



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 199 38 561 B4 2006.04.13**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **199 38 561.0**  
 (22) Anmeldetag: **19.08.1999**  
 (43) Offenlegungstag: **23.03.2000**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **13.04.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02F 1/1335 (2006.01)**  
**G02F 1/1343 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**136627                      19.08.1998                      US**

(73) Patentinhaber:  
**National Semiconductor Corp. (n.d.Ges.d.Staates  
 Delaware), Santa Clara, Calif., US**

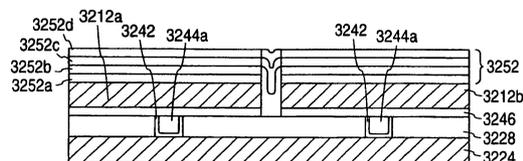
(74) Vertreter:  
**Sparing · Röhl · Henseler, 40237 Düsseldorf**

(72) Erfinder:  
**Moore, Paul M., Burlingame, Calif., US; Brown,  
 Kevin Carl, Sunnyvale, Calif., US; Luttrell, Richard,  
 Scotts Valley, Calif., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 38 53 698 T2**  
**US 57 64 324 A**  
**US 57 06 067 A**  
**US 54 97 025 A**  
**EP 08 38 714 A2**  
**EP 08 37 354 A2**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen einer reflektierenden Elektrode**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Bilden einer reflektierenden Elektrodenoberfläche, wobei eine Isolierschicht (3228) erzeugt, die Isolierschicht (3228) chemisch-mechanisch poliert, eine Elektrodenadhäsionsschicht (3246) gebildet und eine Elektrodenschicht (3212) durch Abscheiden von Metall auf der Adhäsionsschicht (3246) abgeschieden wird, wobei beim Abscheiden die Korngröße und die Rauigkeit der Elektrodenschicht durch Arbeiten bei einer entsprechend niedrigen Temperatur klein gehalten werden, und sofort nach dem Abscheiden der Elektrodenschicht (3212) eine lichtdurchlässige Beschichtung (3252) abgeschieden wird, wobei die lichtdurchlässige Beschichtung (3252) einen ersten dielektrischen Film (3252a) enthält, der auf der Elektrodenschicht (3212) bei einer weiteren Temperatur abgeschieden wird, die zum Unterdrücken einer Hügelbildung in der Elektrodenschicht (3212) so nahe wie möglich bei der ersten Temperatur liegt, wobei die lichtdurchlässige Beschichtung (3252) eine konstruktive Interferenz des reflektierten Lichts erzeugt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer reflektierenden Elektrode nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

## Stand der Technik

**[0002]** Flüssigkristallanzeigen (LCDs) finden in Projektionsanzeigevorrichtungen mit einer hohen Dichte eine immer weitere Verbreitung. Typischerweise enthalten diese bekannten Projektions-Farbanzeigevorrichtungen mit einer hohen Dichte eine Lichtquelle, die weißes Licht aussendet. Dichroitische Spiegel trennen das weiße Licht in sein entsprechendes rotes, grünes und blaues Lichtband (RGB-Lichtband). Hierauf wird jedes dieser Farblichtbänder auf ein entsprechendes Flüssigkristall-Lichtventil gerichtet, das das Licht in Abhängigkeit von dem zu projizierenden Bild entweder hindurchläßt oder nicht hindurchläßt. Jene RGB-Lichtbänder, die von den Lichtventilen hindurch gelassen werden, werden hierauf durch dichroitische Spiegel oder durch ein Prisma vereinigt. Eine Projektionslinse vergrößert darauf das Bild und projiziert es auf einen Projektionsbildschirm.

**[0003]** Fig. 27 zeigt ein herkömmliches LCD-Projektionsabbildungssystem **100**.

**[0004]** Das LCD-Projektionsabbildungssystem **100** enthält eine Lichtquelle **101**. Von der Lichtquelle **101** wird weißes Licht emittiert. Sobald das Licht auf das Prisma **103** auftrifft, wird es durch die dichroitischen Filterbeschichtungen in seine rot-, grün- und blau-farbigen Lichtbänder getrennt. Das farbige Licht wird auf Flüssigkristallanzeige-Lichtventile (LCD-Lichtventile) **105** gerichtet. Wenn die farbigen Lichtwellen an einem Lichtventil **105** reflektiert werden, laufen sie durch das Prisma und durch eine Projektionslinse **107** zurück. Die Projektionslinse **107** verstärkt das synthetisierte Farbbild und projiziert es auf einen Projektionsbildschirm **109**.

**[0005]** Fig. 28 zeigt eine Querschnittsansicht benachbarter Pixelzellenstrukturen, die einen Abschnitt **200** eines bekannten Lichtventils bilden. Der Abschnitt **200** enthält eine durch ein (nicht gezeigtes) Dichtungsteil mit einer Verdrahtungsstruktur **204** verbundene obere Glasplatte **202**. Das Dichtungsteil dient dazu, eine Anzeigefläche einzuschließen und die Glasplatte **202** durch einen im voraus bestimmten geringen Abstand von der Verdrahtung **204** zu trennen. Somit besitzt das Lichtventil einen durch die Glasplatte **202** und durch die Verdrahtung **204** definierten inneren Hohlraum **206**. Flüssigkristallmaterial **211**, wie etwa der Polymerdispersions-Flüssigkristall (PDLC), ist in dem inneren Hohlraum **206** abgedichtet.

**[0006]** In einer Reflexionsbetriebs-Anzeigetechnologie wird ein Bild dadurch erzeugt, daß in dem Lichtventil Gebiete mit unterschiedlichem Kontrast erzeugt werden. Dieser Kontrast wird durch den Zustand des Flüssigkristallmaterials über der reflektierenden Oberfläche erzeugt, das seinerseits die Menge des von der Umgebung zu der reflektierenden Oberfläche durchgelassenen Lichts einstellt.

**[0007]** Während des Betriebs des in Fig. 28 gezeigten Lichtventils schaltet das wahlweise Anlegen einer Spannung von den darunterliegenden Kondensatorstrukturen **218a** und **218b** an Pixelelektroden **212a** und **212b** über eine Metallisierung **222** und **224** und über den Durchkontakt **240** Pixelzellen **210a** und **210b** ein und aus. Die an die Pixelelektroden **212a** und **212b** angelegte Spannung ändert die Richtung der Ausrichtung des Flüssigkristallmaterials über der Pixelelektrode. Eine Änderung der Richtung der Ausrichtung des Flüssigkristallmaterials in der Pixelelektrode ändert die optischen Eigenschaften des durch den Flüssigkristall laufenden Lichts.

**[0008]** Falls das Lichtventil einen gedrehten nematischen Kristall enthält, läuft das Licht dort, wo an die Pixelelektrode keine Spannung angelegt wird, ungeändert durch das Lichtventil hindurch, während das Licht polarisiert wird, falls eine Spannung an die Pixelelektrode angelegt wird. Falls das Lichtventil PDLC enthält, läuft das Licht dort, wo eine Spannung an die Pixelelektrode angelegt wird, ungehindert durch das Lichtventil hindurch, während das Licht gestreut wird, falls an die Pixelelektrode keine Spannung angelegt wird.

**[0009]** Ein Schlüsselmerkmal der Leistung eines Lichtventils ist die Menge des von der Pixelzelle reflektierten Lichts. Der Grad des Reflexionsvermögens der Pixelzelle beeinflusst seinerseits weitere Systemmerkmale wie etwa das Kontrastverhältnis, die Pixelkohärenz und den Helligkeitseffizienzgrad. Ein Zugang zur Erhöhung der Leistung irgendeines Lichtventils im Reflexionsbetrieb ist die Erhöhung des Reflexionsvermögens des Spiegels in Richtung des idealen Reflexionsvermögens.

**[0010]** Bei der Betrachtung von Fig. 28 ist offensichtlich, daß die Pixelelektroden **212a** und **212b** als die reflektierende Oberfläche des Lichtventils dienen. Außerdem dient eine oberste (dritte) dielektrische Zwischen-

metallschicht **228** als das Substrat für die reflektierenden Pixelelektroden **212a** und **212b**. Somit hängt das Reflexionsvermögen des Lichtventils in hohem Maße von den auf die Bildung der obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht **228** und aller nachfolgenden Schichten folgenden Verarbeitungsschritten ab.

**[0011]** Die **Fig. 29A–29J** zeigen Querschnittsansichten der herkömmlichen Verarbeitungsschritte, die das Pixelzellen-Reflexionsvermögen während der Bildung benachbarter Pixelzellenelektroden beeinflussen. **Fig. 29A** zeigt die Bildung einer obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht **328** auf einer unteren Metallisierungsschicht **324**.

**[0012]** **Fig. 29B** zeigt die Nivellierung der Oberfläche der obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht **328** unter Verwendung des Verfahrens der Planarisierung durch SOG-Bildung und durch Rückätzen.

**[0013]** **Fig. 29C** zeigt die Strukturierung einer Photolackmaske **330** über der planarisierten Oberfläche der obersten Zwischenmetallschicht **328**, gefolgt vom Ätzen in den nichtmaskierten Bereichen zum Erzeugen von Durchkontakten **340**.

**[0014]** **Fig. 29D** zeigt die Bildung einer Abstandshalterschicht **342** in den Durchkontakten **340**, gefolgt von der Bildung einer Wolframschicht **344**, die die Durchkontakte **340** füllt, über der obersten Zwischenmetallschicht **328**.

**[0015]** **Fig. 29E** zeigt die Beseitigung der Wolframschicht **344** außerhalb der Durchkontakte **340**. Dieser Schritt kann durch direktes CMP oder alternativ durch Rückätzen, gefolgt von einem CMP, ausgeführt werden.

**[0016]** **Fig. 29F** zeigt die Bildung der typischerweise aus Ti/TiN gebildeten Pixeladhäsionsunterschicht **346**. Diese Pixeladhäsionsunterschicht **346** erzeugt eine Adhäsionsoberfläche für das AlCu und verhindert somit eine Verschlechterung des Reflexionsvermögens infolge einer während der nachfolgenden thermischen Belichtung auftretenden Rauigkeit. Der potentielle Beitrag der Pixeladhäsionsschicht zum Verlust des Reflexionsvermögens ist ausführlicher im Abschnitt 4 der ausführlichen Beschreibung der Erfindung beschrieben.

**[0017]** **Fig. 29G** zeigt die Bildung einer Pixelelektrodenschicht **312** auf der Pixeladhäsionsunterschicht **346**. Die Pixelelektrodenschicht **312** wird herkömmlich durch Abscheiden eines Al/Cu-Gemischs bei etwa 400 °C gebildet.

**[0018]** **Fig. 29H** zeigt die Strukturierung einer Photolackmaske **350** auf der Pixelelektrodenschicht **312**, gefolgt vom Ätzen der nichtmaskierten Gebiete der Pixelelektrodenschicht **312** und der Pixeladhäsionsschicht **346** zum Bilden diskreter Pixelelektroden **312a** und **312b**.

**[0019]** **Fig. 29I** zeigt die Beseitigung der strukturierten Photolackmaske **350** von der Oberfläche der Pixelelektroden **312a** und **312b** zum Abschluß der Bildung der reflektierenden Pixelelektroden **312a** und **312b**. Das Entfernen der Photolackmaske **350** wird herkömmlich unter Verwendung einer Abfolge von 1) einer Plasma-Veraschung, 2) einer Lösungsmittellentfernung und 3) einer Plasmaveraschung ausgeführt.

**[0020]** **Fig. 29J** zeigt die Bildung einer Passivierungsschicht **352** auf den reflektierenden Pixelelektroden **312a** und **312b**. Diese Passivierungsschicht **352** (typischerweise Siliciumdioxid) wird bei etwa 400 °C abgeschieden und schützt die Oberfläche der Pixelelektroden **312a** und **312b**.

**[0021]** Der bekannte Verfahrensablauf gemäß **Fig. 29A–29J** ermöglicht die Erzeugung einer reflektierenden Pixelzelle. Leider verschlechtern jedoch mehrere Schritte des bekannten Verfahrens unvermeidlich das Reflexionsvermögen der Pixelelektrode.

**[0022]** Zunächst führt der in **Fig. 29B** gezeigte SOG-Planarisierungsschritt allgemein nicht zu einer dielektrischen Zwischenmetallschicht mit einer Oberfläche, die hinreichend glatt ist, um ein optimales Reflexionsvermögen der darauf zu bildenden reflektierenden Pixelelektrodenschicht zu fördern.

**[0023]** Somit besteht ein Bedarf an einem Verfahrensablauf, der eine sehr glatte Oberfläche der als das Substrat für die reflektierende Pixelelektrode dienenden dielektrischen Zwischenmetallschicht erzeugt.

**[0024]** Ein zweiter Verfahrensschritt, der zu einem verringerten Reflexionsvermögen der Pixelzelle führt, ist das in **Fig. 29E** gezeigte Rückätzen des Wolframs außerhalb der Durchkontakte **340**. Die oberste dielektrische Zwischenmetallschicht **328** bildet das Substrat für die Pixelmetallelektrode. Eine Rauigkeit in der Oberfläche

des Wolframs in dieser darunterliegenden Schicht kann eine Rauigkeit und einen Verlust an Reflexionsvermögen der darauf gebildeten Elektrode fördern.

**[0025]** Somit besteht ein Bedarf an einem Verfahrensablauf, der das Wolfram außerhalb des Durchkontakts entfernt und gleichzeitig in dem in dem Durchkontakt verbleibenden Wolfram eine sehr glatte Oberfläche erzeugt.

**[0026]** Ein dritter Verfahrensschritt, der zu einem verringerten Reflexionsvermögen der Pixelzelle führt, ist die Verwendung einer aus Ti/TiN zusammengesetzten Pixelelektroden-Adhäsionsschicht, wie sie **Fig. 29F** zeigt. Die Eigenschaft der Adhäsionsschicht beeinflusst inhärent die Rauigkeit des darüberliegenden AlCu.

**[0027]** Somit besteht ein Bedarf an einem Verfahrensablauf, der die Rauigkeit der Adhäsionsschicht verringert und außerdem eine weitere Unterdrückung der Hügelbildung ermöglicht.

**[0028]** Ein vierter Verfahrensschritt, der zu einem verringerten Reflexionsvermögen der Pixelzelle führt, ist die in **Fig. 29G** gezeigte Hochtemperaturabscheidung der Pixelelektrodenoberfläche. Die Abscheidung der Metallpixelelektrode bei hohen Temperaturen ( $> 200\text{ °C}$ ) führt zur Bildung von AlCu mit großen Korngrößen. Große Körner aus AlCu erhöhen natürlich die Rauigkeit der Pixelelektrodenoberfläche und vermindern somit ihr Reflexionsvermögen.

**[0029]** Somit besteht ein Bedarf an einem Verfahrensablauf, der zum Verbessern des Reflexionsvermögens der Pixelelektrode eine Metall-Pixelelektrodenoberfläche mit hinreichend kleinen Körnern erzeugt.

**[0030]** Ein fünfter Verfahrensschritt, der zu einem verringerten Reflexionsvermögen der Pixelzelle führt, ist das in **Fig. 29I** gezeigte, zum Ätzen der Pixelelektrodenoberfläche verwendete Entfernen der Photolackmaske. Dadurch, daß die glatte, neu abgeschiedene Oberfläche der Pixelelektrodenoberfläche den rauen Bedingungen der Lösungsmittelentfernung und der zum Beseitigen des Photolacks erforderlichen Veraschungsreinigung ausgesetzt wird, erhöht sich die Rauigkeit in der Pixelelektrodenoberfläche, was deren Reflexionsvermögen verringert.

**[0031]** Somit besteht ein Bedarf an einem Verfahrensablauf, der das Aufrauen der Oberfläche der Pixelelektrode infolge des zum Ätzen der Pixelelektrodenoberfläche verwendeten Beseitigens der Photolackmaske verhindert.

**[0032]** Ein sechster Verfahrensschritt, der zu einem verringerten Reflexionsvermögen der Pixelzelle führt, ist das Abscheiden der Passivierungsschicht bei einer Temperatur, die wesentlich verschieden von der Temperatur ist, bei der die Metall-Pixelelektrodenoberfläche ursprünglich gebildet wurde. Eine so hohe Temperaturdifferenz zwischen diesen Schritten kann zur Bildung von Hügeln in der Metalloberfläche führen. Solche Hügel werden durch die infolge der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Metall-Pixelelektrodenoberfläche und der darüberliegenden dielektrischen Schicht auf die Metallschicht ausgeübten Scherkräfte erzeugt. Die Hügel machen die Oberfläche der Pixelzelle uneben und verschlechtern somit das Reflexionsvermögen.

**[0033]** Somit besteht ein Bedarf an einem Verfahrensablauf, der die Bildung von Hügeln in der Pixelelektrodenoberfläche bei der Bildung der darüberliegenden Passivierungsschicht infolge der Temperaturdifferenz der Bildung dieser Schichten verhindert.

**[0034]** Die durch die Verarbeitung bewirkte Rauigkeit in der Pixelelektrodenoberfläche kann sich nachteilig auf das Reflexionsvermögen auswirken.

**[0035]** Aus US 5,764,324 A ist eine Flüssigkristallzelle für den reflektierenden Betrieb bekannt. Auf der reflektierenden Elektrode befindet sich eine Isolierschicht mit einer weiteren Elektrodenoberfläche. Die die Reflexion beeinflussenden Schichten werden direkt auf der Elektrode gebildet, wobei Schichten der optischen Dicke sowohl einer halben als auch einer viertel Wellenlänge angegeben sind.

**[0036]** Hier hat es sich, ebenso wie beim oben erwähnten fünften Verfahrensschritt, der zu einem verringerten Reflexionsvermögen der Pixelzelle führt, gezeigt, daß zum Ätzen der Pixelelektrodenoberfläche die Photolackmaske entfernt werden muß. Auch hier wird, dadurch, daß die glatte neu abgeschiedene Oberfläche der Pixelelektrodenoberfläche den rauen Bedingungen der Lösungsmittelentfernung und der zum Beseitigen des Photolacks erforderlichen Veraschungsreinigung ausgesetzt wird, eine Erhöhung der Rauigkeit in der Pixelelektrodenoberfläche in Kauf genommen, was deren Reflexionsvermögen verringert.

## Aufgabenstellung

**[0037]** Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung einer reflektierenden Elektrode nach Anspruch 1 zu schaffen, bei dem das Reflexionsvermögen der Elektrode verbessert wird.

**[0038]** Diese Aufgabe wird entsprechend den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0039]** Das Verfahren umfaßt 1) das Erzeugen einer Isolierschicht, 2) das chemisch-mechanische Polieren der Isolierschicht, 3) das Bilden einer Elektrodenadhäsionsschicht, 4) das Abscheiden von Metall auf der Adhäsionsschicht bei einer so niedrig wie möglichen Temperatur, um eine kleine Korngröße und eine niedrige Rauigkeit der Elektrodenschicht zu erhalten, 5) das sofortige Abscheiden wenigstens der Anfangsschicht einer reflexionsverbessernden Beschichtung (REC = „reflective-enhancing coating“) auf dem neu abgeschiedenen Metall vor dem Ätzen der Metallschicht, und 6) das Abscheiden der Anfangsschicht der reflexionsverbessernden Beschichtung bei einer Temperatur, die so nah wie möglich bei der Temperatur der Bildung der Metallektrodenschicht liegt.

**[0040]** Das Abscheiden der REC dient zwei verschiedenen Zielen. Zunächst beschichtet die Anfangsschicht der REC die neu abgeschiedene Metallschicht, was das Metall in seinem hochreflektierenden Zustand erhält. Zweitens erzeugt die REC als Ganzes eine konstruktive Interferenz des reflektierten Lichts. Diese konstruktive Interferenz kann ein Reflexionsvermögen erzeugen, das größer als das der freiliegenden Metalloberfläche ist.

**[0041]** Ein Verfahren zum Bilden einer reflektierenden Elektrode kann die folgenden Schritte umfassen: Bilden einer obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht auf einer obersten Schicht der Verdrahtungsmetallisierung, Planarisieren des obersten Zwischenmetall-dielektrikums, Erzeugen eines Durchkontakts in dem obersten Zwischenmetall-dielektrikum, Auslegen der Wände des Durchkontakts mit einer Abstandshalterschicht, Füllen des Durchkontakts mit einem elektrisch leitenden Material, Bilden einer Elektrodenadhäsionsschicht auf dem obersten Zwischenmetall-dielektrikum und auf dem Durchkontakt, Bilden einer Elektrodenschicht auf der Elektrodenadhäsionsschicht, und Bilden einer reflexionsverbessernden Beschichtung auf der Elektrodenschicht, wobei die reflexionsverbessernde Beschichtung eine konstruktive Interferenz der durch die Elektrodenschicht reflektierten Lichtwellen erzeugt.

**[0042]** Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der nachfolgenden Beschreibung und den Unteransprüchen zu entnehmen.

## Ausführungsbeispiel

**[0043]** Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

**[0044]** [Fig. 1](#) zeigt ein von zwei Sätzen von Wafern, von denen ein Satz nur eine SOG-Planarisierung enthält, während der andere Satz sowohl eine SOG-Planarisierung als auch ein nachfolgendes chemisch-mechanisches Polieren enthält, gemessenes Reflexionsvermögen.

**[0045]** [Fig. 2](#) stellt das Reflexionsvermögen zweier Lose von Wafern mit und ohne den CMP-Schritt graphisch dar.

**[0046]** [Fig. 3](#) stellt das Reflexionsvermögen der Pixel mit und ohne die Durchkontakt-Bearbeitung graphisch dar.

**[0047]** [Fig. 4](#) stellt das Reflexionsvermögen der Wafer mit und ohne den zusätzlichen CMP-Nachbesserungsschritt nach dem Wolframrückätzen graphisch dar.

**[0048]** [Fig. 5](#) stellt für Lose von Wafern mit und ohne CMP-Bearbeitung die Wirkung des Nachbesserungs-CMPs auf das Reflexionsvermögen einer über einer entweder aus TIN oder aus parallelgerichteter Ti bestehenden Pixeladhäsionsschicht abgeschiedenen Pixelektrodenschicht graphisch dar.

**[0049]** [Fig. 6](#) stellt das beobachtete und das vorausgesagte Reflexionsvermögen für eine bei vier verschiedenen Temperaturen durch Zerstäuben abgeschiedene Pixelektrodenschicht aus 99,5 %/0,5 % Al/Cu graphisch dar.

- [0050] [Fig. 7A–Fig. 7C](#) stellen für AlCu-Metallschichten mit Dicken von 650 nm und 200 nm die Korngröße, die mittlere Oberflächenrauigkeit und das Reflexionsvermögen als Funktion der Metallabscheidungstemperatur graphisch dar.
- [0051] [Fig. 8](#) stellt das Reflexionsvermögen für abgeschiedene AlCu-Schichten mit Dicken von 500 nm und 200 nm graphisch dar.
- [0052] [Fig. 9](#) stellt das Reflexionsvermögen für die 500 nm und 200 nm-AlCu-Schichten aus [Fig. 8](#) nach dem ersten Plasmaätzschritt und nach dem Lösungsmittel-Entfernungsschritt graphisch dar.
- [0053] [Fig. 10](#) stellt das Reflexionsvermögen für die 500 nm- und 200 nm-AlCu-Schichten aus [Fig. 11](#) nach dem zweiten Plasmaätzschritt graphisch dar.
- [0054] [Fig. 11](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer durch die Pixel einer ersten Ausführung hergestellten Vierschicht-REC.
- [0055] [Fig. 12](#) zeigt ein einfaches Reflexionsdiagramm der in [Fig. 11](#) gezeigten REC.
- [0056] [Fig. 13](#) zeigt das durchschnittliche Reflexionsvermögen der REC nach [Fig. 14](#) auf den Pixelelektrodenschichten mit Dicken von 200 nm und 500 nm.
- [0057] [Fig. 14](#) stellt ein Balkendiagramm des maximalen und des durchschnittlichen Reflexionsvermögens dar, das von einem einfachen Verfahrensablauf herrührt, der auf einer über dem Silicium gebildeten Aluminiumschicht ein REC erzeugt.
- [0058] [Fig. 15A–D](#) stellen die Wirkung einer freiliegenden Metallschicht, die einer thermischen Verarbeitung unterworfen wurde, die der entspricht, die in dem in [Fig. 14](#) beschriebenen Verfahren zur Bildung einer Vierschicht-REC verwendet wurde, auf das Reflexionsvermögen dar.
- [0059] [Fig. 16A–C](#) stellen die Wirkung des Temperns der Pixelelektrodenschichten mit Dicken von 650 nm und 200 nm auf die Korngröße, auf die Oberflächenrauigkeit und auf das Reflexionsvermögen graphisch dar.
- [0060] [Fig. 17](#) stellt das Reflexionsvermögen von Wafern mit einer entweder bei 300 °C oder bei 400 °C abgeschiedenen Vierschicht-REC graphisch dar.
- [0061] [Fig. 18](#) stellt das Reflexionsvermögen nach dem Abscheiden einer 500 nm-AlCu-Pixelelektrodenschicht auf einer 40 nm-Pixeladhäsionsschicht unter vier Kombinationen der Metallabscheidungstemperatur und der REC-Abscheidungstemperatur graphisch dar.
- [0062] [Fig. 19](#) stellt das Reflexionsvermögen nach der Bildung einer Vierschicht-REC auf der 500 nm-Pixelelektrodenschicht und auf der 40 nm-Pixeladhäsionsschicht, die unter den vier Kombinationen der Metallabscheidungstemperatur und der REC-Abscheidungstemperatur aus [Fig. 18](#) abgeschieden wurden, graphisch dar.
- [0063] [Fig. 20A–B](#) stellen das nach der Abscheidung einer Zweischicht-REC und nach der Abscheidung einer Vierschicht-REC gemessene Reflexionsvermögen graphisch dar.
- [0064] [Fig. 21](#) stellt das maximale und das minimale Reflexionsvermögen einer von einer Sechsschicht-REC eingeschlossenen Metallschicht graphisch dar.
- [0065] [Fig. 22](#) stellt das Reflexionsvermögen in dem Feld- und in dem Pixel-Gebiet eines Loses von Wafern mit einer Wegverarbeitung und eines Loses von Wafern ohne eine Wegverarbeitung graphisch dar.
- [0066] [Fig. 23](#) zeigt eine Darstellung eines TEM-Querschnitts einer Vierschicht-REC über den Feld- und Pixel-Gebieten eines Wafers aus dem gleichen Los.
- [0067] [Fig. 24](#) stellt das theoretische und das gemessene Reflexionsvermögen desjenigen Wafers, dessen TEM-Querschnitt in [Fig. 23](#) gezeigt ist, graphisch dar.
- [0068] [Fig. 25](#) zeigt das maximale und das minimale Reflexionsvermögen der Mitte (Pixelgebiet) und der

Ecke (Feldgebiet) von Pixelzellen auf dem gleichen Wafer.

