit dem Prägwerkzeug erzeugt werden, für Sicherheitselemente zur Erhöhung des Fälschungsschutzes von Sicherheitsdokumenten, wie Banknoten, Wertpapieren, Ausweisen, Kreditkarten, Debit-Karten oder dergleichen, verwendet werden.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

**Fig. 1**

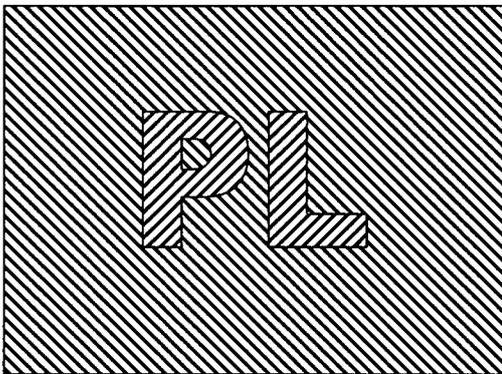


**Fig. 2**

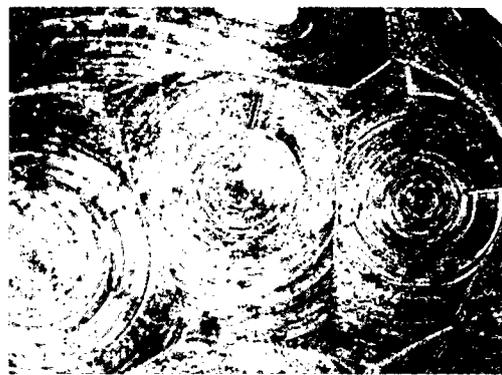


**Fig. 3**

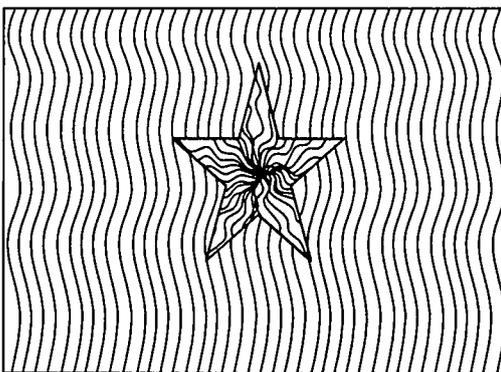
**Fig. 3a**



**Fig. 3b**



**Fig. 3c**



**Fig. 3d**



**Fig. 4**