[0069] [Fig. 26A](#)–M zeigen Querschnittsansichten eines Verfahrensablaufs, der viele der Verarbeitungsschritte enthält.

[0070] [Fig. 27](#) zeigt ein herkömmliches LCD-Projektionsabbildungssystem.

[0071] [Fig. 28](#) zeigt eine Querschnittsansicht benachbarter Pixelzellenstrukturen, die einen Abschnitt eines herkömmlichen Lichtventils bilden.

[0072] [Fig. 29A](#)–J zeigen Querschnittsansichten der herkömmlichen Verarbeitungsschritte, die das Pixelzellen-Reflexionsvermögen während der Bildung benachbarter Pixelzellenelektroden beeinflussen.

## 1. Einleitung

[0073] Idealerweise genügt die Pixelelektrode dem durch Gleichung 1 gegebenen Reflexionsvermögen. In Gleichung 1 hängt die Reflexion des Lichts von der Pixelelektrode von den durch den Brechungsindex quantitativ bestimmten Materialeigenschaften der Elektrode ab. Falls der Brechungsindex unabhängig von der Wellenlänge des einfallenden Lichts wäre, wäre das Reflexionsvermögen als Funktion der Wellenlänge konstant. Der Brechungsindex ist jedoch eine Funktion der Wellenlänge (d. h. es gibt eine Dispersion), wobei er ein wellenlängenabhängiges Reflexionsvermögen erzeugt. Somit nähert Gleichung 1 das Reflexionsvermögen als eine Funktion der inhärenten Materialeigenschaften an, wobei sich deren Änderung auf die Dispersion und auf die Materialprobe beschränkt.

$$\rho = \frac{[(\eta_{\text{AlCu}} - \eta_{\text{extern}})^2 + K_{\text{AlCu}}^2]}{[(\eta_{\text{AlCu}} + \eta_{\text{extern}})^2 + K_{\text{AlCu}}^2]} \quad (1)$$

[0074] In der Praxis liefert die Herstellung der Pixelzelle nicht das durch Gleichung (1) gegebene ideale Reflexionsvermögen. Statt dessen dämpft die Rauigkeit in der Pixelelektrode das gemessene Reflexionsvermögen als eine Funktion der Wellenlänge. Gleichung 2 liefert eine allgemeine Dämpfungsfunktion für eine normal zu der Oberfläche projizierte Beleuchtungsquelle.

$$r = r_{\text{ideal}} \tilde{\omega} \left[ -\frac{4\pi}{\lambda} \right] \quad (2)$$

[0075] Dabei wird das durch Gleichung (2) gegebene Reflexionsvermögen mit seinem komplexkonjugierten multipliziert, wobei die Omega-Tilde-Funktion die Fourier-Transformation des Schnittstellenprofils bezeichnet. Das Profil ist die Art, in der ein Medium in ein benachbartes Medium übergeht. In Gleichung (2) kann eine beliebige Anzahl von Schnittstellenfunktionen angeordnet werden. Wenn der Schnittstellenübergang durch die Fehlerfunktion gegeben ist, wird das Reflexionsvermögen zu:

$$\rho = \frac{[(\eta_{\text{AlCu}} - \eta_{\text{extern}})^2 + K_{\text{AlCu}}^2]}{[(\eta_{\text{AlCu}} + \eta_{\text{extern}})^2 + K_{\text{AlCu}}^2]} \exp \left[ -\left( \frac{4\pi\sigma}{\lambda} \right)^2 \right]. \quad (3a)$$

[0076] In Abhängigkeit davon, ob die Oberfläche als deterministisch oder zufällig interpretiert wird, ist Sigma die Dicke der Schnittstelle oder die mittlere quadratische Rauigkeit (RMS-Rauigkeit).

[0077] Tatsächlich ist das beobachtete Reflexionsvermögen eine Kombination des gespiegelten und des gestreuten Reflexionsvermögens. Der Betrag des insgesamt beobachteten Reflexionsvermögens hängt von der Größe des Objektivs des Instruments ab. Somit ist das Reflexionsvermögen genau:

$$\rho = \rho_{\text{gespiegelt}} + \rho_{\text{gestreut}} \quad (3b)$$

$$\rho_{\text{gestreut}} = \frac{[(\eta_{\text{AlCu}} - \eta_{\text{extern}})^2 + K_{\text{AlCu}}^2]}{[(\eta_{\text{AlCu}} + \eta_{\text{extern}})^2 + K_{\text{AlCu}}^2]} \times \left[ 1 - \exp\left[-\left(\frac{4\pi\sigma}{\lambda}\right)^2\right] \right] \left[ 1 - \exp\left[-\left(\frac{\pi\alpha\delta}{\lambda}\right)^2\right] \right]. \quad (3c)$$

**[0078]** Dabei ist  $\alpha$  der Halbwinkel des Objektivs und  $\delta$  der Korrelationsabstand zwischen den Schnittstellenstrukturen. Unter der Annahme, daß das Produkt  $\alpha \cdot \delta$  wesentlich kleiner als die Wellenlänge des Lichts ist, kann dieser Term aus (3a) vernachlässigt werden. Diese Vereinfachung kann jedoch eine Fehlerquelle für Abschätzungen darstellen.

## 2. Rauigkeit des obersten Zwischenmetalldielektrikums

**[0079]** Der erste Verarbeitungsschritt, der das Reflexionsvermögen in der Pixelelektrode verschlechtern kann, ist die Bildung der obersten unter der Pixelelektrode liegenden dielektrischen Zwischenmetallschicht. Eine SOG-Planarisierung des obersten Zwischenmetalldielektrikums nach der Bildung erzeugt ein Substrat mit einer unzureichenden Glattheit.

**[0080]** Um dieses Problem zu korrigieren, wird sofort nach der herkömmlichen SOG-Planarisierung ein chemisch-mechanisches Polieren (CMP = chemical mechanical polish) hinzugefügt. Um die zum Planarisieren der Oberfläche durch das CMP erforderliche Massenentfernung des dielektrischen Materials zu kompensieren, wird die Dicke der obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht erhöht.

**[0081]** Der zusätzliche CMP-Schritt schafft für das Pixelreflexionsvermögen einen doppelten Nutzen. Zunächst verringerte das CMP die durch die darunterliegenden Schaltungsanordnungs- und Verdrahtungsstrukturen erzeugte Topologie. Diese Topologie liegt in der Größenordnung von 100 nm.

**[0082]** Der zweite Vorteil des CMPs nach der SOG-Planarisierung war die Verringerung der mittleren quadratischen Rauigkeit ("RMS"-Rauigkeit) der obersten Ebene des Zwischenmetalldielektrikums. Diese RMS-Rauigkeit liegt in der Größenordnung von 1 bis 10 nm.

**[0083]** [Fig. 1](#) zeigt das mittels zweier Sätze von Wafern gemessene Reflexionsvermögen, wobei ein Satz nur die SOG-Planarisierung, der andere Satz sowohl die SOG-Planarisierung als auch den gemäß der vorliegenden Erfindung offenbarten chemisch-mechanischen Polierschritt enthält. Die in [Fig. 1](#) graphisch dargestellten Daten wurden einer Fläche des Wafers entnommen, die bezüglich einer Vorrichtung oder Verdrahtung frei von irgendeiner Topologie war. Auf diese Weise wurde irgendeine Verschlechterung des Reflexionsvermögens infolge der zufällig erzeugten Rauigkeit von der systematischen Verdrahtungstopographie isoliert.

**[0084]** Durch das chemisch-mechanische Polieren der Oberfläche des obersten Zwischenmetalldielektrikums wurde die Oberflächenrauigkeit der auf dem Zwischenmetalldielektrikum abgeschiedenen Pixelschicht um etwa 6, 7 nm reduziert. Diese Zahl von 6,7 nm wurde durch die folgende Näherung erhalten.

**[0085]** Für zwei getrennte Oberflächen mit einzigartigen Einzeloberflächenrauigkeiten, die jedoch aus dem gleichen Material bestehen, kann das Verhältnis des durch Gleichung (3a) gegebenen einzelnen Reflexionsvermögens algebraisch in der Weise manipuliert werden, daß es

$$(\sigma_1 - \sigma_2) = \sqrt{-\ln\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right) \cdot \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^{-2}} \quad (4)$$

ergibt.

**[0086]** Das Einsetzen des Reflexionsvermögens einer gegebenen Oberfläche in das durchschnittliche beobachtete Reflexionsvermögen nach [Fig. 1](#) ergibt, daß die Differenz der durchschnittlichen Oberflächenrauigkeit nach Gleichung (4) 6, 7 nm beträgt. Dies ist somit die durchschnittliche Rauigkeitsdifferenz zwischen den in [Fig. 1](#) gezeigten CMP- und Nicht-CMP-Wafern.

**[0087]** [Fig. 2](#) stellt außerdem das Reflexionsvermögen zweier Lose von Wafern mit und ohne den zusätzlichen CMP-Schritt graphisch dar. Die Daten für das Reflexionsvermögen nach [Fig. 2](#) wurden durch Zentrieren einer Zehn-Mikrometer-Punktlanpe über einem einzelnen Zwölf-Mikrometer-Pixel gesammelt. [Fig. 2](#) zeigt, daß sich das gemessene Reflexionsvermögen ohne CMP um 30 Prozent verringerte.

### 3. Rauigkeit der Durchkontaktabstandshalter

**[0088]** Das Pixelzellen-Herstellungsverfahren wird nach der Bildung und Planarisierung der obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht mit den Schritten des Ätzens der obersten dielektrischen Schicht zur Bildung von Wegen zu der darunterliegenden tieferen Verdrahtungsmetallisierungsschicht fortgesetzt. Hierauf werden Titan und Titannitrid abgeschieden, die als eine Durchkontakt-Abstandshalterschicht dienen sollen. Hierauf wird Wolfram zum Füllen des Durchkontakts abgeschieden, wobei hierauf das Wolfram außerhalb des Durchkontakts entweder durch direktes CMP oder durch eine Verbindung von Rückätzen und CMP entfernt wird.

**[0089]** Die Oberflächenrauigkeit der reflektierenden Pixelelektrode hängt nicht nur von der Glattheit des darunterliegenden Substrats sondern ebenfalls von der Kornbildung des AlCu in der Metallschicht ab. Somit muß das darunterliegende Titannitrid im Vergleich zu der durch die AlCu-Körner gebildeten Oberfläche glatt sein, während andernfalls die Rauigkeit des darunterliegenden Substrats der bestimmende Faktor des Reflexionsvermögens der Pixelelektrode ist.

**[0090]** [Fig. 3](#) vergleicht das höchste gemessene Reflexionsvermögen in einer Pixelecke für Pixel mit und ohne Durchkontaktverarbeitung.

**[0091]** In jedem Datenpunkt nach [Fig. 3](#) wurde das Reflexionsvermögen auf einem Teilstück des Wafers ohne Wege, dem "Feld", gemessen. Das Messen des Feldreflexionsvermögens auf Wafern mit und ohne Durchkontakte ermöglichte die Isolierung der Verfahren mit der größten Wirkung auf die Oberflächenrauigkeit der Pixelelektrodenoberfläche.

**[0092]** Da das Wolframrückätzen als eine Rauigkeitsursache in der Pixelelektrodenoberfläche identifiziert wurde, wurde nach dem Wolframrückätzen ein CMP-Nachbesserungsschritt ausgeführt. [Fig. 4](#) vergleicht das Reflexionsvermögen der Wafer mit und ohne den zusätzlichen CMP-Nachbesserungsschritt nach dem Wolframrückätzen.

**[0093]** [Fig. 4](#) zeigt, daß Wafer mit einer CMP-Nachbesserung nach dem Wolframrückätzen ein höheres Reflexionsvermögen als Wafer ohne diesen zusätzlichen Verarbeitungsschritt besaßen. Genauer erhöhte das Nachbesserungs-CMP das Reflexionsvermögen der AlCu-Oberfläche bei den niedrigen Wellenlängen. Eine solche Erhöhung des Reflexionsvermögens rührt von der Verringerung des Streulichts im Verhältnis zum Spiegellicht her und gibt eine Verringerung der Rauigkeit an. Somit werden die Vorteile der kalten AlCu-Zerstäubung nicht realisiert, es sei denn, daß nach der Entfernung des Wolframs ein Nachbesserungs-CMP-Schritt angewendet wird. [Fig. 4](#) zeigt außerdem eine geringere Varianz des Reflexionsvermögens mehrerer Wafer mit dem CMP-Nachbesserungsschritt.

**[0094]** [Fig. 5](#) zeigt das Reflexionsvermögen einer bei 50 °C über einer entweder aus TiN oder aus parallelgerichteten Ti bestehenden Pixeladhäsionsschicht abgeschiedenen 500 nm-Pixelelektrodenoberfläche mit und ohne CMP der Wolframdurchkontakte nach dem Rückätzen.

**[0095]** Ti/AlCu-Wafer mit CMP, die durch die Strichlinie bezeichnet sind, zeigten ein konsistent höheres Reflexionsvermögen als ansonsten völlig gleiche Wafer, die nicht dem CMP unterworfen wurden und "+" bezeichnet sind. Ähnlich zeigten durch die durchgezogene Linie bezeichnete TiN/AlCu-Wafer mit CMP ein konsistent höheres Reflexionsvermögen als die durch die Quadrate "" bezeichneten, ansonsten völlig gleichen Wafer, die nicht dem CMP unterworfen wurden.

**[0096]** Bei der Betrachtung von [Fig. 5](#) ist es wichtig, den Zuwachs des Reflexionsvermögens und die geringe Varianz der Verteilung über einer einzelnen Wellenlänge der dem Nachbesserungs-CMP unterworfenen Wafer gegenüber den nichtpolierten Wafern zu erkennen.

### 4. Rauigkeit der Pixeladhäsionsschicht

**[0097]** Die Bildung der Pixeladhäsionsschicht kann das Reflexionsvermögen der Pixelelektrodenoberfläche beeinflussen. Dies ist ebenfalls graphisch in [Fig. 5](#) gezeigt.

**[0098]** Wafer, die dem CMP unter Verwendung einer durch die Strichlinie bezeichneten parallelgerichteten Ti-Adhäsionsschicht unterworfen wurden, zeigten ein geringfügig höheres Reflexionsvermögen als durch die durchgezogene Linie bezeichnete ansonsten völlig gleiche Wafer, die eine TiN-Adhäsionsschicht verwenden. Ähnlich zeigten nicht dem CMP unter Verwendung einer parallelgerichteten Ti-Adhäsionsschicht unterworfenen Wafer, die durch die "+" bezeichnet sind, ein geringfügig höheres Reflexionsvermögen als durch die Quadrate bezeichnete ansonsten völlig gleiche Wafer, die eine TiN-Adhäsionsschicht verwenden.

**[0099]** Hierbei ist es interessant anzumerken, daß trotz der relativ geringen der Adhäsionsschicht zuzuschreibenden Gesamtdifferenz des Reflexionsvermögens die Differenz 1) bei geringen Wellenlängen und 2) bei Verwendung des CMP nach dem W-Rückätzen besonders deutlich war.

## 5. Abscheidung der Pixelelektrodenschicht

### A. Wirkung der Temperatur

**[0100]** Die AlCu-Metallschicht, aus der die Pixelelektrode besteht, wird typischerweise unter Verwendung von Zerstäubungsabscheidungsverfahren auf der Adhäsionsschicht gebildet. Die Korngröße des abgeschiedenen Al/Cu kann gemäß der Temperatur zum Zeitpunkt der Abscheidung schwanken. Die Abscheidung des Metalls bei höheren Temperaturen führt allgemein zur Bildung größerer Körner. Diese größeren Metallkörner machen die Metalloberfläche rauher und verringern das Reflexionsvermögen.

**[0101]** [Fig. 6](#) zeigt die Daten für das beobachtete Reflexionsvermögen für eine bei vier verschiedenen Temperaturen abgeschiedene AlCu-(99,5/0,5 Gewichts-%)-Gemischzerstäubung. [Fig. 6](#) stellt außerdem das vorausgesagte Reflexionsvermögen, wie es durch die von einem Rasterkraftmikroskop (AFM) gemessenen und in Gleichung (3a) eingesetzten mittleren quadratischen Rauheitsdaten (RMS-Rauheitsdaten) abgeleitet wurde, graphisch dar.

**[0102]** Bei der Betrachtung von [Fig. 6](#) ist es wichtig zu erkennen, daß sowohl für das beobachtete als auch für das vorausgesagte Reflexionsvermögen die Temperatur der AlCu-Abscheidung umgekehrt proportional zum Reflexionsvermögen ist. Diese Beziehung ist wahrscheinlich der Korngrenze des gebildeten AlCu zuzuschreiben, wobei die Abscheidung bei einer höheren Temperatur zur Bildung größerer Körner und einer höheren Oberflächenrauigkeit führt. Das Reduzieren der Korngröße und der Oberflächenrauigkeit ist somit ein klares Hauptziel beim Bewahren des theoretisch absolut maximalen Reflexionsvermögens. Idealerweise würde das maximale Reflexionsvermögen durch Zerstäuben von AlCu bei 50 °C erhalten.

**[0103]** Die Beziehung zwischen der Metallabscheidungstemperatur und der Korngröße, der Rauigkeit und dem Reflexionsvermögen ist weiter in den [Fig. 7A–Fig. 7C](#) dargestellt. [Fig. 7A](#) stellt die Korngröße als Funktion der Metallabscheidungstemperatur für eine 650 nm dicke und für eine 200 nm dicke AlCu-Schicht graphisch dar. [Fig. 7B](#) stellt die mittlere Oberflächenrauigkeit als Funktion der Metallabscheidungstemperatur für die 650 nm dicke und für die 200 nm dicke AlCu-Schicht graphisch dar. [Fig. 7C](#) stellt das Reflexionsvermögen als Funktion der Metallabscheidungstemperatur für die 200 nm dicke und für die 650 nm dicke AlCu-Schicht graphisch dar.

**[0104]** Ein Vergleich der [Fig. 7A–Fig. 7C](#) offenbart, daß die Korngröße bei steigender Temperatur der Metallabscheidung von 50 °C auf 400 °C ebenfalls von < 200 nm auf etwa 4500 nm für die 650 nm-Schicht und auf etwa 1500 nm für die 200 nm-Schicht steigt. Dieser drastische Anstieg der Korngröße des abgeschiedenen Materials führt zu einer erhöhten Oberflächenrauigkeit und zu einem verringerten Reflexionsvermögen.

**[0105]** Die [Fig. 6](#) und [Fig. 7A–Fig. 7C](#) zeigen, daß es wünschenswert ist, das Metall, das die Pixelelektrodenschicht bildet, bei einer so niedrig wie möglichen Temperatur abzuscheiden. Die Metallabscheidung bei einer niedrigen Temperatur stellt sicher, daß die Korngröße des abgeschiedenen Metalls klein und das Reflexionsvermögen hoch bleibt.

**[0106]** Schließlich ist es interessant zu erkennen, daß bei Verwendung von parallelgerichtetem Ti anstelle des TiN als die darunterliegende Adhäsionsschicht zwischen den bei 50 °C abgeschiedenen Filmen gegenüber den bei 100 °C abgeschiedenen Filmen bezüglich der Rauigkeit wenig Unterschied beobachtet wurde.

### B. Wirkung der Metalldicke

**[0107]** Die Dicke der zum Bilden der Pixelzellenelektrode abgeschiedenen Metallschicht beeinflusst ebenfalls

das Reflexionsvermögen. Wieder mit Bezug auf die [Fig. 7A–Fig. 7C](#) zeigt ein Vergleich dieser Abbildungen, daß für jede Temperatur der Metallabscheidung mit einem Steigen der Metalldicke ebenfalls die Korngröße und die mittlere Oberflächenrauigkeit steigt. Diese Änderungen erzeugen ihrerseits eine Abnahme des Reflexionsvermögens.

**[0108]** [Fig. 8](#) zeigt ebenfalls die Änderung des Reflexionsvermögens für Pixelelektrodenschichten veränderlicher Dicke, in diesem Fall für AlCu-Schichten mit Dicken von 200 nm und 500 nm. Bei Konzentration auf das untere Gebiet des Spektrums ist offensichtlich, daß die 200 nm-Metallschicht ein geringfügig höheres Reflexionsvermögen besitzt.

## 6. Ätzen der Pixelelektrodenschicht

**[0109]** Der nächste Schritt zum Definieren der diskreten Elektroden der einzelnen Pixelzellen nach dem Bilden der reflektierenden Pixelelektrodenschicht auf der obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht ist das Ätzen der reflektierenden Pixelschicht.

**[0110]** Nach dem Maskieren und Ätzen der reflektierenden Pixelelektrodenschicht werden drei Verfahrensschritte zum Entfernen des Photolacks ausgeführt:

1) eine erste Plasmaveraschung; 2) eine Lösungsmittelentfernung; und 3) eine zweite Plasmaveraschung. Da diese Verfahren nach dem Abscheiden der glatten Pixelelektrodenschicht stattfinden, unterwerfen sie die Oberfläche der Pixelelektrodenschicht dem Aufrauen und einem entsprechenden Verlust des Reflexionsvermögens.

**[0111]** Die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) zeigen die schädigende Wirkung des Entfernen des Photolacks auf das Reflexionsvermögen der Pixelelektrode. [Fig. 9](#) zeigt das Reflexionsvermögen der 200 nm- und der 500 nm-Metallschichten aus [Fig. 8](#) nach dem ersten Plasmaveraschungsschritt und dem Lösungsmittel-Entfernungsschritt. Für [Fig. 9](#) ist es interessant anzumerken, daß die Abhängigkeit zwischen dem Reflexionsvermögen und der Metalldicke größer als in [Fig. 8](#) gezeigt wird.

**[0112]** [Fig. 10](#) zeigt das Reflexionsvermögen der in den [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) gezeigten 200 nm- und 500 nm-Metallschichten nach dem zweiten Plasmaveraschungsschritt. Die Abhängigkeit zwischen dem Reflexionsvermögen und der Metalldicke ist nach der zweiten Plasmaveraschung weniger deutlich. Dies legt nahe, daß die erhöhte Rauigkeit der Pixelelektrodenschicht dadurch veranlaßt ist, daß diese Oberfläche den Plasmaveraschungsverfahren ausgesetzt wurde.

**[0113]** Die obenstehende Diskussion zeigt, daß der abschließende Plasmaveraschungsschritt das Reflexionsvermögen der darunterliegenden Metall-Pixelelektrodenschicht signifikant verschlechtert. Um diese Verschlechterung zu vermeiden, wird vor dem Ätzen der Pixelelektrodenschicht die REC gebildet.

## 7. REC-Bildung

### A. Einleitung

**[0114]** Obgleich das Reflexionsvermögen des AlCu von einer so niedrig wie möglichen Rauigkeit profitiert, ist das maximale Reflexionsvermögen der Pixelelektrodenschicht allgemein niedriger als die schwer zu erreichenden 100 %. Somit müssen andere Mittel zur Steigerung des Reflexionsvermögens verwendet werden.

**[0115]** Zum Schutz der Siliziumschaltungsanordnung gegenüber der Außenumgebung wird nach dem Ätzen normalerweise eine passive Schicht eines Dielektrikums hinzugefügt. Diese Passivierungskomponente kann jedoch ebenfalls so beschaffen sein, daß sie eine konstruktive Interferenz erzeugt.

**[0116]** Eine solche konstruktive Interferenz wird dadurch erreicht, daß Dielektrika mit unterschiedlichen Brechungsindizes auf der Pixelelektrodenschicht geschichtet werden. Die Interferenz zwischen den Reflexionen an jeder Schnittstelle der dielektrischen Passivierungsschichten wird in der Weise vereinigt, daß sie das Reflexionsvermögen der einzelnen Filme übersteigen.

**[0117]** [Fig. 11](#) zeigt einen Querschnitt der Pixelelektrodenschicht **1400**, die eine REC aus abwechselnden Schichten von SiO<sub>2</sub> **1402** und Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> **1404** trägt. Die SiO<sub>2</sub>-Schichten **1402** haben eine Dicke von etwa 86 nm. Die Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Schichten **1404** haben eine Dicke von etwa 63 nm. Diese Ausführung der REC besitzt zwei vorteilhafte Aspekte. Zunächst werden sowohl SiO<sub>2</sub> als auch Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> üblicherweise als Passivierungsschichten verwen-

det. Zweitens ist die plasmaverstärkte chemische Vakuumabscheidung (PECVD) ein üblicherweise verwendetes Niedertemperatur-Verarbeitungsverfahren. Die Niedertemperatur-Abscheidung der REC ist von größter Wichtigkeit, um von der AlCu-Oberfläche das optimale Reflexionsvermögen zu erhalten.

**[0118]** [Fig. 12](#) zeigt ein einfaches Reflexionsdiagramm der REC. Nach der Auswahl der Zusammensetzung der verschiedenen Schichten der REC ist der verbleibende Entwurfparameter die jeweilige Dicke jedes Films. Zum Beispiel kann die optische Dicke oder Phasendicke ( $n \cdot d$ ) in der Weise gewählt werden, daß sie ein Viertel der Wellenlänge der Mitte des Lichtbands bei 550 nm beträgt. Ein Viertel der Wellenlänge wird aus der Phasenbeziehung von Gleichung (5) abgeleitet, wobei die Phase  $\varphi_v$  auf  $90^\circ$  gesetzt und nach der Dicke  $d$  aufgelöst wird. Auf diese Weise erscheint das maximale Reflexionsvermögen bei der Wellenlänge von 550 nm. Gleichung (5) setzt die Dicke des Teilfilms mit seinem Brechungsindex und mit der Wellenlänge des sich durch diesen Film ausbreitenden Lichts in Beziehung zueinander,

$$\varphi_v = \frac{2\pi n_v d_v \cos\theta_v}{\lambda}. \quad (5)$$

**[0119]** Gleichung (6) liefert die Beziehung eines idealen Films auf einem idealen Substrat zu den Eigenschaften der einzelnen Filme. Die Indizes bezeichnen die Schnittstelle des äußeren Mediums zu dem ersten Film 1 und die Schnittstelle des Films auf dem Substrat 2. Als ein Beispiel würde der obere Film als Siliziumdioxid und das optische Substrat als AlCu genommen. In diesem Beispiel wäre die erste Schnittstelle Luft/SiO<sub>2</sub> 1 und die zweite Schnittstelle SiO<sub>2</sub>/AlCu 2. Im allgemeinen wird die Beziehung für eine Anzahl von  $n$  Filmen in  $2^{n-1}$  Produkte, die im Zähler summiert werden, und in  $2^{n+1}$  Produkte zuzüglich 1, die im Nenner summiert werden, entwickelt. Diese Terme umfassen die Terme in (5) zusätzlich zu den verbleibenden Produkten der Amplitudenkoeffizienten  $r_{k+1}$ ,

$$r_{\text{ideal}} = \frac{r_1 + r_2 \exp[-2j(\varphi_1)]}{1 + r_1 r_2 \exp[-2j(\varphi_1)]}. \quad (6)$$

**[0120]** Im Fall des senkrechten Einfalls sind die Reflexionskoeffizienten  $r_v$

$$r_v = \frac{n_{v-1} - n_v}{n_{v-1} + n_v}. \quad (7)$$

**[0121]** Somit kann die REC das Reflexionsvermögen von der Oberfläche der Pixelzellenelektrode über das des AlCu allein hinaus erhöhen. Theoretisch nähert sich das Reflexionsvermögen mit steigender Anzahl der dielektrischen Schichten in dem Interferenzstapel asymptotisch einem Maximum von 100 %. Obgleich das Reflexionsvermögen nie 100 % würde, würde das Reflexionsvermögen beim Hinzufügen von mehr Filmen zu der REC theoretisch inkrementell steigen.

#### B. Bildung einer Vierschicht-REC

**[0122]** Wie in [Fig. 11](#) gezeigt ist, erzeugt die erste Ausführung eines Verfahrens zum Bilden einer REC einen ersten 86 nm-SiO<sub>2</sub>-Film, einen zweiten 63 nm-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Film, einen dritten 86 nm-SiO<sub>2</sub>-Film und einen vierten 63 nm-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Film.

**[0123]** [Fig. 13](#) zeigt die Daten für das durchschnittliche Reflexionsvermögen von dieser Kombination von Schichten auf Pixelelektrodenschichten mit einer Dicke von 200 nm und 500 nm. Bei der Betrachtung von [Fig. 13](#) ist es wichtig, das höhere Reflexionsvermögen der Wafer mit einer 200 nm-Metallschicht gegenüber jenen mit einer 500 nm-Metallschicht zu erkennen. Diese Daten aus [Fig. 13](#) passen zu den zuvor in Verbindung mit Abschnitt 5B und mit den [Fig. 7A](#) und [Fig. 7C](#) und [Fig. 8](#) diskutierten Ergebnissen und bestätigen, daß die Abscheidung einer dünnen Metallschicht das höchste erreichbare Reflexionsvermögen erzeugt.

**[0124]** [Fig. 14](#) stellt ein Balkendiagramm des maximalen und durchschnittlichen Reflexionsvermögens dar, das von einem einfachen Verfahrensablauf, der eine REC auf einer über dem Silizium gebildeten Aluminiumschicht erzeugt, herrührt. [Fig. 14](#) zeigt, daß das durchschnittliche Reflexionsvermögen der REC über einer 200 nm-Metallschicht um ein Prozent höher als das durchschnittliche Reflexionsvermögen der REC über einer 500 nm-Metallschicht ist.

#### C. Wirkung der Temperatur

**[0125]** Es wurden mehrere Experimente ausgeführt, um die Wirkungen der Temperatur der REC-Abschei-

ung auf das Reflexionsvermögen zu verstehen. In dem ersten Experiment wurde das Metall abgeschieden, wobei die Wafer unter Bedingungen, wie sie zum Bilden einer Vierschicht-REC erforderlich sind, gebrannt wurden. Während dieses Experiments sind jedoch keine Gase geströmt, so daß somit keine Filme abgeschieden wurden.

[0126] Die [Fig. 15A–Fig. 15D](#) zeigen die Wirkung einer solchen thermischen Einwirkung auf das Reflexionsvermögen. Die [Fig. 15A–Fig. 15D](#) stellen das Reflexionsvermögen für Wafer, die bei 400 °C, 400 °C, 350 °C bzw. 300 °C einem thermischen REC-Budget von 4 min ausgesetzt wurden, ohne begleitende Bildung einer tatsächlichen REC graphisch dar.

[0127] Das freiliegende Al zeigt ein über das Spektrum des sichtbaren Lichts relativ konstantes Reflexionsvermögen. Die [Fig. 15A–Fig. 15D](#) sind somit dadurch besonders instruktiv, daß wegen des Fehlens der REC ein nahezu flaches Profil des Reflexionsvermögens zu erwarten wäre. Somit ist die Varianz des Reflexionsvermögens der [Fig. 15A–Fig. 15D](#) der Oberflächenrauigkeit zuzuschreiben. Beim Vergleich der [Fig. 15A–Fig. 15D](#) beträgt die optimale REC-Abscheidungstemperatur, wie in [Fig. 15D](#) gezeigt ist, 300 °C. Diese Temperatur rauht das AlCu bei der resultierenden geringe Abnahme des Reflexionsvermögens am wenigsten auf.

[0128] Die [Fig. 16A–Fig. 16C](#) beweisen außerdem die Wirkung der Pixelelektrode auf das Reflexionsvermögen infolge der hohen Verarbeitungstemperaturen nach dem Abscheiden der Metallschicht. [Fig. 16A](#) zeigt die Änderungen der Korngröße der 650 nm- und der 200 nm-AlCu-Schicht, die bei einer Anzahl von Temperaturen während einer Stunde dem Tempern ausgesetzt sind. [Fig. 16B](#) zeigt die Änderungen der Oberflächenrauigkeit der 650 nm- und der 200 nm-AlCu-Schicht, die der Bildung einer Passivierungsschicht ausgesetzt sind und darauf bei einer Anzahl von Temperaturen während einer Stunde getempert werden. [Fig. 16C](#) zeigt die Änderungen des Reflexionsvermögens der 650 nm- und der 200 nm-AlCu-Schicht, die der Bildung einer Passivierungsschicht ausgesetzt sind und hierauf bei einer Anzahl von Temperaturen während einer Stunde getempert werden.

[0129] Wie [Fig. 16A](#) zeigt, ändert sich die Korngröße nach dem Abscheiden nach dem Temperschnitt nicht merklich. Wie die [Fig. 16B](#) und 17C zeigen, erleidet jedoch nach dem Tempern sowohl die 650 nm- als auch die 200 nm-Metallschicht eine erhöhte Oberflächenrauigkeit und ein verringertes Reflexionsvermögen.

[0130] Um die Korrelation zwischen dem Verlust des Reflexionsvermögen und der hohen REC-Abscheidungstemperatur zu bestätigen, wurde ein zweites Experiment ausgeführt. [Fig. 17](#) stellt die Daten für das Reflexionsvermögen der Wafer mit einer bei 300 °C und bei 400 °C abgeschiedenen Vierschicht-REC graphisch dar. Die signifikante Verminderung des Reflexionsvermögens der Wafer mit einer bei 400 °C abgeschiedenen REC bestätigt die Korrelation zwischen einer niedrigen REC-Abscheidungstemperatur und einem erhöhten Reflexionsvermögen.

[0131] Beim Abschätzen der Wirkung einer REC-Schicht über der Metalloberfläche auf das Reflexionsvermögen ist es ebenfalls wichtig zu erkennen, daß das Reflexionsvermögen der Pixelzellen-Elektrodenschicht nicht nur von (1) der absoluten Temperatur der Metallabscheidung (siehe Abschnitt 5A oben) und (2) der absoluten Temperatur der REC-Abscheidung (siehe die Diskussion unmittelbar oben), sondern auch von (3) der Temperaturdifferenz zwischen der Metallabscheidung und der REC-Abscheidung abhängt.

[0132] Die Tabelle 1 und die [Fig. 18](#) und [Fig. 19](#) zeigen diesen Punkt. Tabelle 1 zeigt vier Kombinationen von Metall- und REC-Abscheidungs-Temperaturbedingungen.

Tabelle 1

Kombination	AlCu-Abscheidungs-temperatur (°C)	REC-Abscheidungs-temperatur (°C)	$\Delta T$ (°C)
1	50	300	250
2	175	300	125
3	50	400	350
4	175	400	225

**[0133]** [Fig. 18](#) zeigt das Reflexionsvermögen nach der Abscheidung von 500 nm AlCu auf einer 40 nm-Ti-Pixeladhäsionsschicht unter den in Tabelle 1 gezeigten Temperaturkombinationen 1–4. [Fig. 19](#) zeigt das Reflexionsvermögen nach der Bildung einer Vierschicht-REC auf dem unter den Temperaturkombinationen 1–4 abgeschiedenen Metall.

**[0134]** Erwartungsgemäß wird das optimale Reflexionsvermögen allgemein bei der Kombination 2 beobachtet, bei der die Differenz zwischen der Temperatur der AlCu-Abscheidung und der Temperatur der REC-Abscheidung am geringsten ist (125 °C). Dies ist wahrscheinlich auf die Bildung von Hügeln in der AlCu-Schicht infolge von Scherkräften, die durch die Differenz der thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem AlCu und der darüberliegenden REC erzeugt werden, zurückzuführen. Wenn die Temperaturdifferenz zum Zeitpunkt der Bildung des Metalls und des REC minimiert wird, wird die Differenz der thermischen Ausdehnung ebenfalls minimiert, was weniger Scherspannung auf das AlCu erzeugt. Diese Verringerung der Scherspannung erzeugt ihrerseits weniger Hügel.

**[0135]** Idealerweise wäre die Differenz zwischen der Metall- und der REC-Abscheidungstemperatur Null. Da der niedrigste Bereich für die Abscheidung der REC momentan zwischen 300 und 400 °C liegt, ist dieses Ziel jedoch schwer zu erreichen. Wie oben in Verbindung mit dem Abschnitt 5A und mit den [Fig. 6](#) und [Fig. 7A–Fig. 7C](#) diskutiert wurde, bilden sich bei diesen hohen Temperaturen leider große Körner aus AlCu, die das Reflexionsvermögen verschlechtern.

**[0136]** Somit bestand die durch die vorliegende Erfindung gelöste Herausforderung an das Verfahren in der Optimierung derjenigen Bedingungen, die zur Bildung von AlCu mit kleinen Körnern bei gleichzeitiger Beibehaltung einer geringen Differenz zwischen der AlCu- und der REC-Abscheidungstemperatur und somit einer geringen Hügeldichte führen.

**[0137]** Die [Fig. 18](#) und [Fig. 19](#) zeigen den Vorteil in bezug auf das Reflexionsvermögen, der dadurch erzielt wird, daß die Differenz zwischen der AlCu-Abscheidungstemperatur und der REC-Abscheidungstemperatur so gering wie möglich gehalten wird. Die [Fig. 18](#) und [Fig. 19](#) beweisen außerdem, daß die durch die bei 175 °C gebildeten größeren AlCu-Körner gegenüber den bei 50 °C gebildeten verursachte Anfangsrauhigkeit den durch die REC verliehenen Vorteil nicht aufhebt.

#### D. Wirkung der Mehrschicht-REC

**[0138]** Infolge des Fehlens der in den REC-Filmen während der Abscheidung der dritten und der vierten Schicht erzeugten Rauigkeit sollte das Reflexionsvermögen in einer Zweischicht-REC größer sein. Die [Fig. 20A](#) und [Fig. 20B](#) stellen das nach der Abscheidung einer Zweischicht-REC und nach der Abscheidung einer Vierschicht-REC gemessene Reflexionsvermögen graphisch dar. Die [Fig. 20A](#) stellt das Feldreflexionsvermögen in der Mitte der Wafer graphisch dar. Die [Fig. 20B](#) stellt das Feldreflexionsvermögen am Rand der Wafer graphisch dar.

**[0139]** Ein Vergleich der Daten für das Reflexionsvermögen aus den [Fig. 20A](#) und [Fig. 20B](#) offenbart, daß die Wirkung der während der Filmabscheidung erzeugten Rauigkeit das Reflexionsvermögen der Vierschicht-REC im Vergleich zu der Zweischicht-REC nicht verschlechtert.

**[0140]** Die obenbeschriebene, dem Betrieb der REC zugrundeliegende Theorie sagt voraus, daß das Hinzufügen von Schichten eine Zunahme des Reflexionsvermögens erzeugen würde. [Fig. 21](#) zeigt das maximale und das minimale Reflexionsvermögen einer von einer Sechsschicht-REC eingeschlossenen Metallschicht.

**[0141]** Der Vergleich der [Fig. 20A–Fig. 20B](#) mit [Fig. 21](#) offenbart, daß die experimentellen Ergebnisse nicht der Theorie entsprachen. Genauer wurde im Fall einer Vierschicht-REC ein höheres Reflexionsvermögen als im Fall einer Sechsschicht-REC beobachtet. Diese Abweichung von der Theorie legt nahe, daß die mit der Abscheidung der zusätzlichen zwei Filme verknüpfte erhöhte thermische Energie eine zusätzliche Rauigkeit erzeugt und irgendeinen durch die konstruktive Interferenz von den zusätzlichen Schichten der REC verliehenen potentiellen Vorteil in bezug auf das Reflexionsvermögen eliminiert hat.

**[0142]** Der Vergleich der [Fig. 20A–Fig. 20B](#) und der [Fig. 21](#) offenbart außerdem, daß das maximale Reflexionsvermögen als Funktion der Wellenlänge zwischen der Vierschicht- und der Sechsschicht-REC etwa gleich war. Außerdem offenbart [Fig. 21](#), daß die Bandbreite des reflektierten Lichts durch das Hinzufügen der letzten zwei Schichten der REC signifikant abgeschnitten wurde. Somit legen die Daten nahe, daß die thermischen Wirkungen der REC-Abscheidung das durch das Erzeugen eines Interferenzstapels auf einer 5000 Å-Al-

Cu-Schicht erreichbare maximale Reflexionsvermögen inhärent begrenzen.

#### 8. Reflexionsvermögen der Pixel gegenüber dem des Felds

[0143] Während der Untersuchung der Wirkung der Verarbeitung auf das Reflexionsvermögen ist zwischen dem kleineren 12 mm-Pixelgebiet des Wafers und dem manchmal als das "Feld" bezeichneten nichtstrukturierten Teilstück der Teststelle eine unerwartete Quelle einer systematischen Änderung entstanden. Diese Differenz in bezug auf das Reflexionsvermögen kann mehreren verschiedenen Faktoren zugeschrieben werden.

##### A. REC-Dicke des Felds gegenüber der des Pixels

[0144] Eine unterschiedliche Dicke in der über dem Pixel liegenden REC gegenüber der über den Feldgebieten liegenden zeigte sich anfangs aus der Betrachtung der in [Fig. 22](#) gezeigten Daten für das Reflexionsvermögen. [Fig. 22](#) zeigt die Messungen für das Reflexionsvermögen von dem Feldgebiet und von dem Pixelgebiet der zwei Lose von Wafern: das Los A enthielt unter der Metallschicht liegende Durchkontakte, während das Los B solche Durchkontakte nicht enthielt. Sowohl in dem Los A als auch in dem Los B war das Reflexionsvermögen des Feldgebiets höher als das Reflexionsvermögen des Pixelgebiets.

[0145] Dieses Ergebnis wird durch [Fig. 23](#) bestätigt. [Fig. 23](#) zeigt TEM-Querschnitte über das Feldgebiet und über Pixelgebiete, die die Dicke einer Vierschicht-REC zeigen. [Fig. 23](#) zeigt konsistent die erhöhte Dicke der REC-Schichten über dem Feldgebiet im Gegensatz zu deren Dicke über dem Pixelgebiet.

[0146] [Fig. 24](#) stellt das theoretische und das gemessene Reflexionsvermögen der Wafer dar, deren Querschnitt in [Fig. 23](#) gezeigt ist. Das theoretische Reflexionsvermögen wird unter Verwendung von Gleichung (5) und der in [Fig. 23](#) gezeigten Filmdicke berechnet. Obgleich die theoretischen und die gemessenen Spektren für das Reflexionsvermögen nicht genau übereinstimmen, bestätigt [Fig. 24](#) die vorausgesagte Beziehung zwischen der Dicke und der spektralen Antwort: Während sich die REC-Filmdicke verringert, verschiebt sich das Spektrum des Reflexionsvermögens hinsichtlich des Wellenlängenspektrums nach links.

[0147] Mögliche, der Differenz zwischen dem theoretischen und dem gemessenen Spektrum des Reflexionsvermögens zuzuschreibende Fehlerquellen sind:

- (1) eine falsche Extrapolation der Dicke von dem TEM;
- (2) die Verwendung einer falschen Dispersion des AICu in der Berechnung und/oder
- (3) eine Messung des Reflexionsvermögens auf dem Wafer nicht am gleichen Ort wie die Messung des TEM-Querschnitts (d. h. die Dicken waren nicht gleich).

##### B. Pixel-"Grübchen"

[0148] Wie in [Fig. 28](#) gezeigt ist, stellen die Pixelelektroden **212a** und **212b** über den darunterliegenden Durchkontakt **240** und über die Verdrahtungsmetallisierung **222** und **224** einen elektrischen Kontakt mit den darunterliegenden Speicherkondensatorstrukturen **218a** und **218b** her. Genauer zeigen die [Fig. 29C–Fig. 29E](#) das Ätzen des Durchkontakts **340** in der obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht **328**. Als nächstes wird eine aus Titan und aus Titanitrid bestehende Durchkontakt-Abstandshalterschicht **342** gebildet und hierauf über dem gesamten Wafer das Wolfram **344** abgeschieden. Schließlich wird das Wolfram **344** global von der Waferoberfläche geätzt.

[0149] Das in [Fig. 29E](#) gezeigte abschließende Ätzen entfernt das Wolfram in einer Richtung normal zu der Oberfläche des Wafers, wobei es das Wolfram im Ergebnis in dem zuvor in der obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht erzeugten Hohlraum zurückläßt. Um sicherzustellen, daß kein verbleibendes Wolfram auf der Oberfläche des Titanitrids auf der obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht zurückgelassen wird, wird die Wolframätzung während einer geringfügig längeren Dauer, als es zum Ätzen der maximalen Wolframdicke erforderlich ist, erhöht. Im Ergebnis dieses Überätzens liegt der Wolframstopfen **344a** geringfügig tiefer als die Oberfläche der Titanitrid-Durchkontakt-Abstandshalterschicht.

[0150] Während der Bildung der Pixelelektrodenschicht **312** über dem Durchkontakt **340** paßt sich das abgeschiedene AICu der Titanitrid- und Wolframstöpsel-Topographie an, wobei in der Mitte der Pixelelektrode eine Vertiefung oder ein "Grübchen" **347** gebildet wird.

[0151] [Fig. 25](#) zeigt das hohe bzw. das niedrige Reflexionsvermögen der Mitte und der Ecke (des Feldgebiets) der Pixelzellen auf dem gleichen Wafer. [Fig. 25](#) zeigt, daß das Reflexionsvermögen in dem Pixelgebiet

konsistent geringer als in dem Feldgebiet war. Dieser Unterschied in bezug auf das Reflexionsvermögen kann möglicherweise 1) der Streuung vom Rand des Pixels, 2) der Beugung vom Rand des Pixels oder 3) der Ver-  
setzung des 10 µm-Durchmessers des Meßflecks (der etwa die gleiche Größe wie das Pixel hat) zugeschrie-  
ben werden.

## 9. Schlußfolgerung

[0152] Die [Fig. 26A–Fig. 26M](#) zeigen Querschnittsansichten eines Verfahrensablaufs, der Schritte gemäß den verschiedenen Ausführungen umfaßt.

[0153] [Fig. 26A](#), die völlig gleich zu [Fig. 29A](#) ist, zeigt die Bildung einer obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht **3228** auf einer unteren Metallisierungsschicht **3224**. [Fig. 26B](#), die völlig gleich zur [Fig. 29B](#) ist, zeigt das Nivellieren der Oberfläche der obersten dielektrischen Zwischenmetallschicht unter Verwendung des Verfahrens der SOG-Planarisierung.

[0154] [Fig. 26C](#) zeigt die Abscheidung einer TEOS-Abdeckung, gefolgt vom chemisch-mechanischen Polieren des TEOS zum weiteren Planarisieren des Zwischenmetaldielektrikums **3228**. [Fig. 26D](#) zeigt die Strukturierung einer Photolackmaske **3230** über der planarisierten Oberfläche des obersten Zwischenmetaldielektrikums **3228**, gefolgt vom Ätzen zum Erzeugen von Durchkontakten **3240**.

[0155] [Fig. 26E](#) zeigt die Bildung einer Durchkontakt-Abstandshalterschicht **3242** in den Durchkontakten **3240**, gefolgt von der Bildung einer Schicht **3244** aus Wolfram über dem obersten Zwischenmetaldielektrikum **3228** einschließlich der Durchkontakte **3240**. [Fig. 26F](#) zeigt das Rückätzen der Wolframschicht **3244** zum Entfernen des Wolframs außerhalb der Durchkontakte **3240**. [Fig. 26G](#) zeigt das auf das Wolframrückätzen folgende CMP zum Reduzieren der durch die verbleibende Durchkontakt-Abstandshalterschicht **3242** beigetragenen Rauigkeit.

[0156] [Fig. 26H](#) zeigt die Bildung einer aus einer zwischen etwa 10 nm und 40 nm dicken Schicht aus parallelgerichtetem Titan gebildeten Pixeladhäsionsunterschicht **3246**.

[0157] [Fig. 26I](#) zeigt die Bildung einer Pixelelektrodenschicht **3212** auf der Pixeladhäsionsunterschicht **3246**. Die Pixelelektrodenschicht **3212** wird durch Abscheiden eines AlCu-Gemischs bei etwa 175 °C gebildet.

[0158] [Fig. 26J](#) zeigt die Bildung eines ersten dielektrischen Films **3252a** auf der neu abgeschiedenen Pixelelektrodenschicht **3212**. Der erste dielektrische Film **3252a** bildet die unterste Schicht der REC, wobei er bei einer Temperatur abgeschieden wird, die so nahe wie möglich bei der Temperatur liegt, bei der die Pixelelektrodenschicht **3212** gebildet wird.

[0159] [Fig. 26K](#) zeigt die Bildung einer Pixelphotolackmaske **3250** auf dem ersten dielektrischen Film **3252a**. Die [Fig. 26L](#) zeigt das Ätzen des ersten dielektrischen Films **3252a**, der Pixelelektrodenschicht **3212** und der Pixeladhäsionsschicht **3246** in den durch die Pixelphotolackmaske **3250** nicht maskierten Gebieten. Dieser Ätzschritt erzeugt durch Definieren einzelner Pixelelektroden **3212a** und **3212b** aus der Pixelelektrodenschicht **3212** die einzelnen Pixelzellen.

[0160] [Fig. 26M](#) zeigt den Abschluß der REC **3252** durch Bilden zweiter, dritter und vierter dielektrischer Filme **3252b**, **3252c** bzw. **3252d** auf dem ersten dielektrischen Film **3252a**. Während dieses Schritts tritt dielektrisches Material aus den Filmen **3252b**, **3252c** und **3252d** in einen geätzten Spalt **3260** ein, das die Pixelelektroden **3212a** und **3212b** weiter elektrisch isoliert.

[0161] Die in der bevorzugten Ausführung gezeigten diskreten Verfahrensschritte können getrennt sowie in Verbindung miteinander verwendet werden. Somit kann das CMP nach der SOG-Planarisierung des darunterliegenden Zwischenmetaldielektrikums das Reflexionsvermögen unabhängig von der Verwendung in Verbindung mit dem CMP nach dem W-Rückätzen und/oder nach der REC-Bildung verbessern. Ähnlich kann die Bildung der REC unabhängig davon ausgeführt werden, ob nach der SOG-Planarisierung des Zwischenmetaldielektrikums ein CMP und/oder nach dem Wolframrückätzen ein CMP ausgeführt wird.

[0162] Außerdem ist das Verfahren nicht notwendig auf die genaue Reihenfolge der oben in den [Fig. 26A–Fig. 26M](#) beschriebenen Verfahrensschritte beschränkt. Zum Beispiel könnten alle REC-Schichten vor dem Ätzen der Pixelelektrodenschicht zum Erzeugen der einzelnen Pixelzellen abgeschieden werden.

**[0163]** Das Abscheiden der Pixelelektrodenschicht und der REC kann bei jeder möglichen Verarbeitungstemperatur stattfinden, wobei die primäre Beschränkung die Kleinheit des gebildeten Metallkorns und das Aufrechterhalten einer so gering wie möglichen Differenz zwischen der Temperatur der Metall- und der REC-Bildung zum Unterdrücken der Erzeugung von Hügeln ist.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Bilden einer reflektierenden Elektrodenoberfläche, wobei eine Isolierschicht (**3228**) erzeugt, die Isolierschicht (**3228**) chemisch-mechanisch poliert, eine Elektrodenadhäsionsschicht (**3246**) gebildet und eine Elektrodenschicht (**3212**) durch Abscheiden von Metall auf der Adhäsionsschicht (**3246**) abgeschieden wird, wobei beim Abscheiden die Korngröße und die Rauigkeit der Elektrodenschicht durch Arbeiten bei einer entsprechend niedrigen Temperatur klein gehalten werden, und sofort nach dem Abscheiden der Elektrodenschicht (**3212**) eine lichtdurchlässige Beschichtung (**3252**) abgeschieden wird, wobei die lichtdurchlässige Beschichtung (**3252**) einen ersten dielektrischen Film (**3252a**) enthält, der auf der Elektrodenschicht (**3212**) bei einer weiteren Temperatur abgeschieden wird, die zum Unterdrücken einer Hügelbildung in der Elektrodenschicht (**3212**) so nahe wie möglich bei der ersten Temperatur liegt, wobei die lichtdurchlässige Beschichtung (**3252**) eine konstruktive Interferenz des reflektierten Lichts erzeugt.

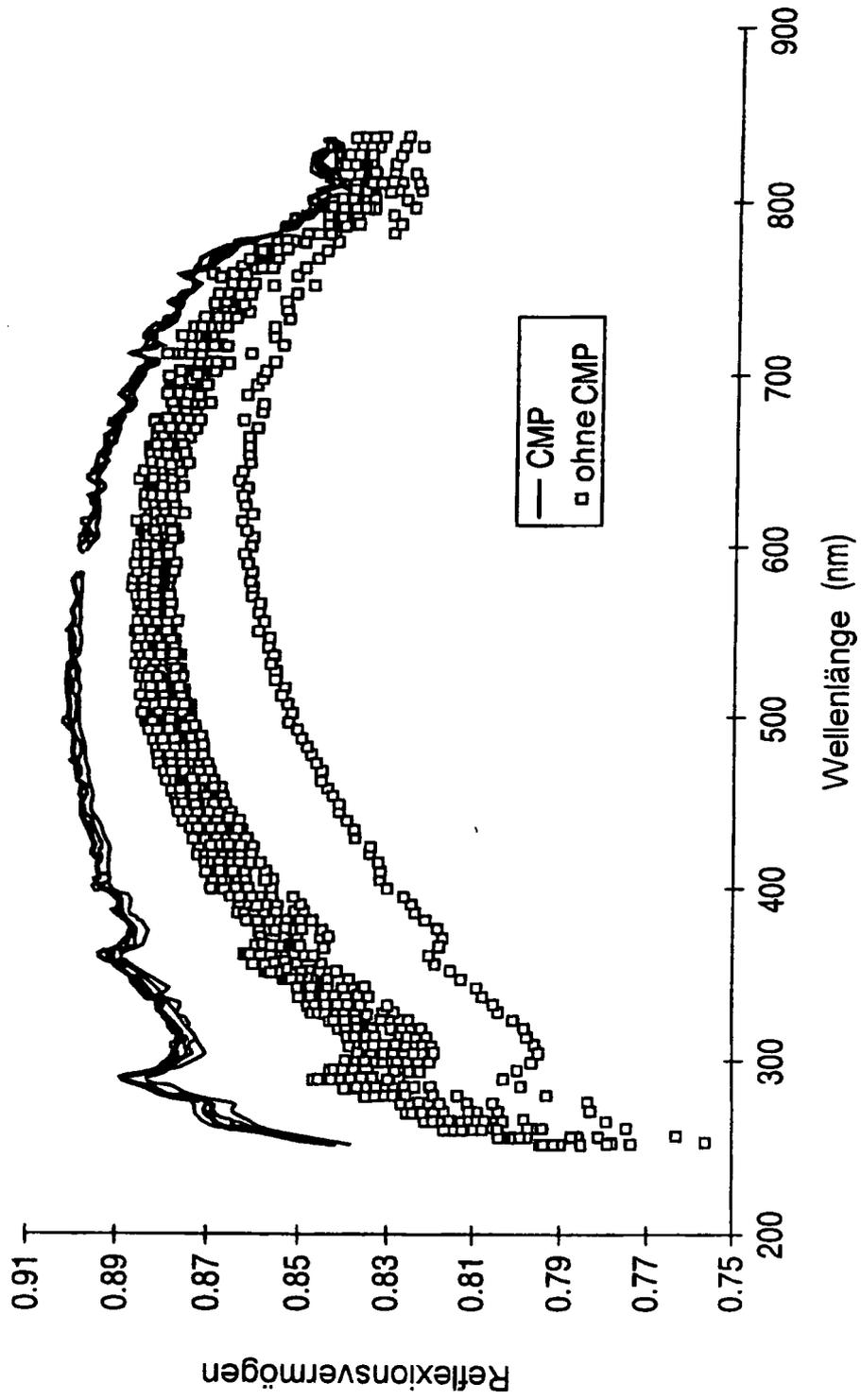
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Elektrodenadhäsionsschicht aus parallel gerichtetem Titan zwischen 10 µm und 40 µm dick gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Elektrodenschicht (**3212**) aus einem Gemisch aus etwa 99,5 Gewichts-% Aluminium und aus etwa 0,5 Gewichts-% Kupfer bei einer Temperatur von etwa 175 °C abgeschieden wird.

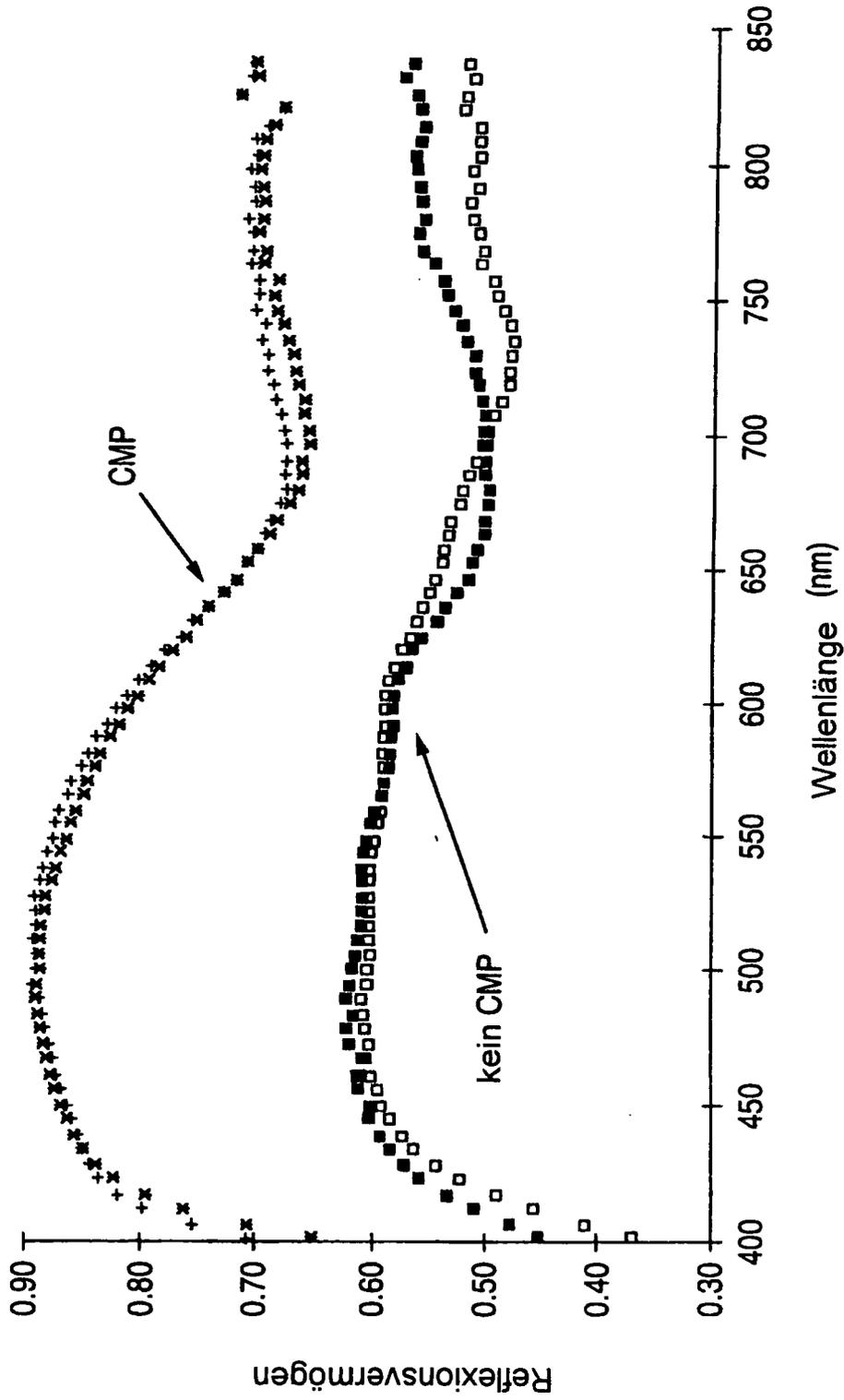
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der erste dielektrische Film (**3252a**) bei der weiteren Temperatur von etwa 300 °C abgeschieden wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die lichtdurchlässige Beschichtung (**3252**) neben dem ersten dielektrischen Film (**3252a**) aus SiO<sub>2</sub>, einen zweiten dielektrischen Film (**3252b**) aus Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> auf dem ersten dielektrischen Film (**3252a**), einen dritten dielektrischen Film (**3252c**) aus SiO<sub>2</sub> auf dem zweiten dielektrischen Film (**3252b**) und einen vierten dielektrischen Film (**3252d**) aus Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> auf dem dritten dielektrischen Film (**3252c**) enthält.

Es folgen 38 Blatt Zeichnungen



**FIG.1**



**FIG. 2**

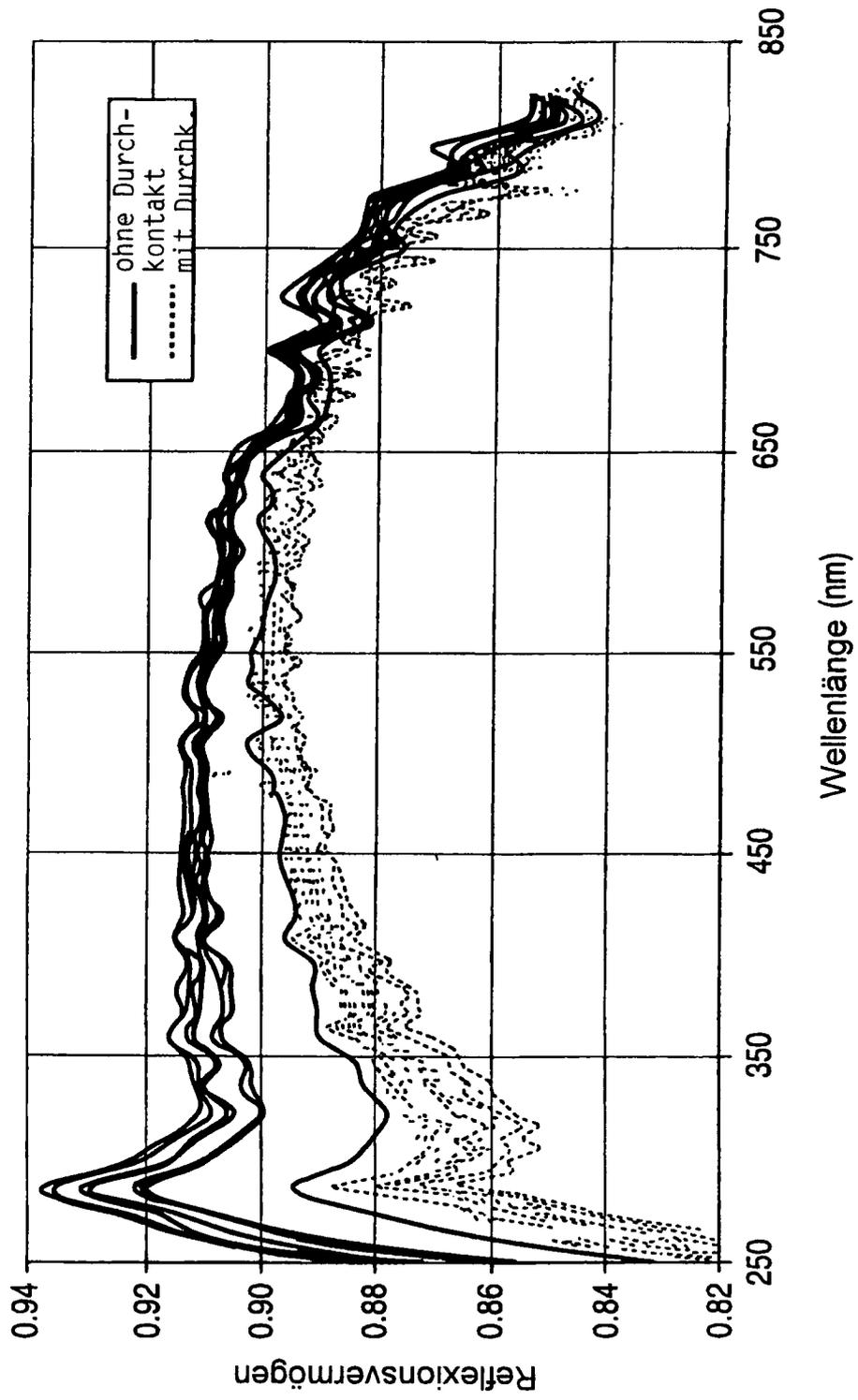
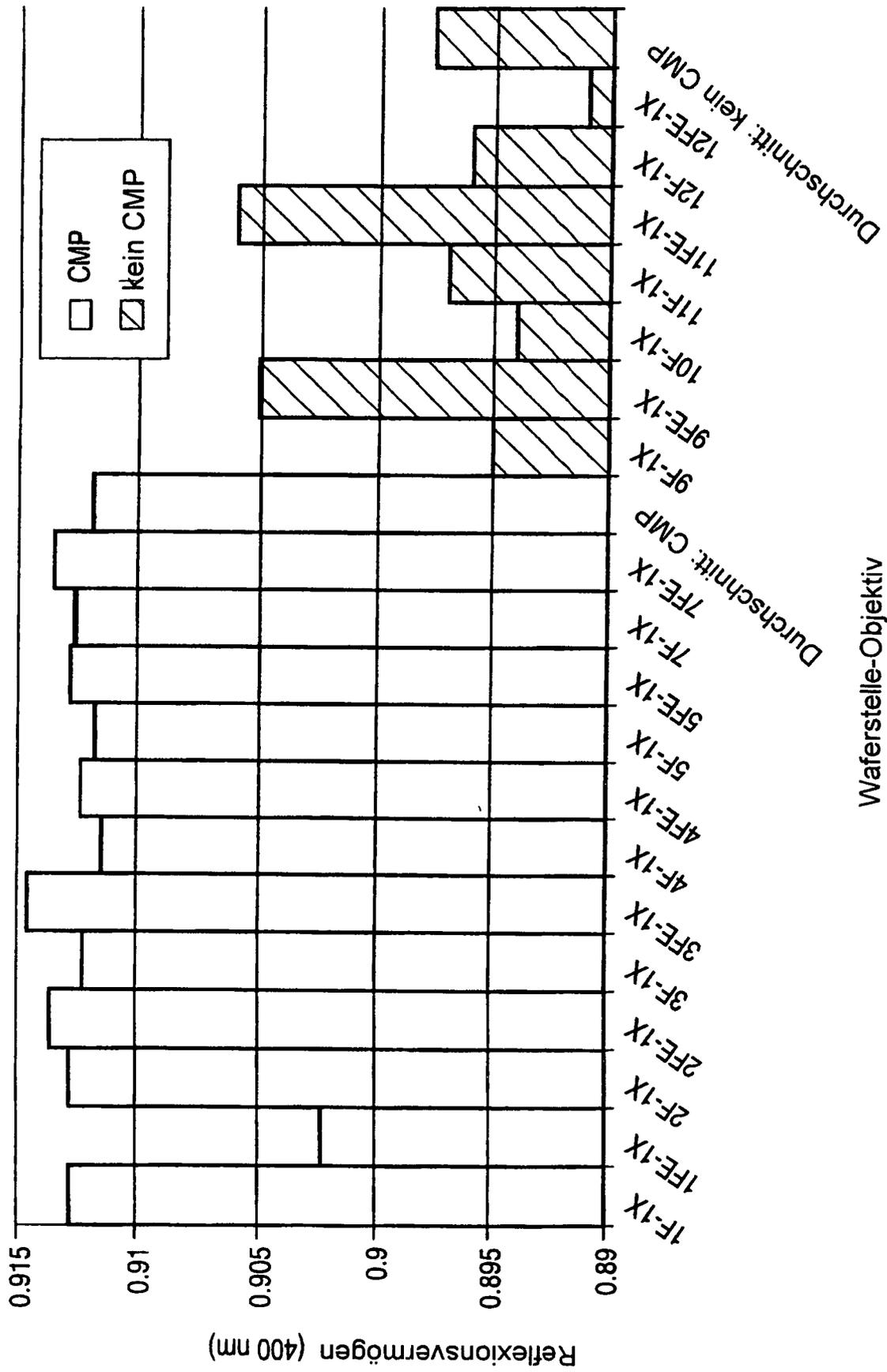


FIG. 3



Waferstelle-Objektiv

FIG. 4

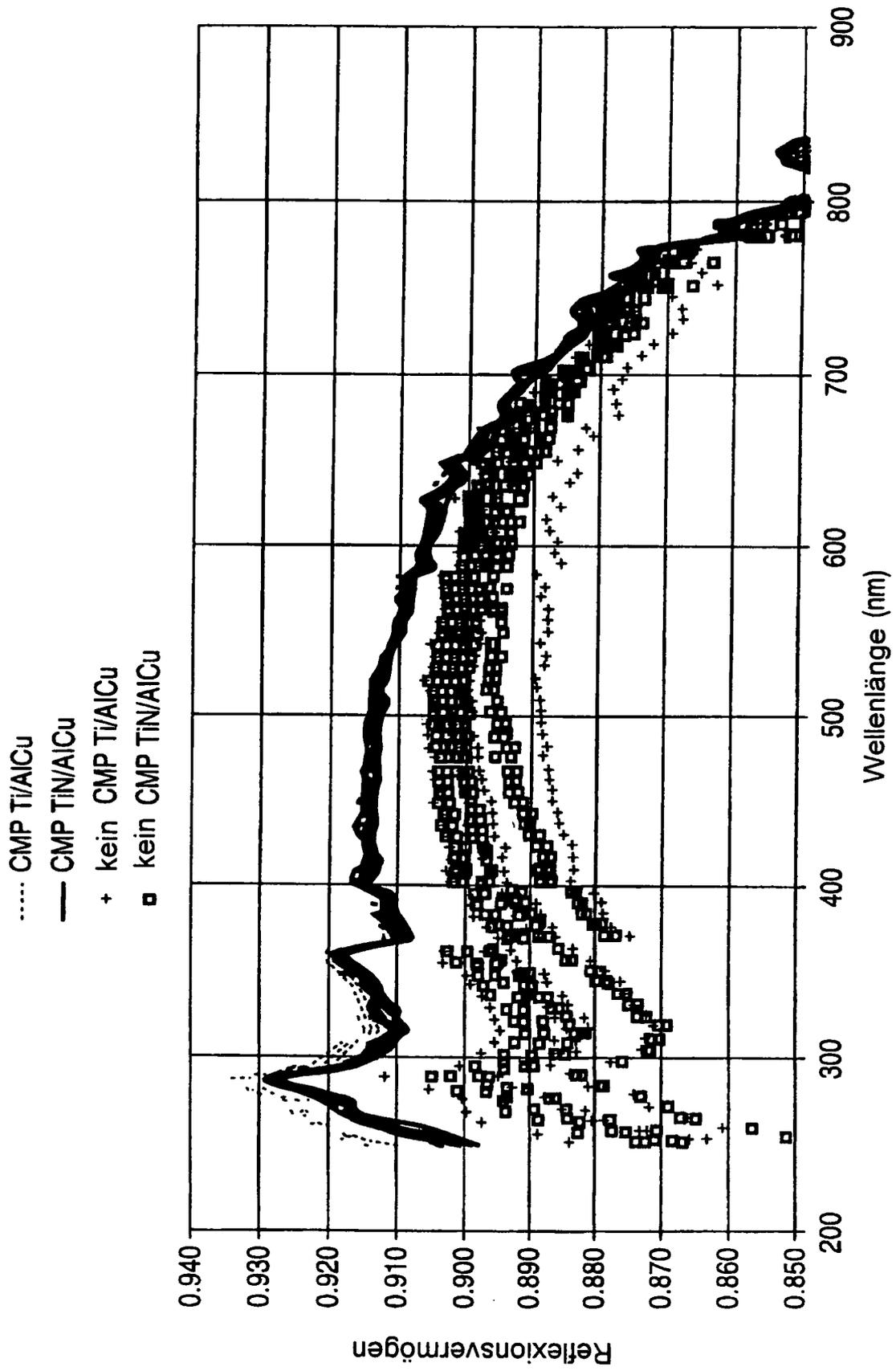
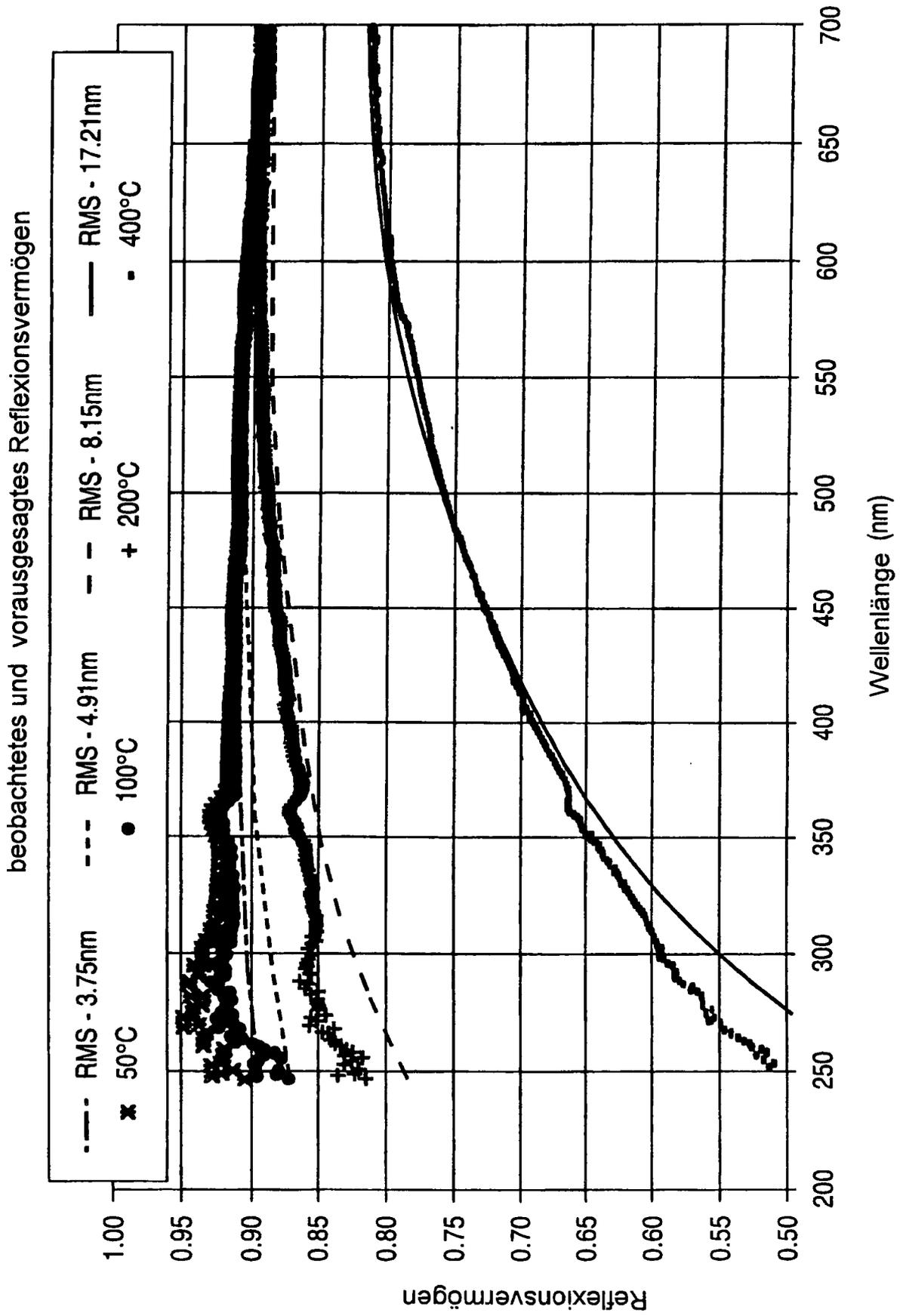
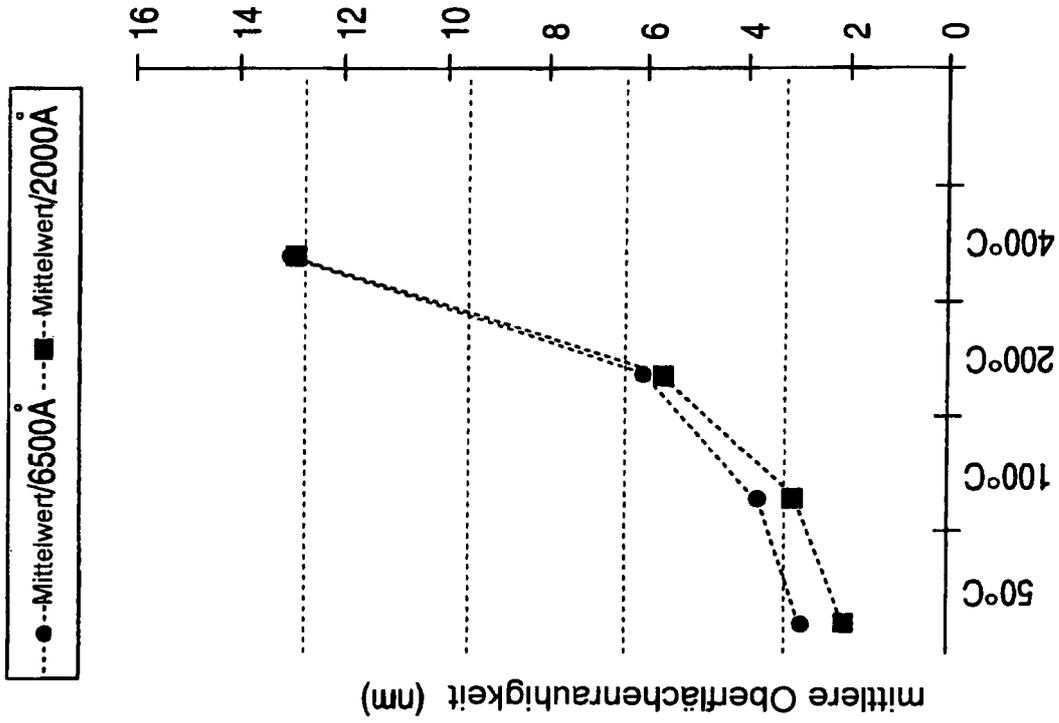


FIG. 5

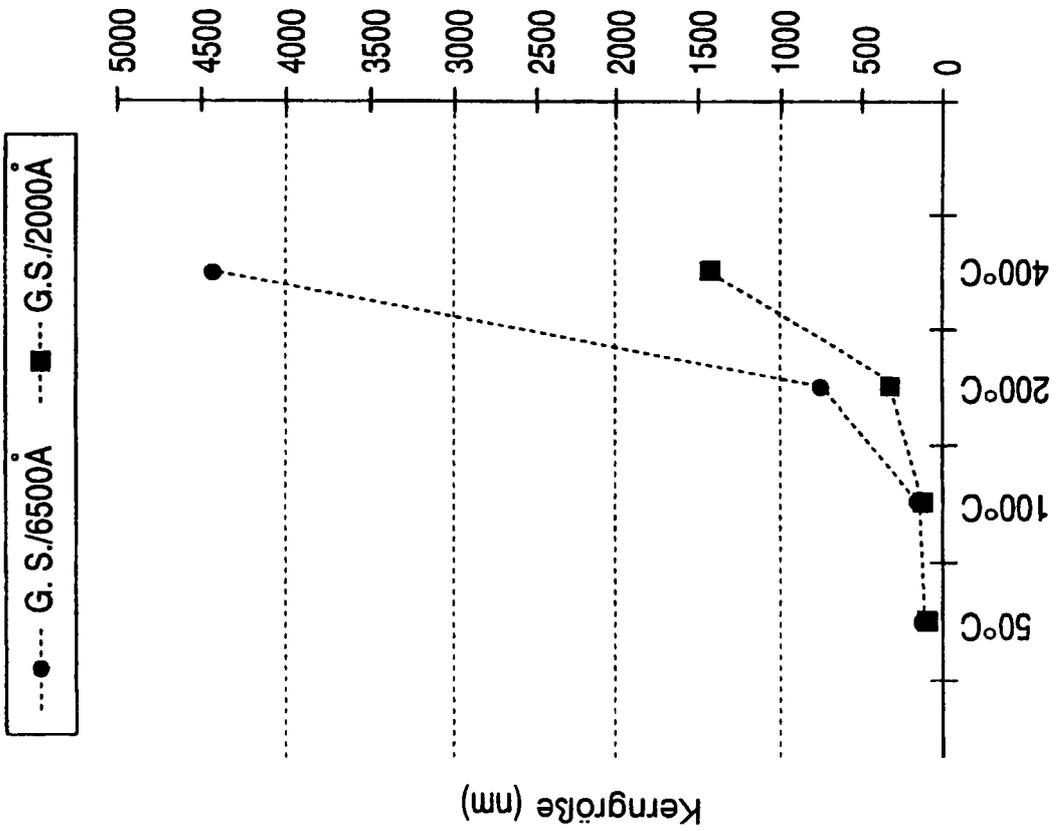


**FIG. 6**



wie abgesehen

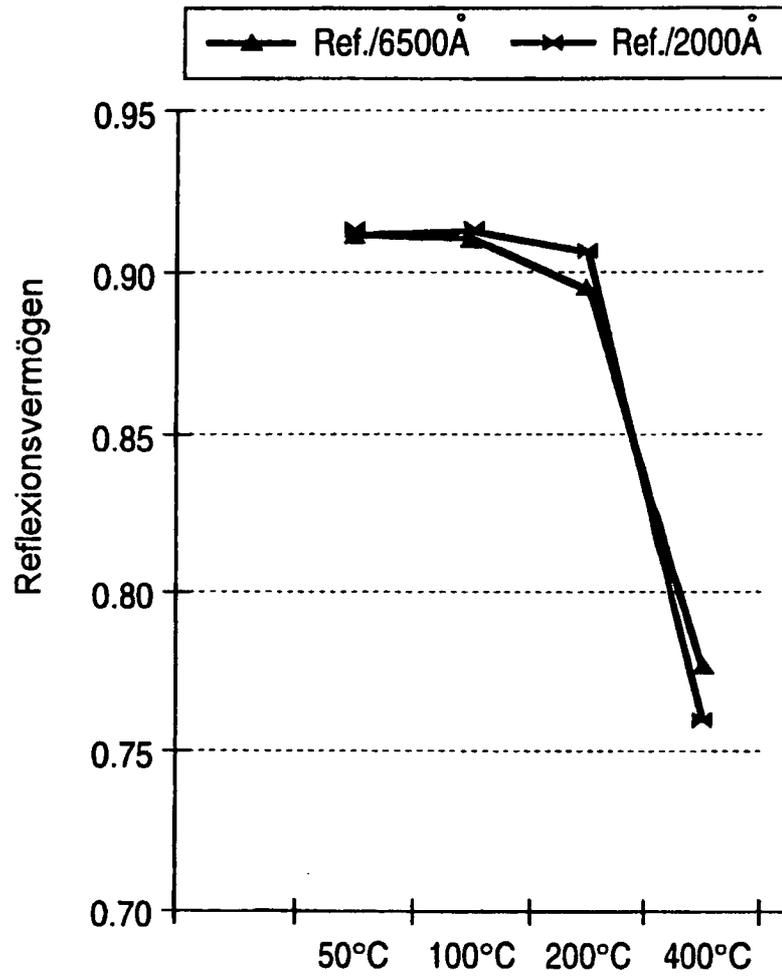
**FIG. 7B**



wie abgesehen

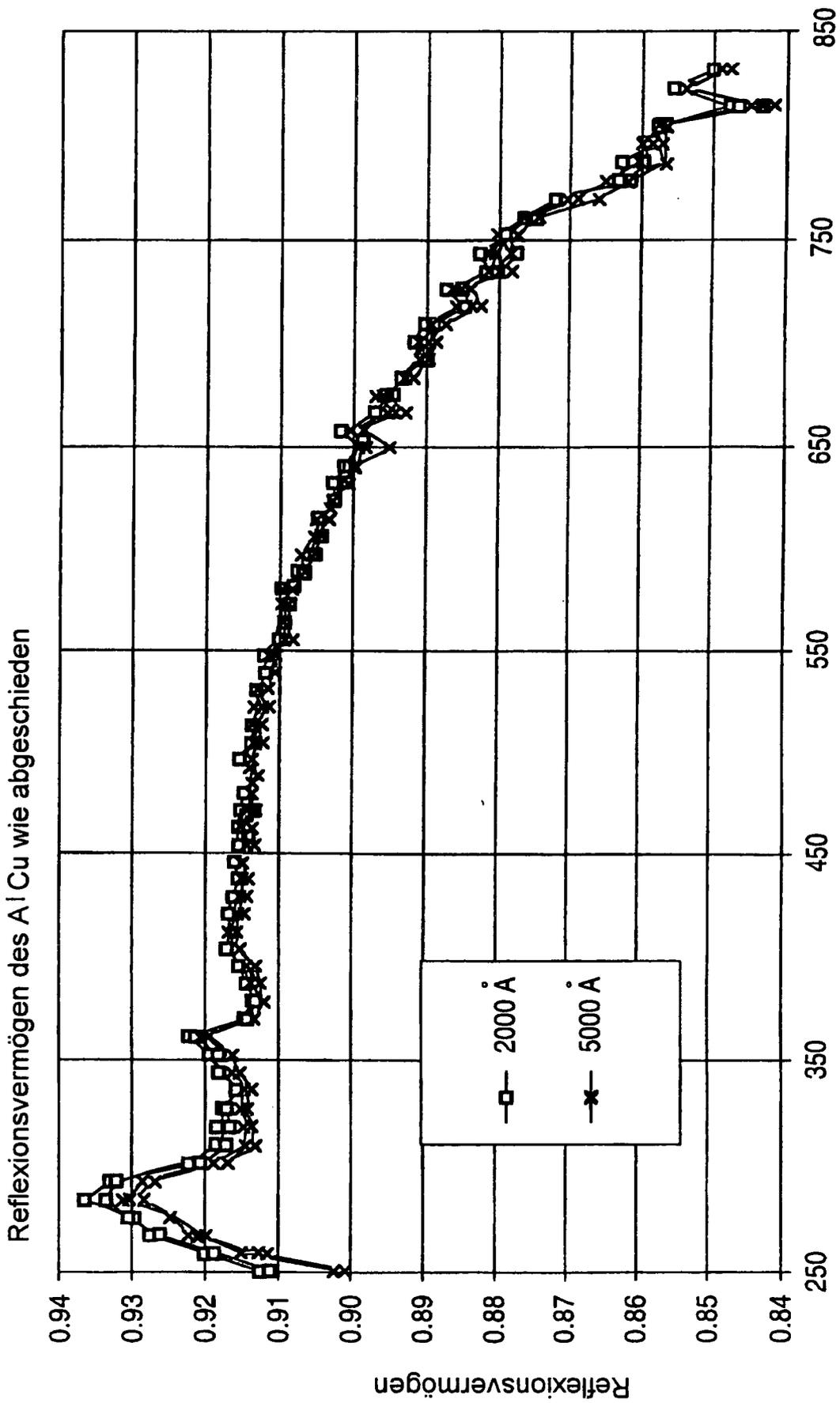
**FIG. 7A**

AlCu-Kerngröße als Funktion der  
Abscheidungsbedingung



wie abgeschlossen

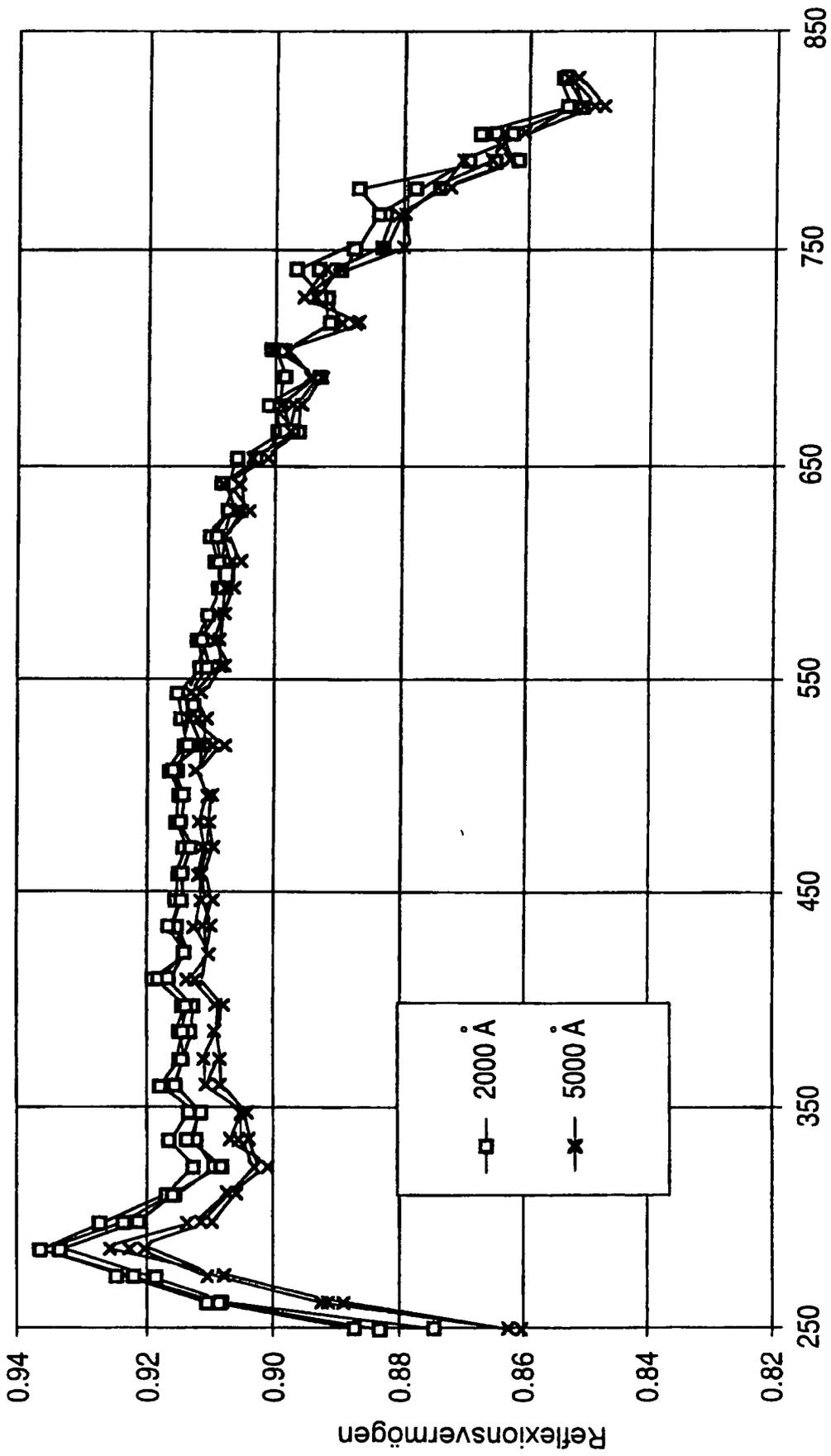
**FIG. 7C**



Wellenlänge (nm)

**FIG. 8**

Feldreflexionsvermögen nach Lösungsmittel-Lackenfernung



Wellenlänge (nm)

**FIG.9**

Pixelreflexionsvermögen nach zweiter Verarschungs-Photolackentfernung

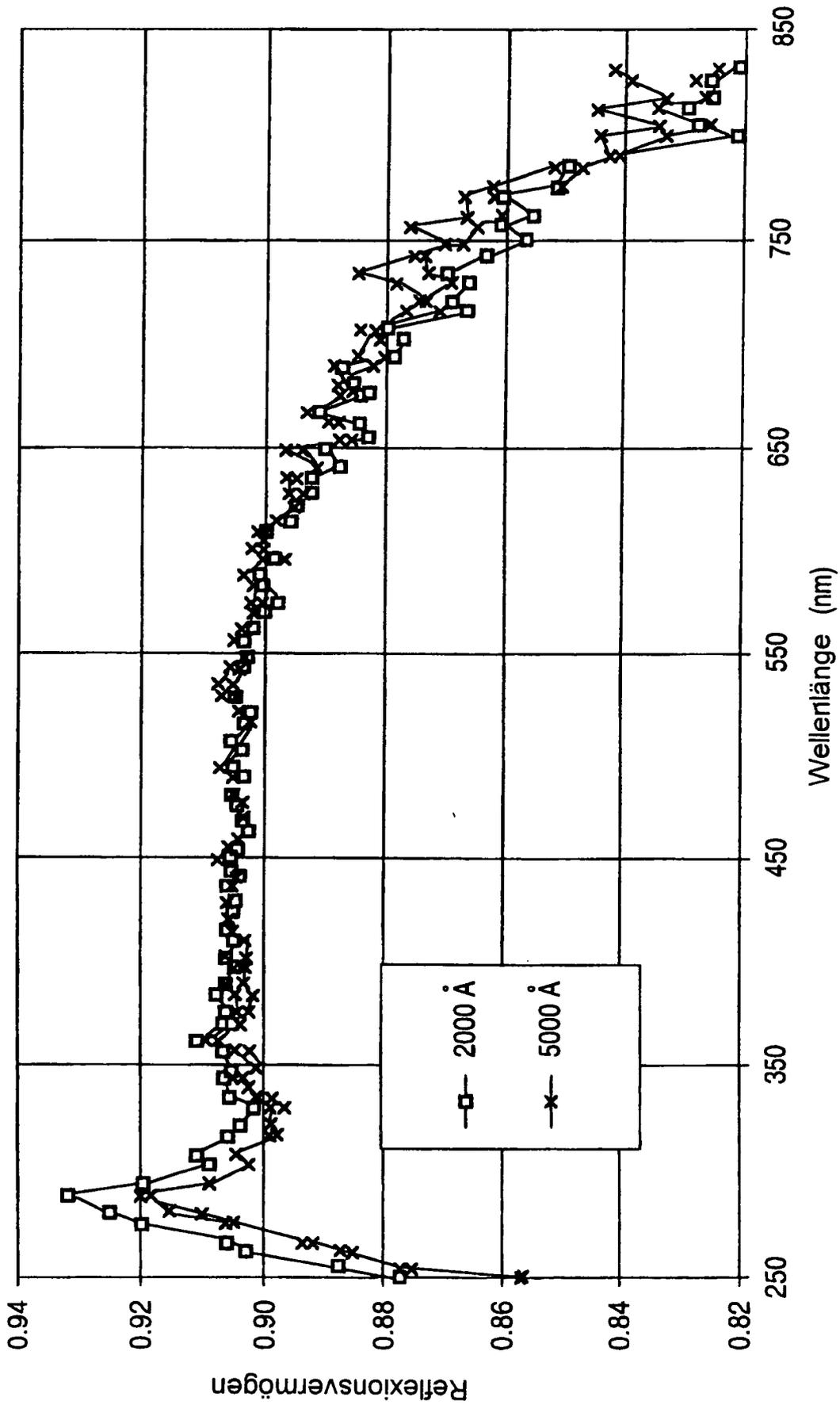


FIG.10

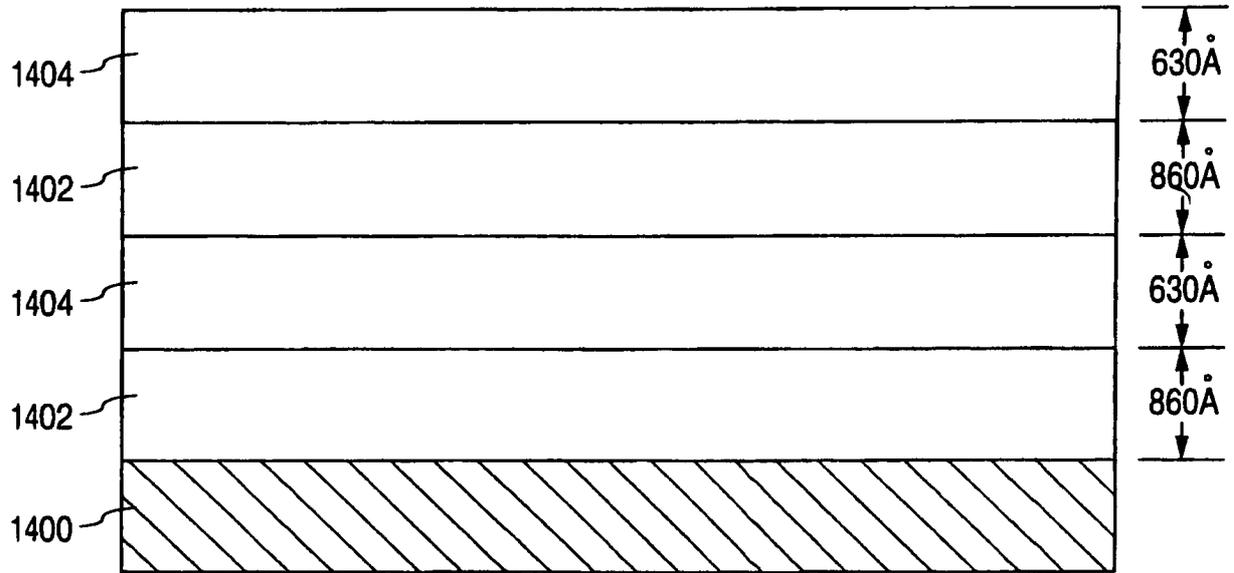


FIG. 11

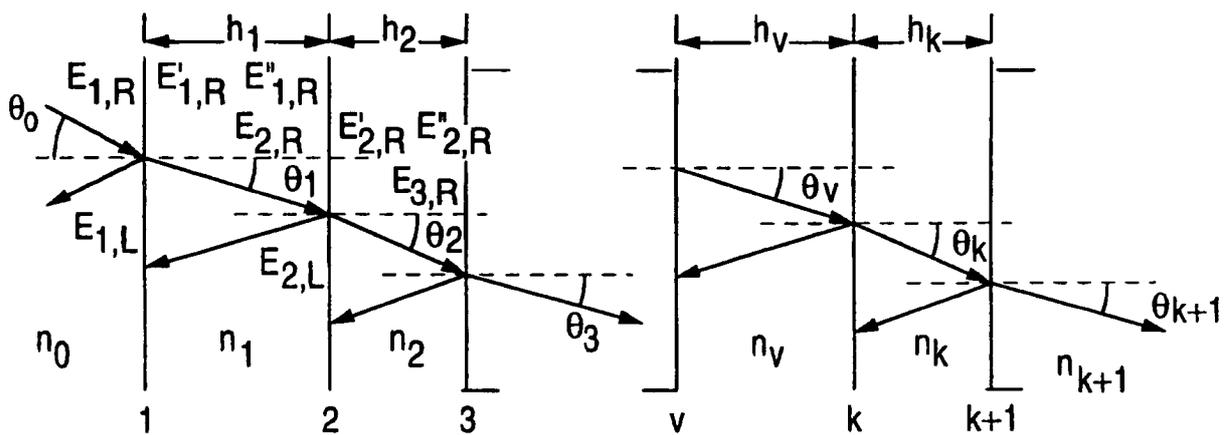


FIG. 12

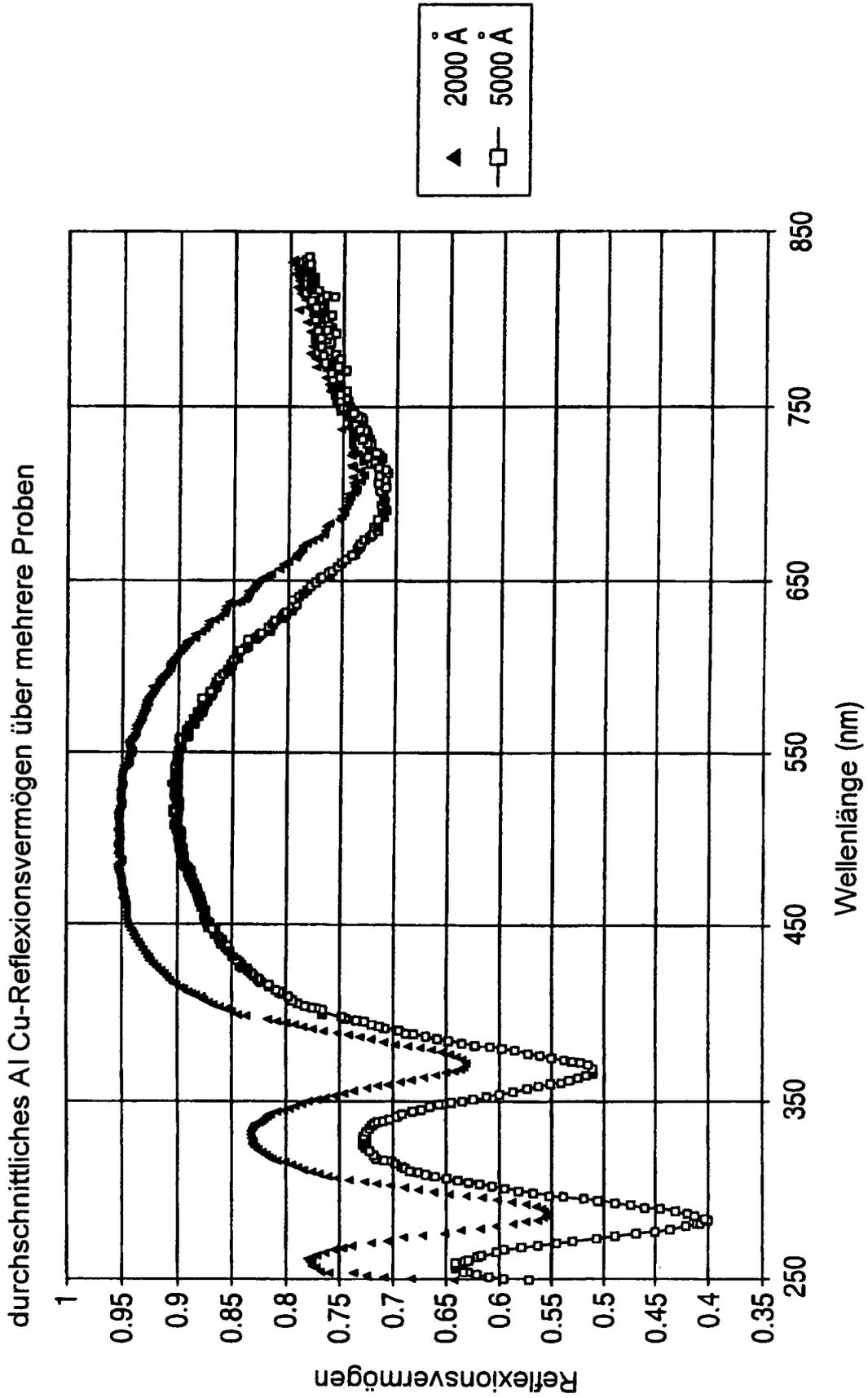


FIG.13

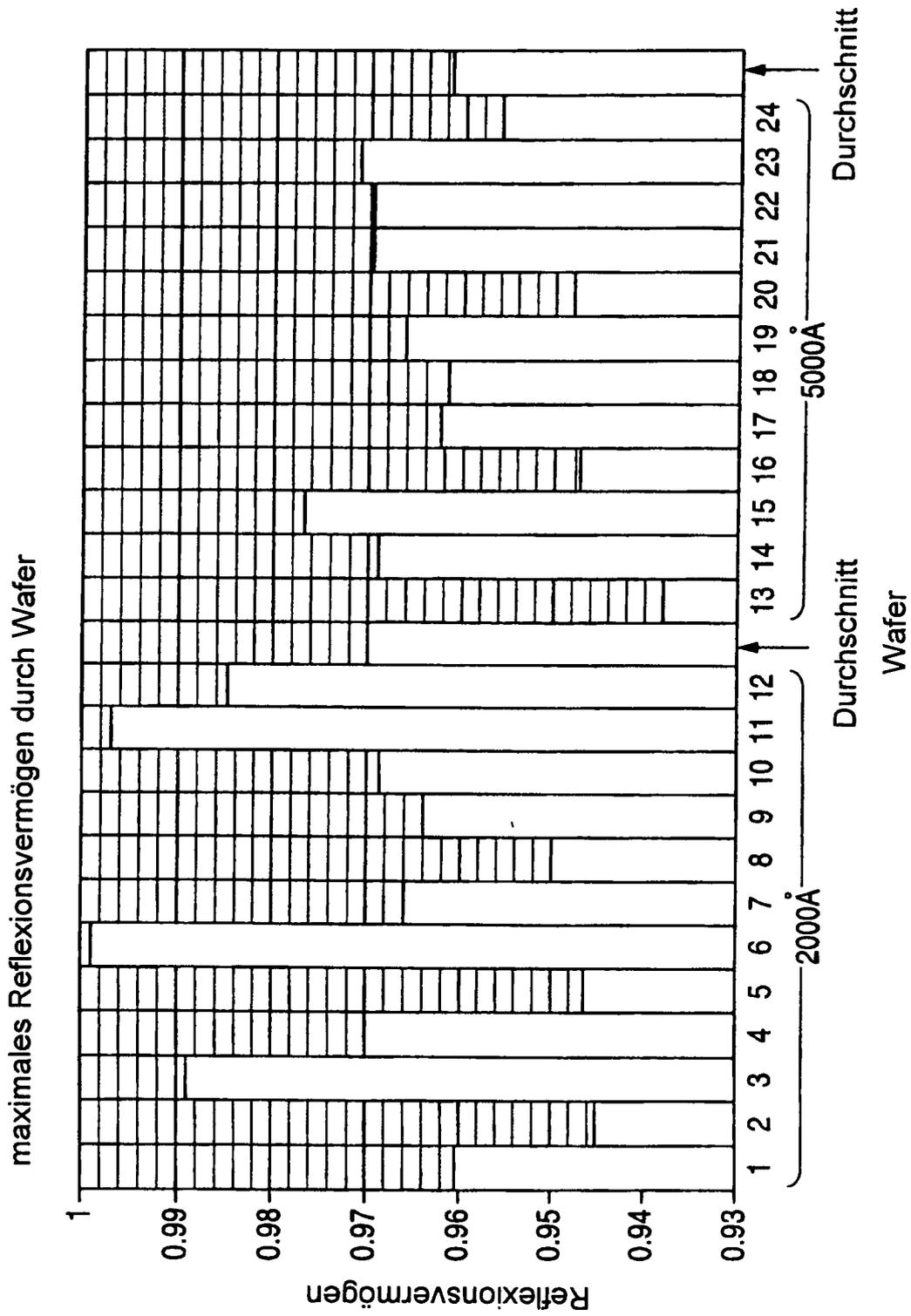


FIG. 14

Al Cu/TiN/Si-Wafer, die dem thermischen Budget (4 min bei 400°C)  
des REC-Verfahrens ausgesetzt sind, ohne Bildung der REC

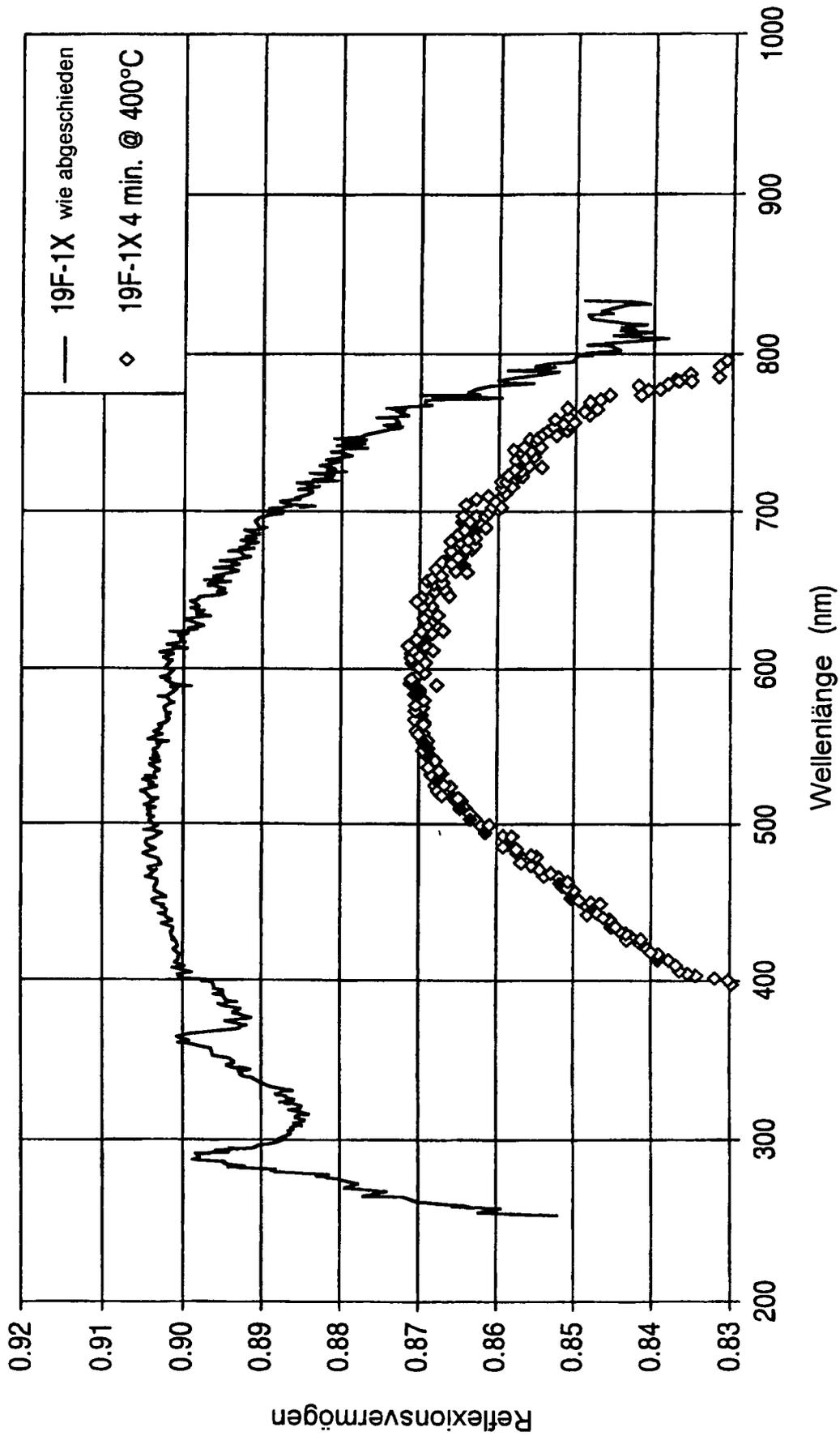
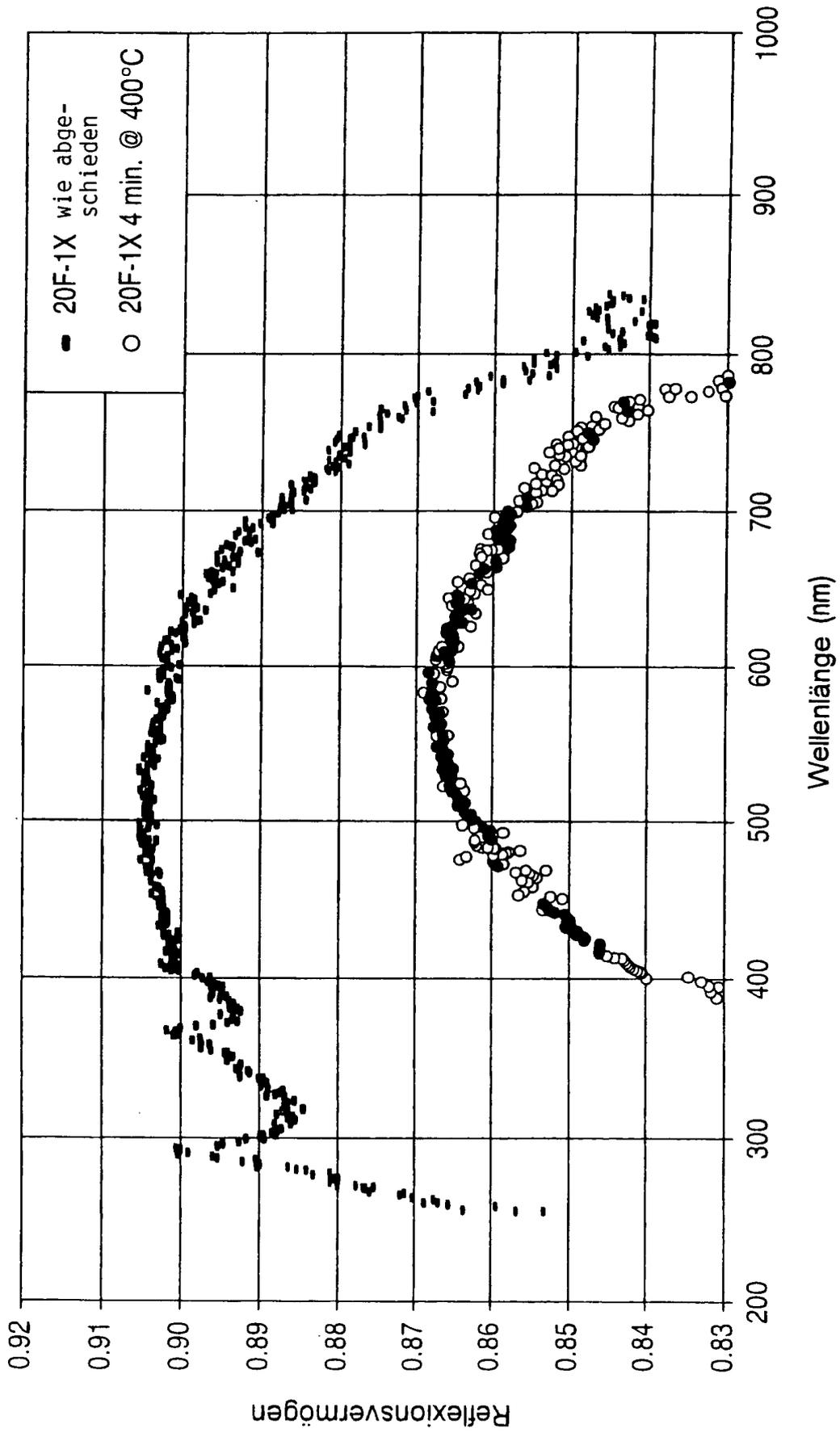


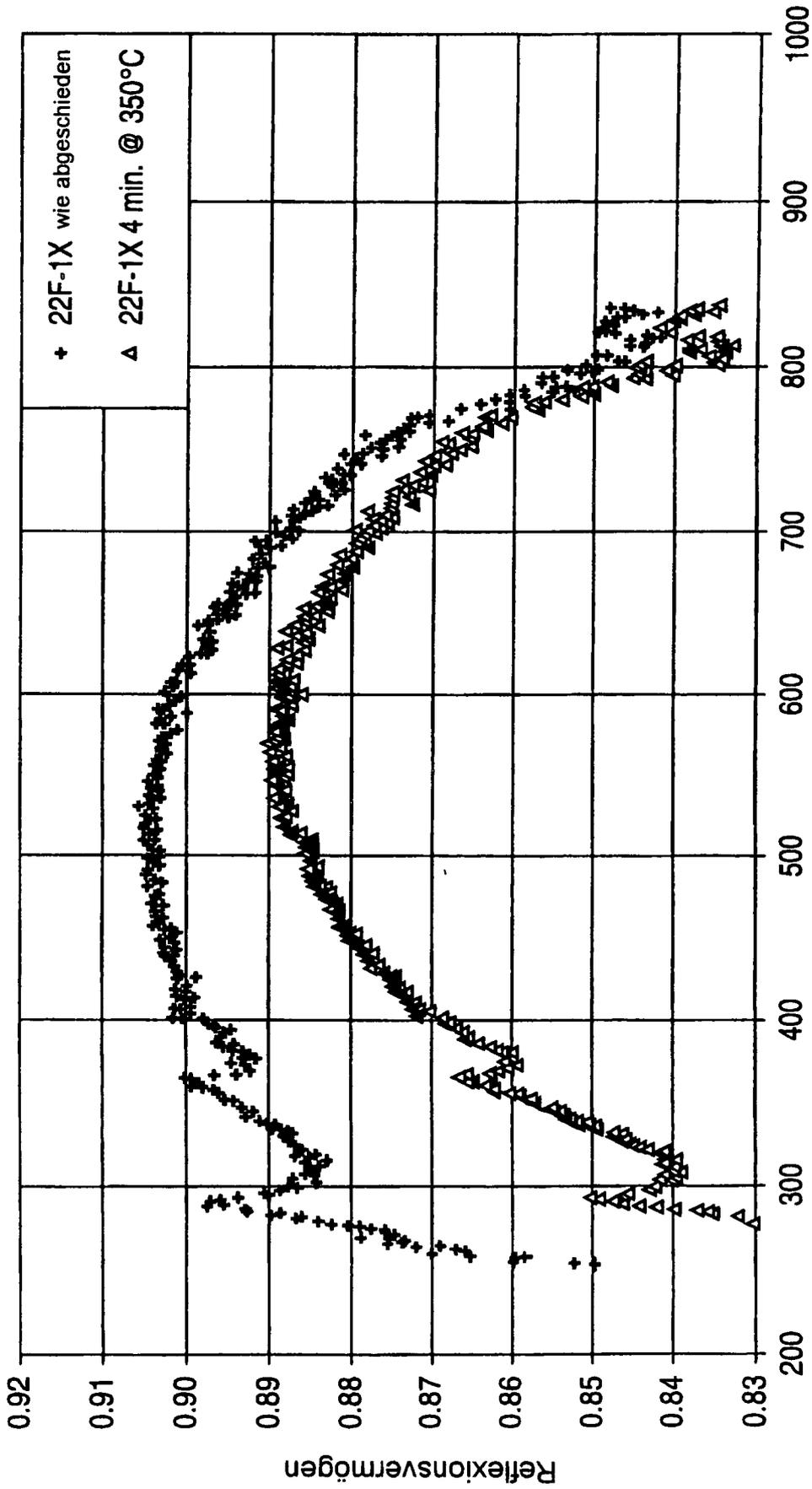
FIG.15A

AlCu/TiN/Si-Wafer, die dem thermischen Budget (4 min bei 400°C) des REC-Verfahrens ausgesetzt sind, ohne Bildung der REC



**FIG. 15B**

AlCu/TiN/Si-Wafer, die dem thermischen Budget (4 min bei 350°C) des REC-Verfahrens ausgesetzt sind, ohne Bildung der REC



Wellenlänge (nm)

**FIG. 15C**

AlCu/TiN/Si-Wafer, die dem thermischen Budget (4 min bei 300°C) des REC-Verfahrens ausgesetzt sind, ohne Bildung der REC

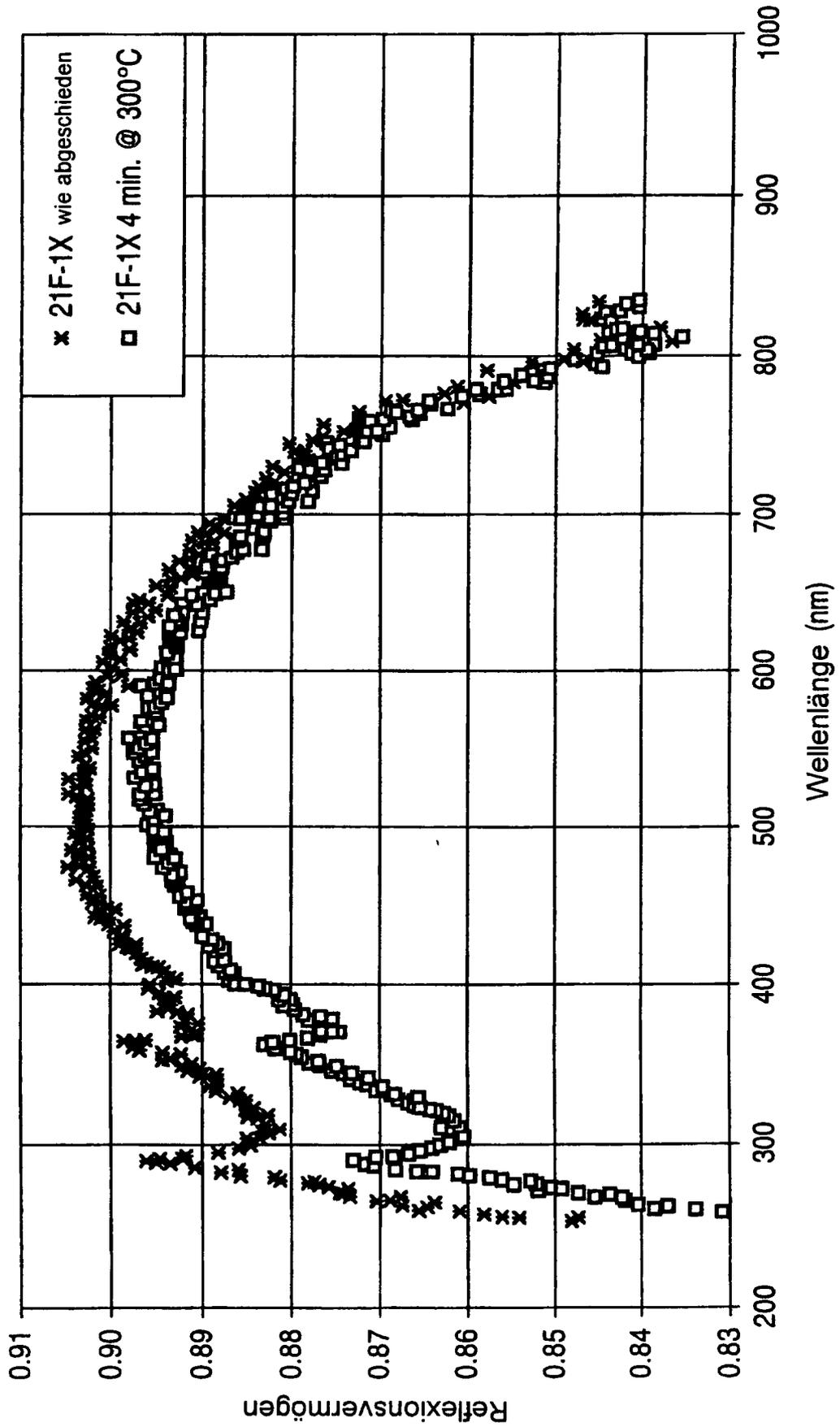


FIG. 15D

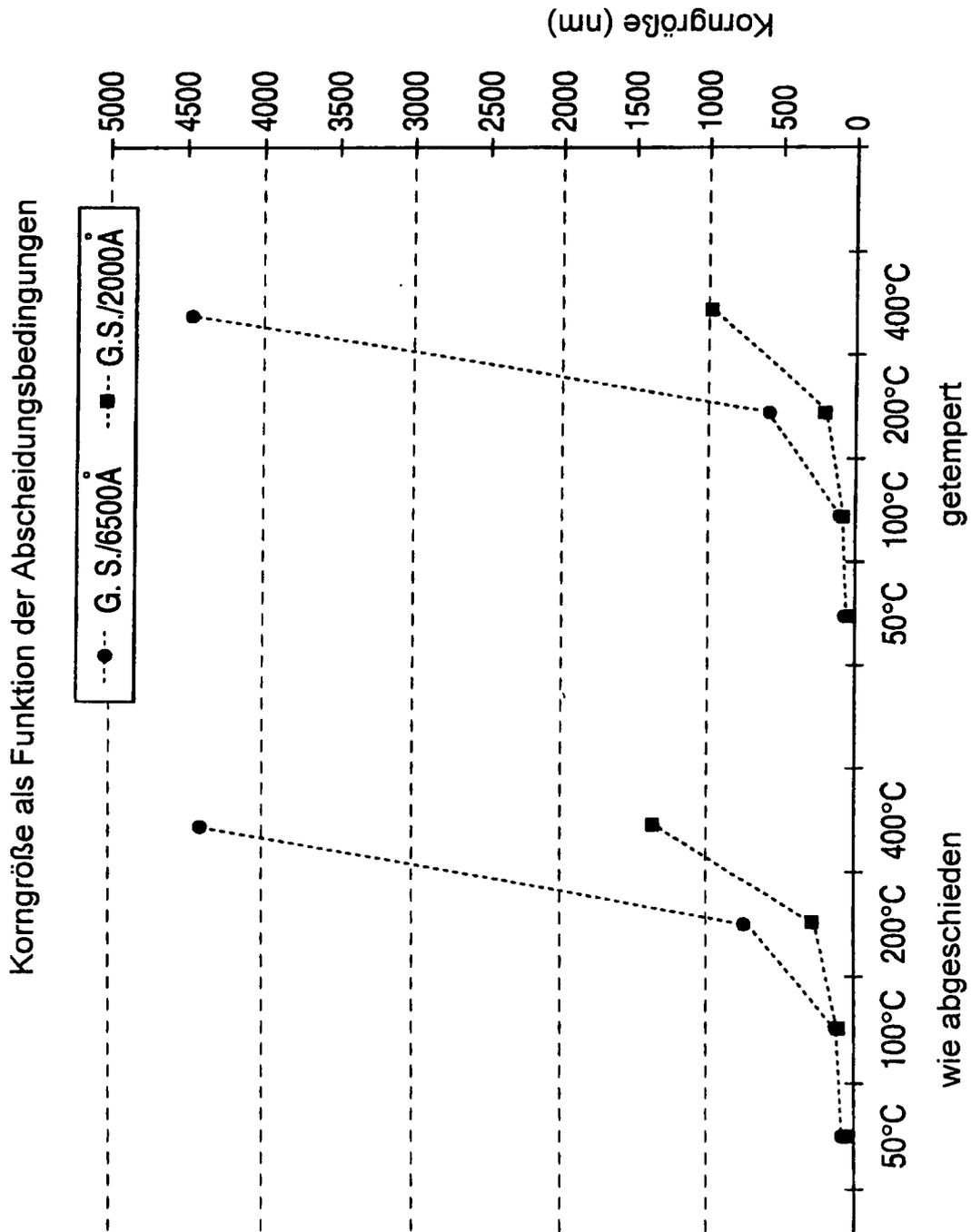


FIG. 16A

Oberflächenrauigkeit als Funktion der Abscheidungsbedingungen

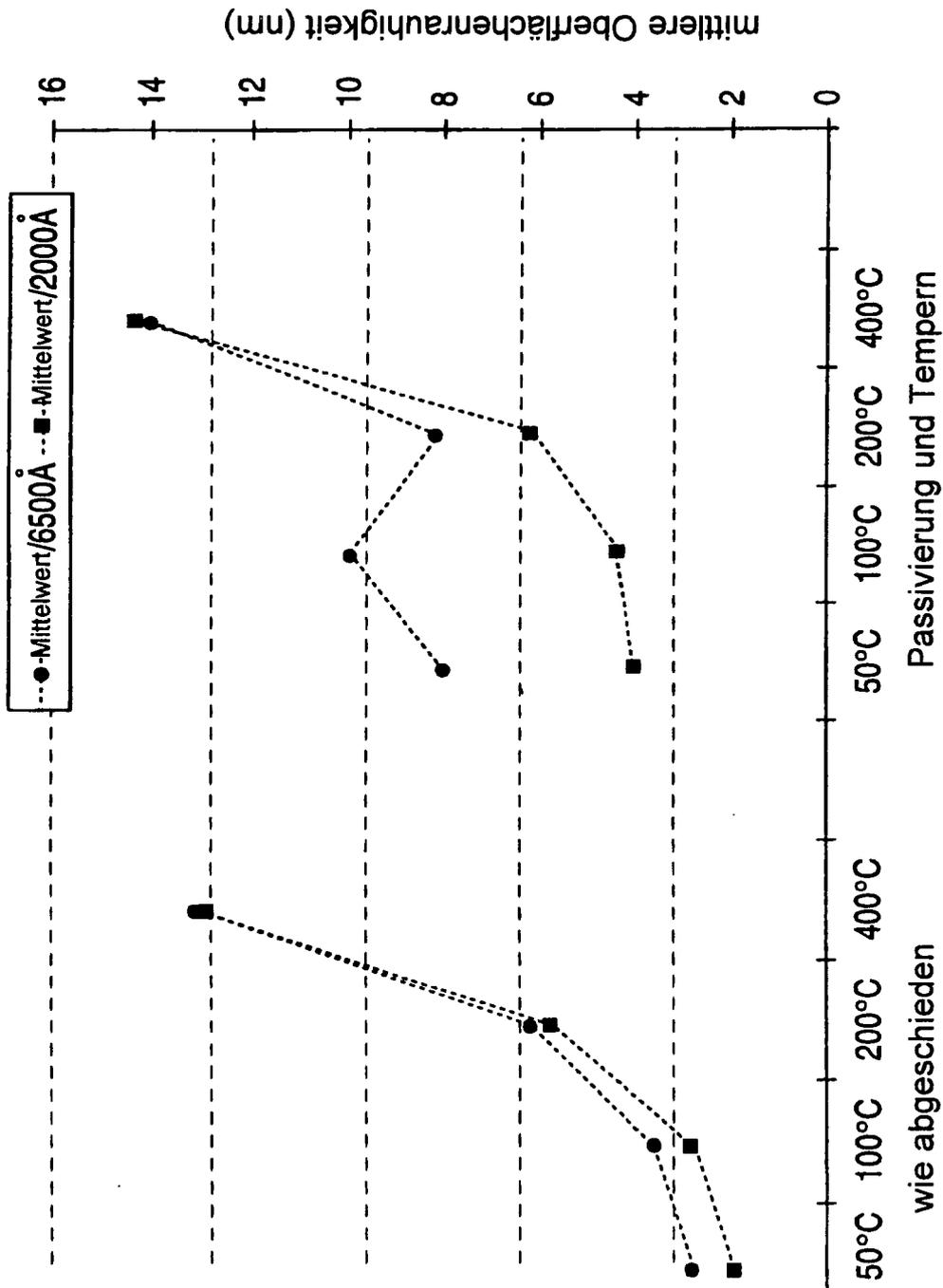
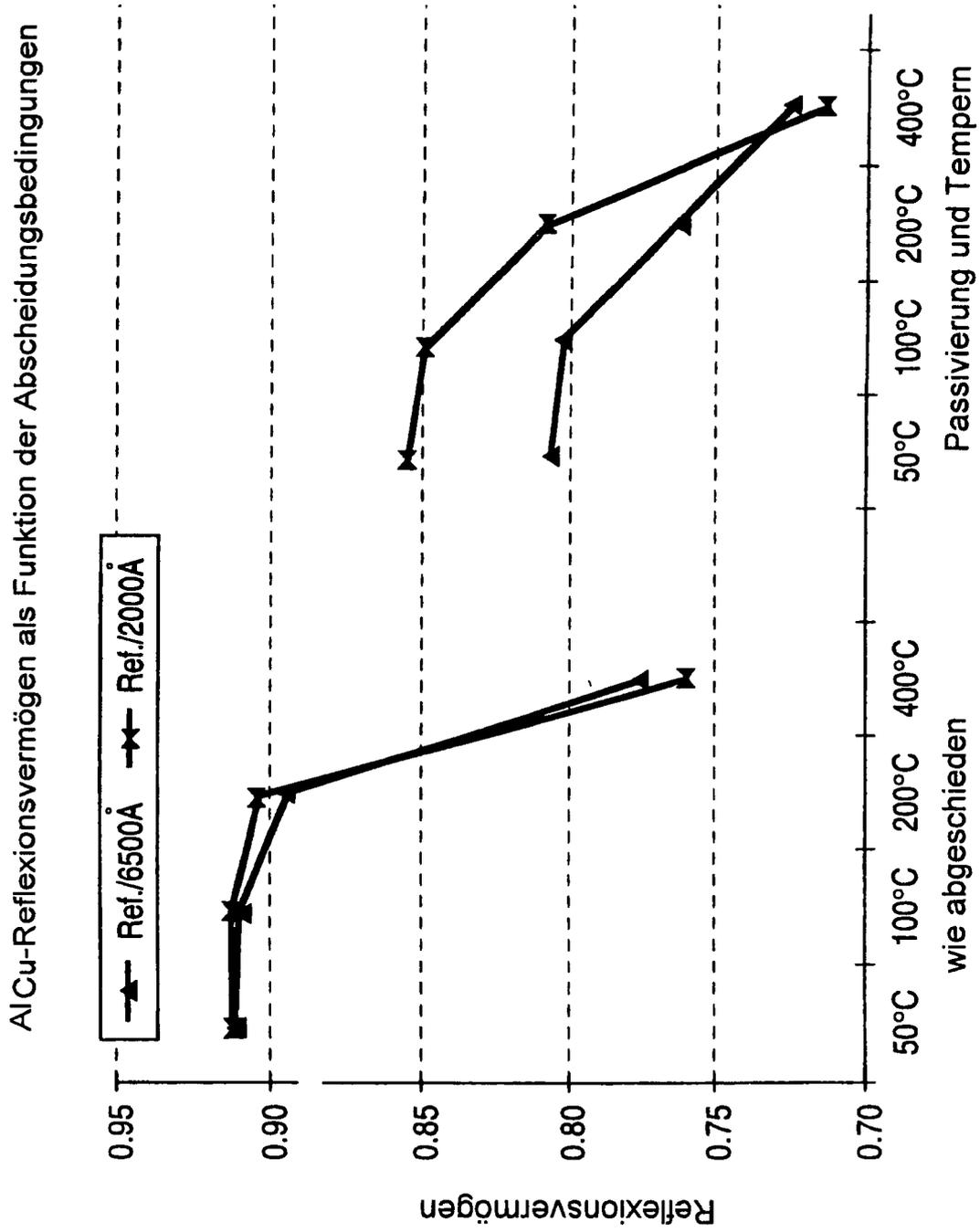
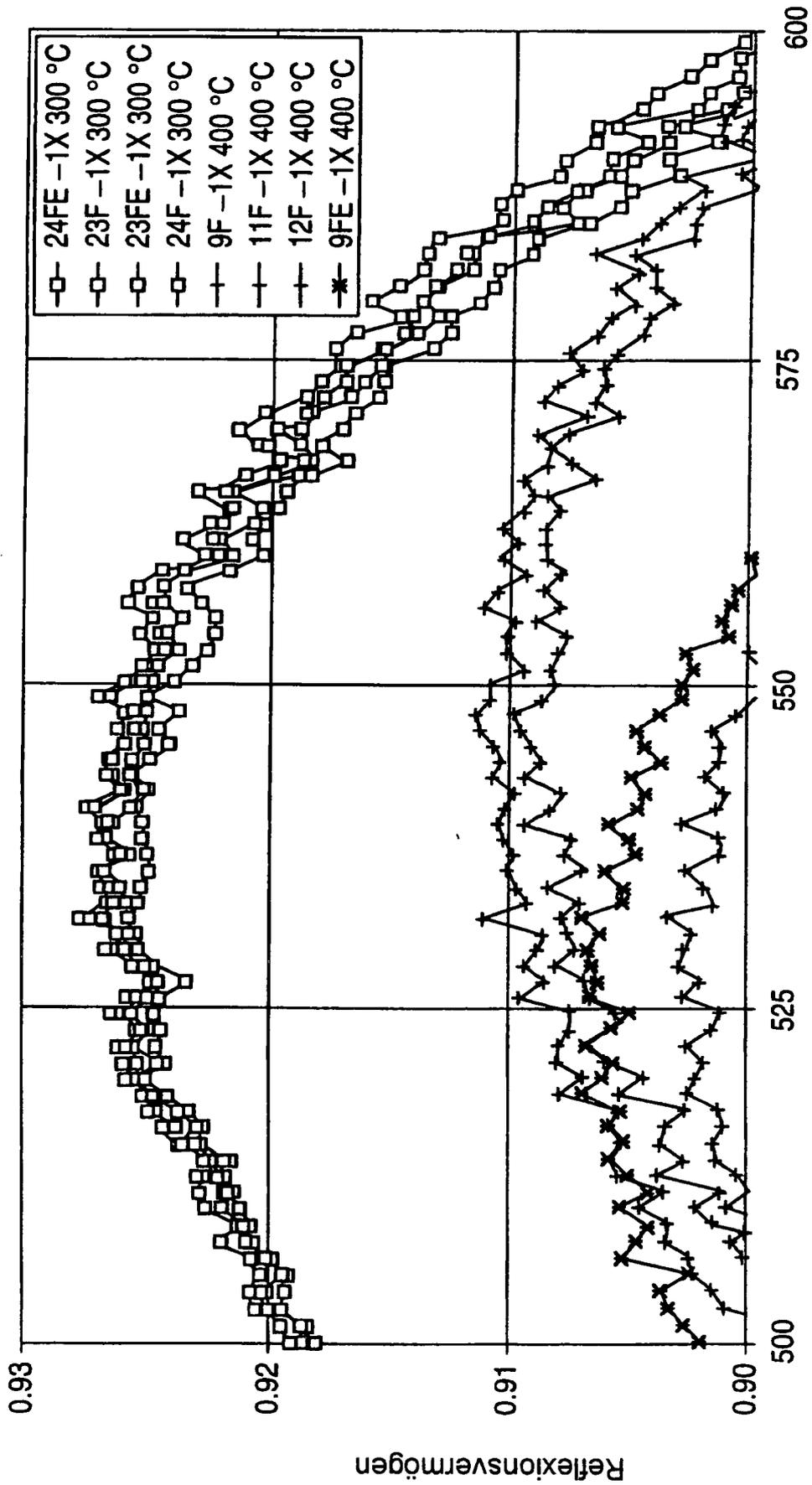


FIG. 16B



**FIG. 16C**

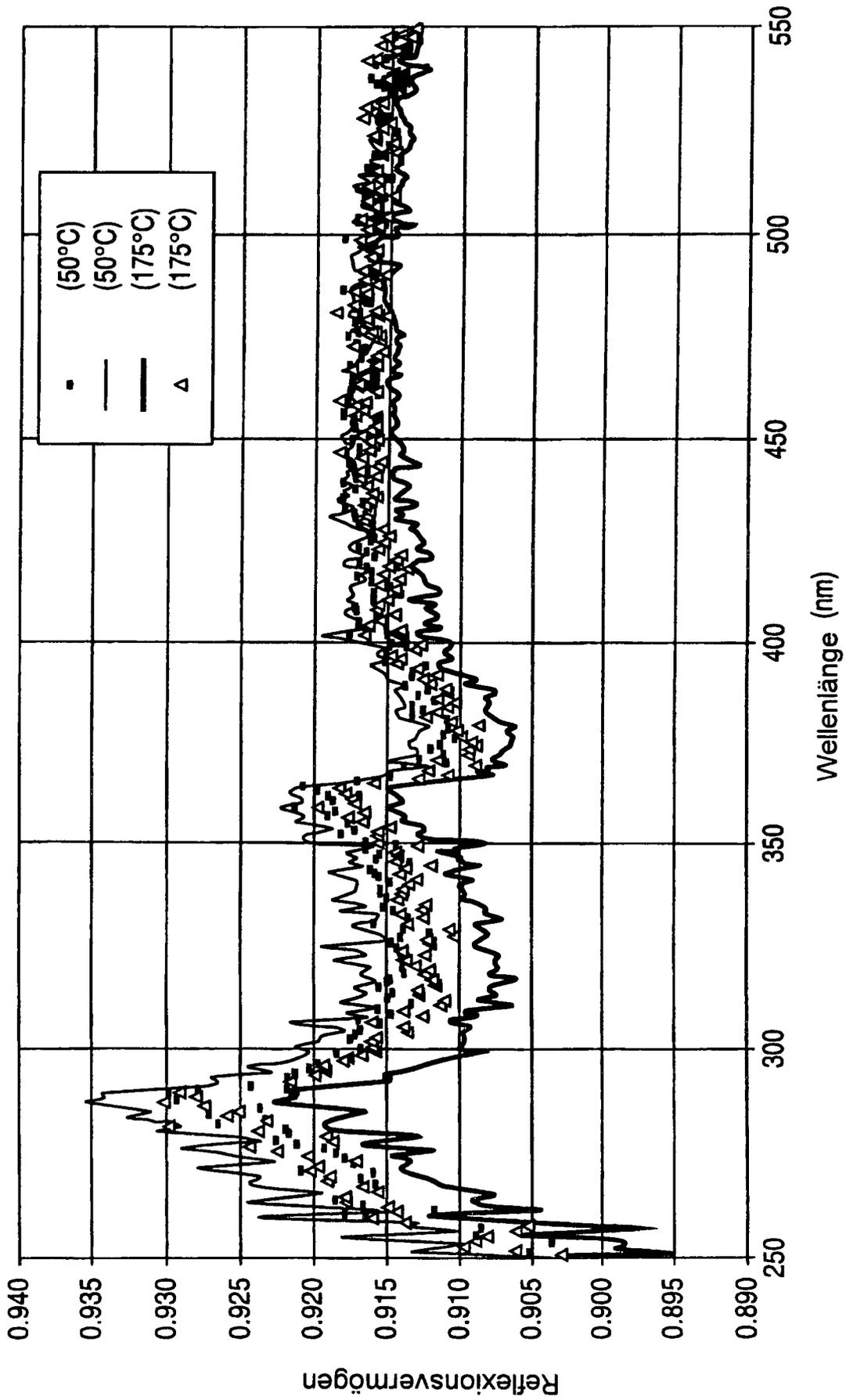
Reflexionsvermögen der Niedertemperatur-(300 °C-REC  
und der Normal-REC"(400 °C)



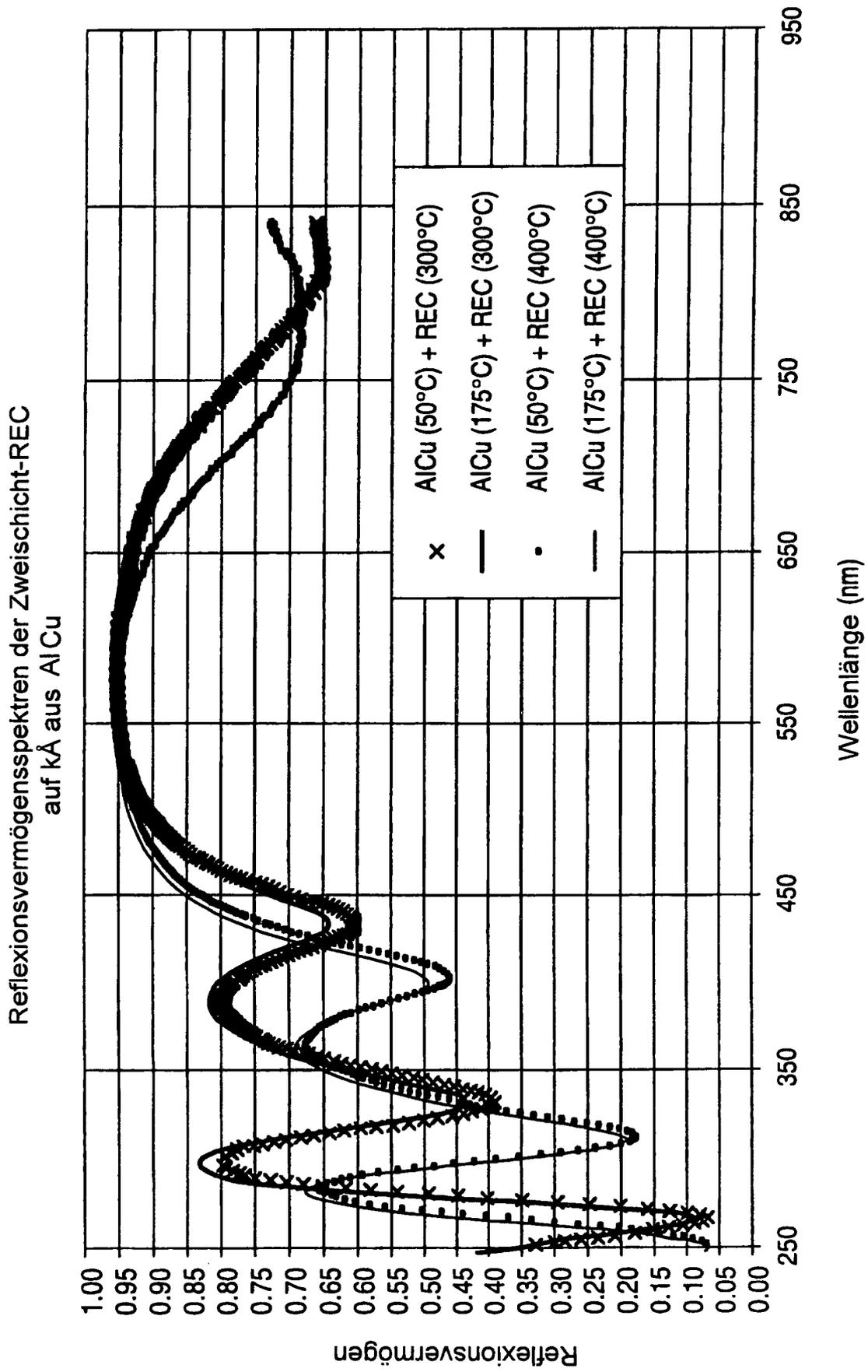
Wellenlänge (nm)

FIG. 17

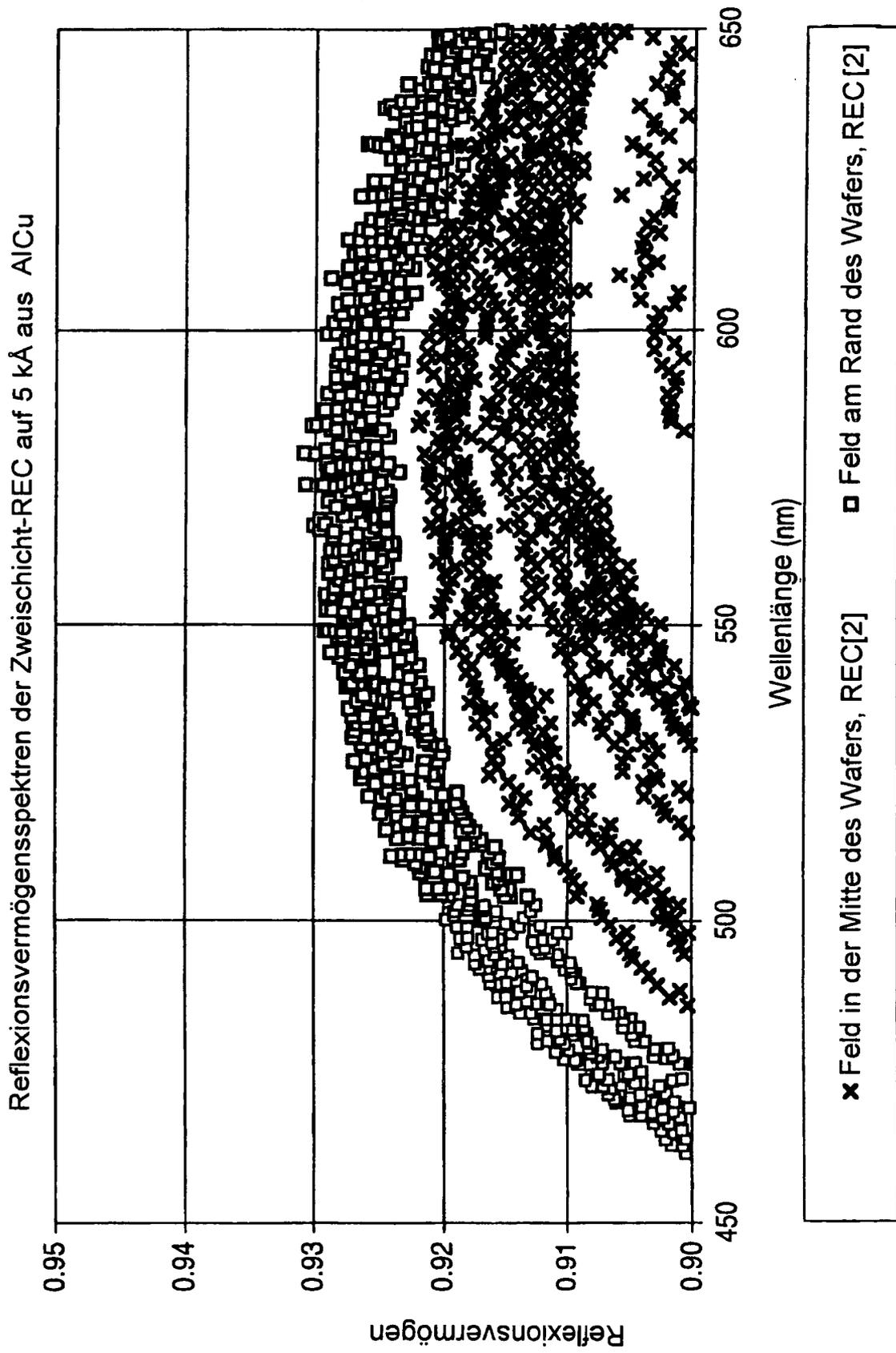
Reflexionsvermögensspektren mit Temperaturaufspaltungen  
bei der AlCu-Abscheidung



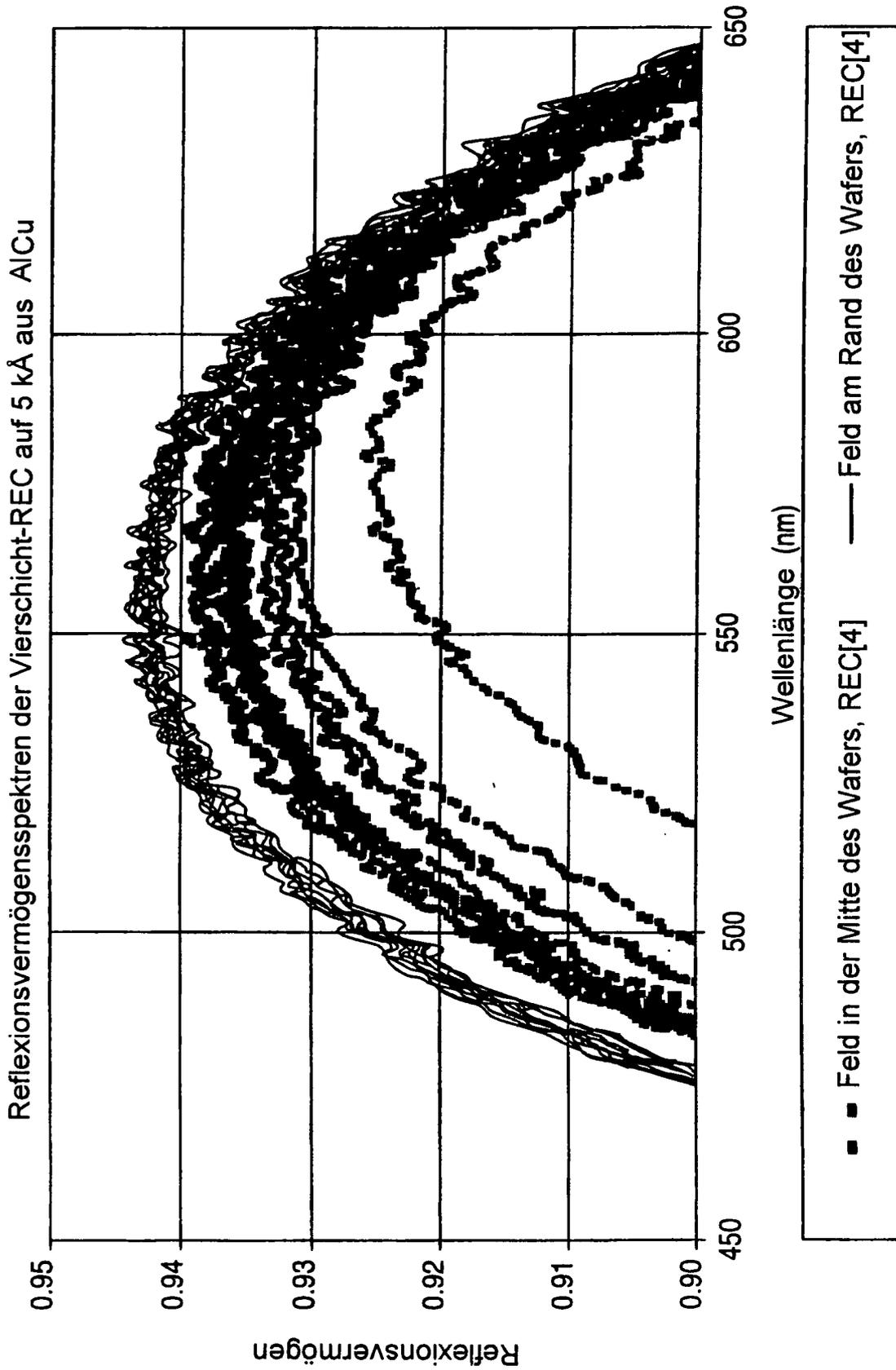
**FIG. 18**



**FIG.19**



**FIG. 20A**



**FIG. 20B**

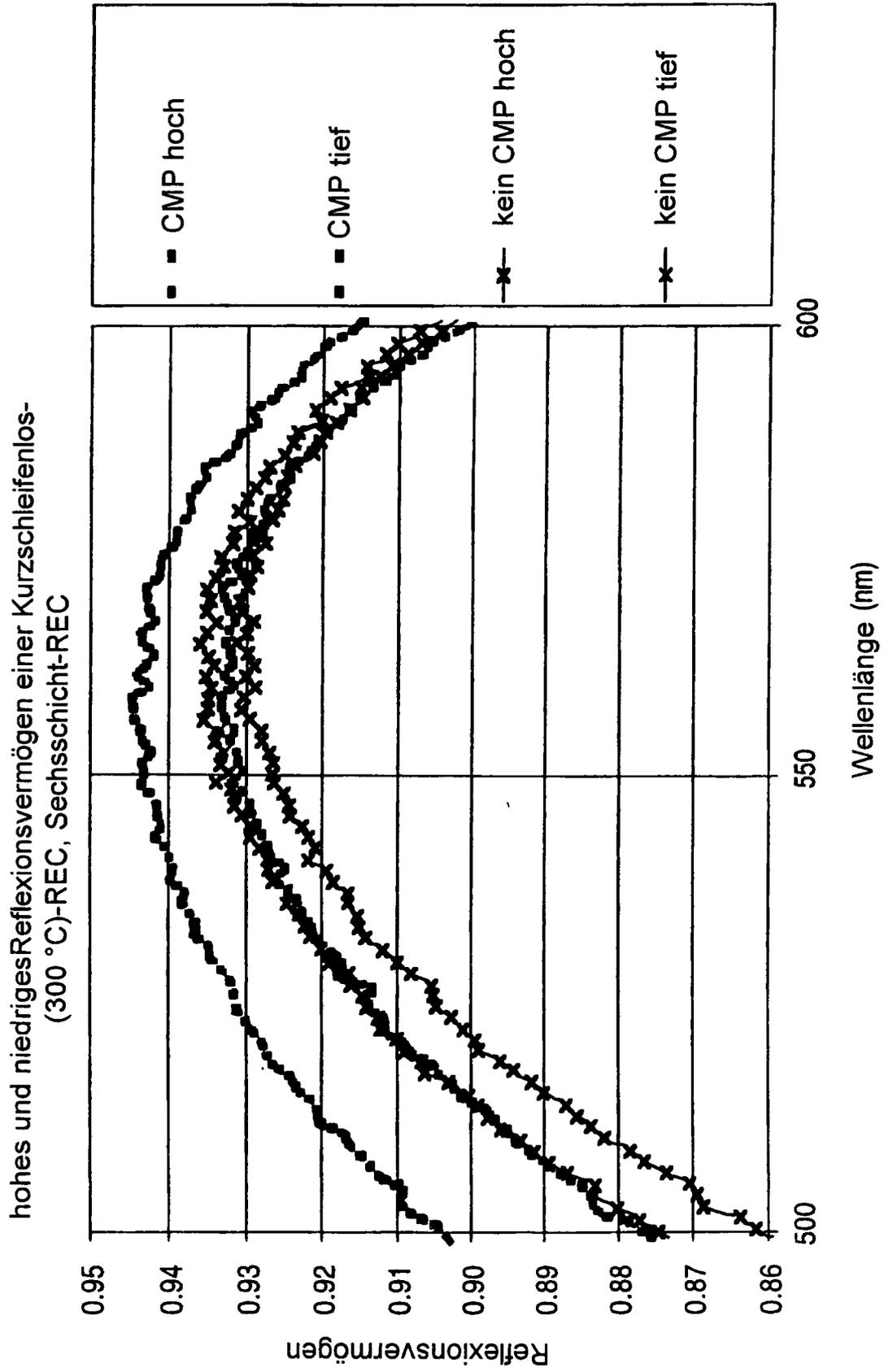


FIG. 21

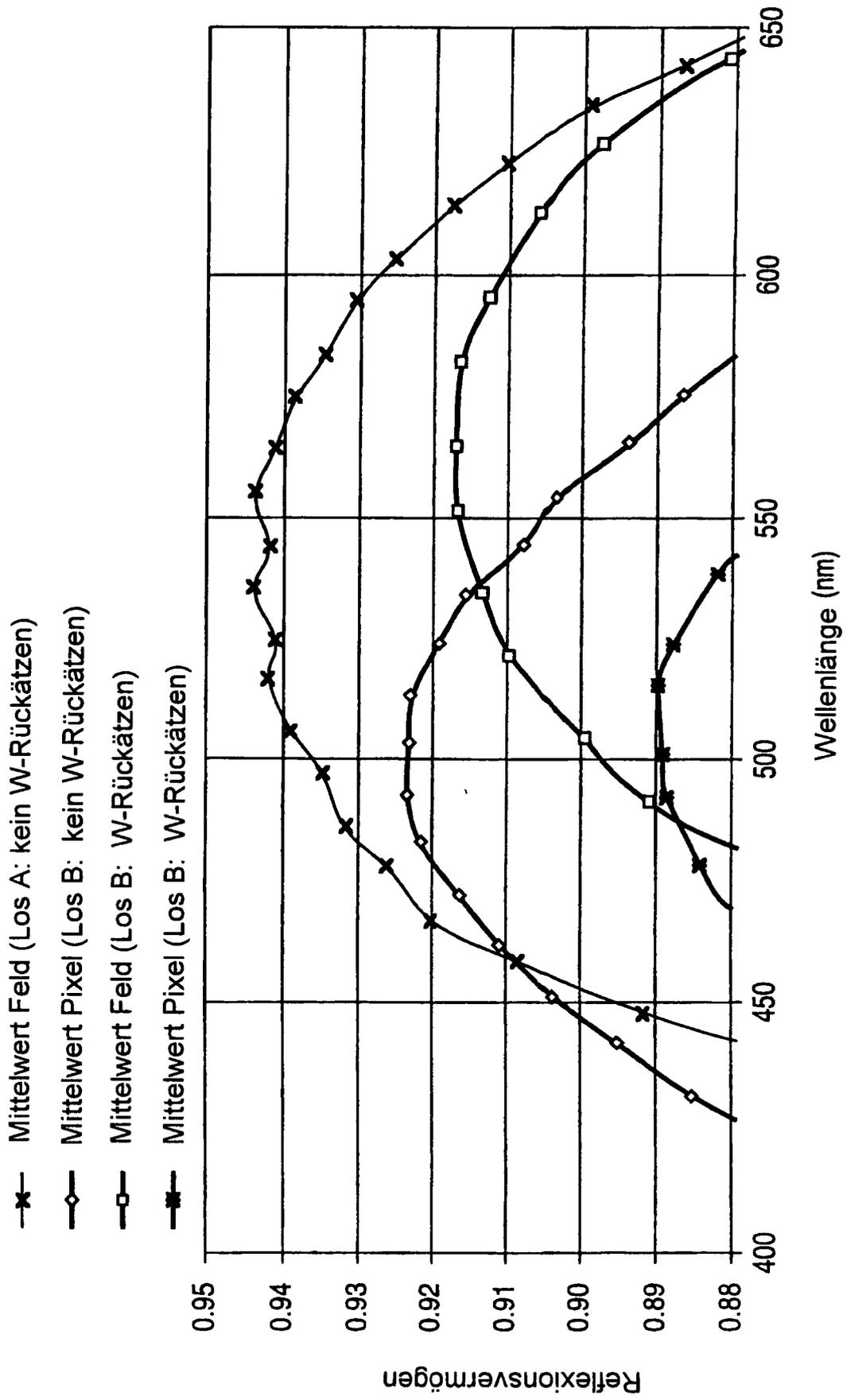


FIG. 22

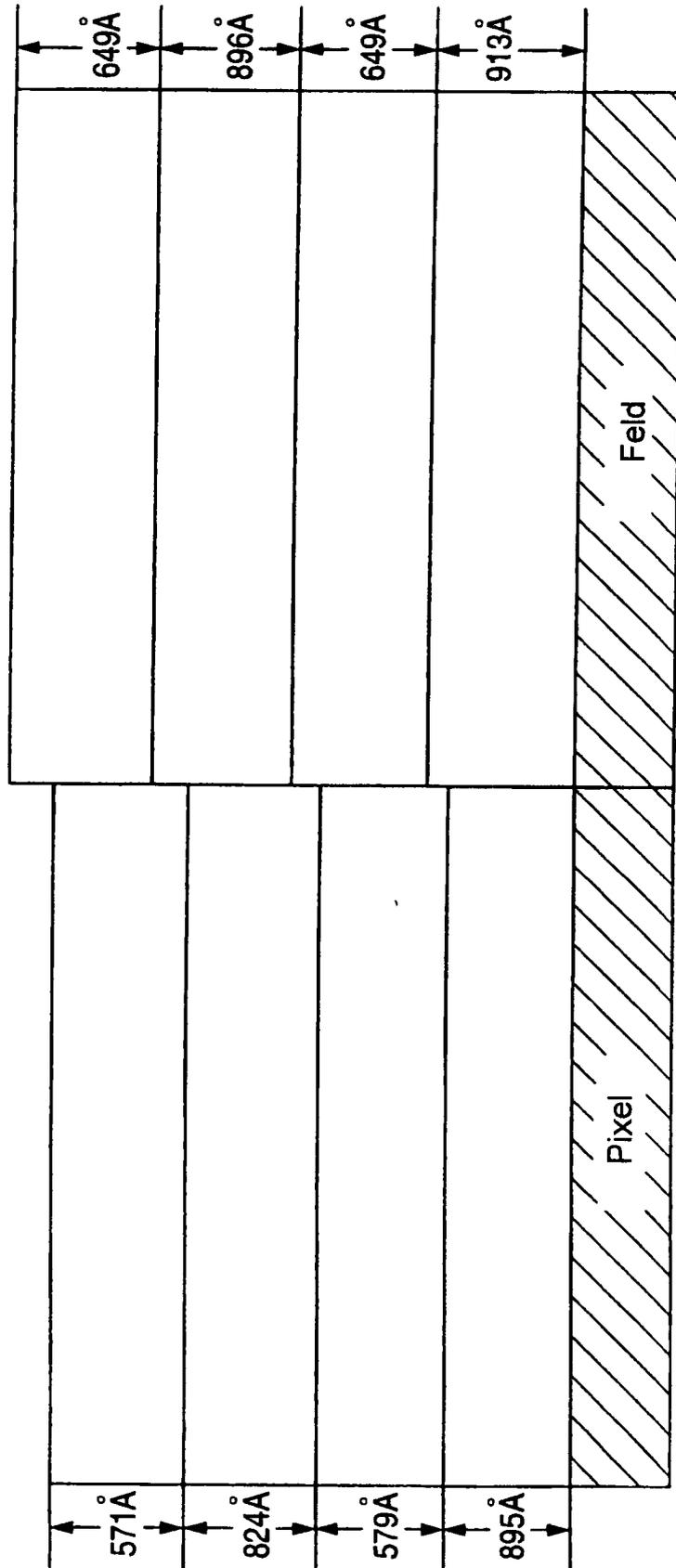
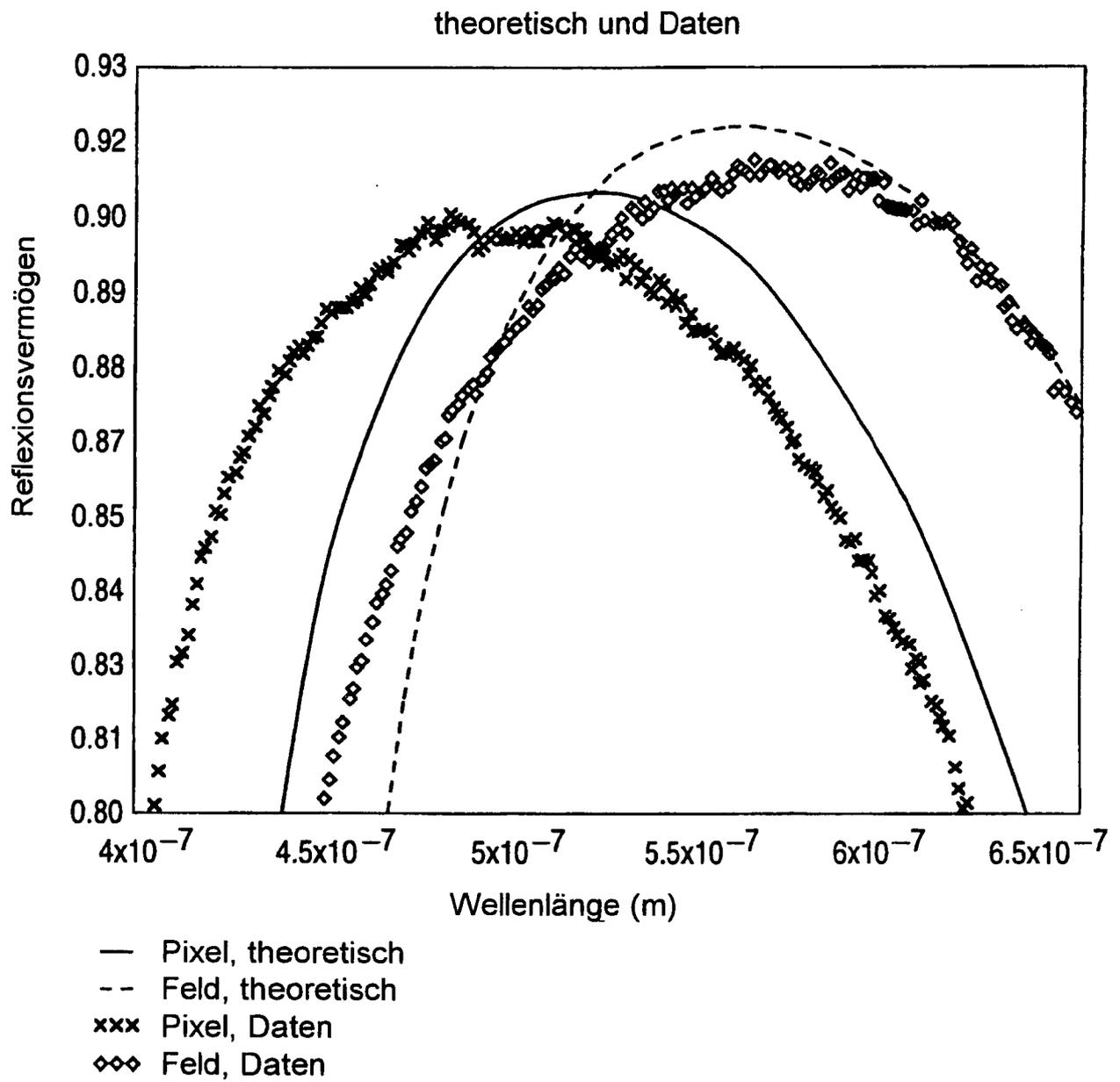
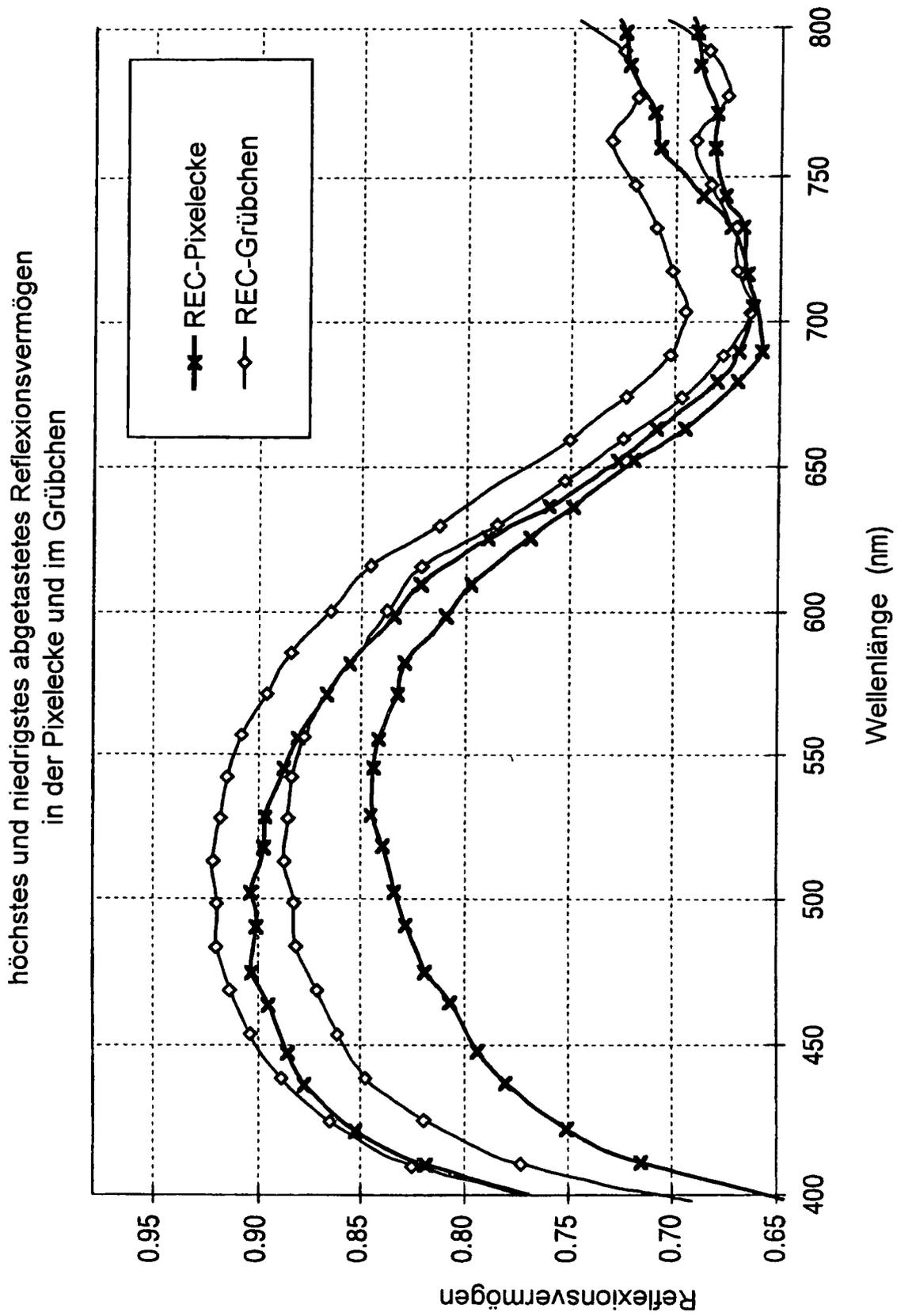


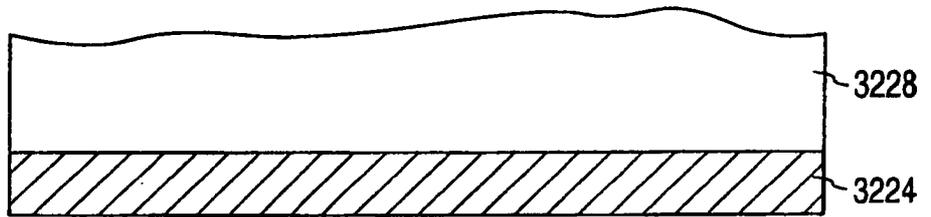
FIG. 23

**FIG. 24**

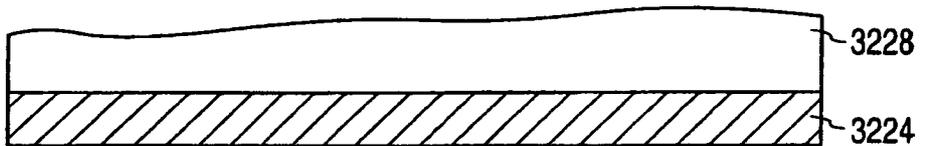


**FIG. 25**

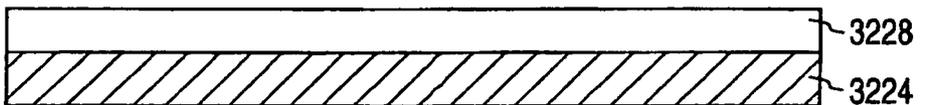
**FIG. 26A**



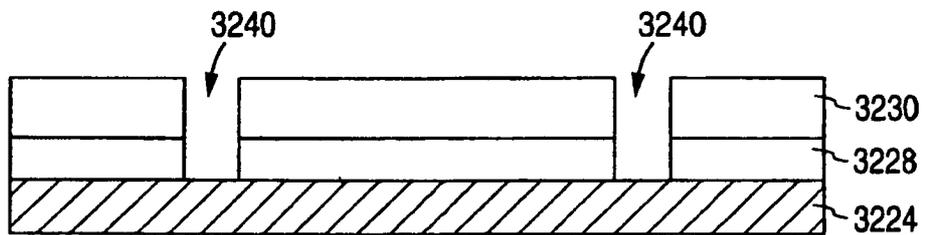
**FIG. 26B**



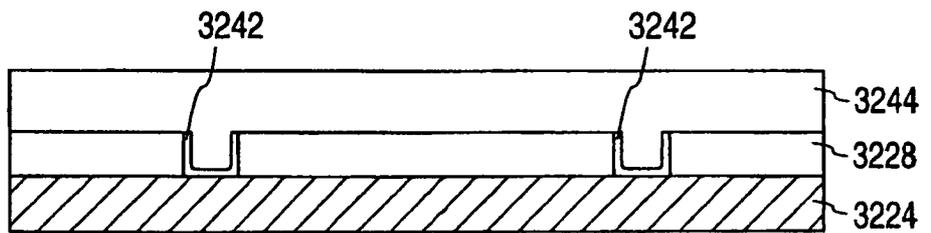
**FIG. 26C**



**FIG. 26D**



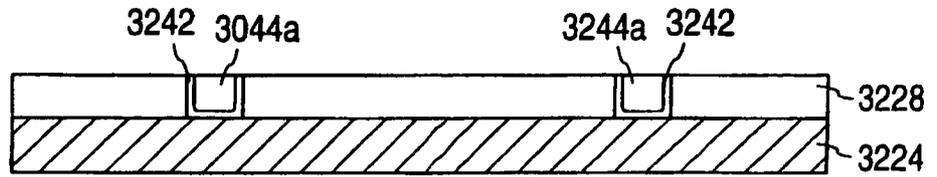
**FIG. 26E**



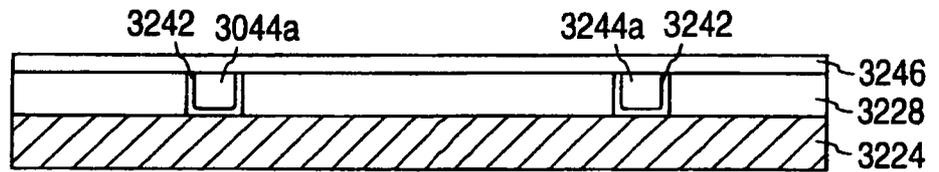
**FIG. 26F**



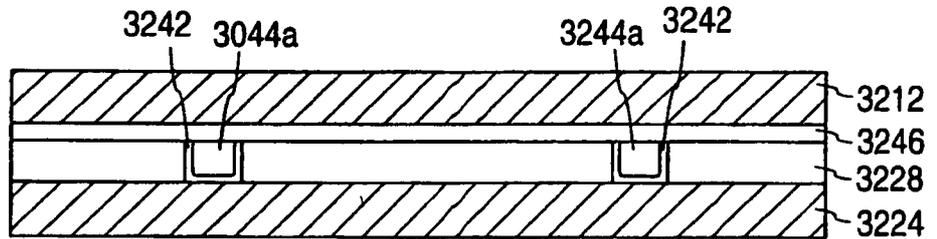
**FIG. 26G**



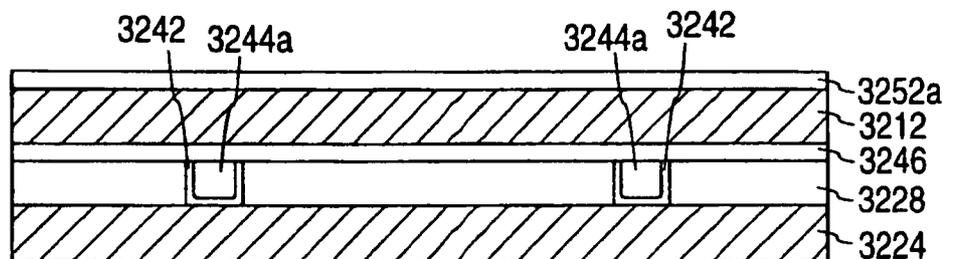
**FIG. 26H**



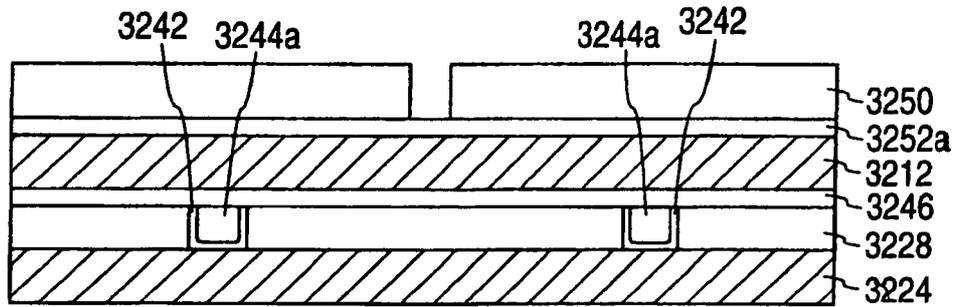
**FIG. 26I**



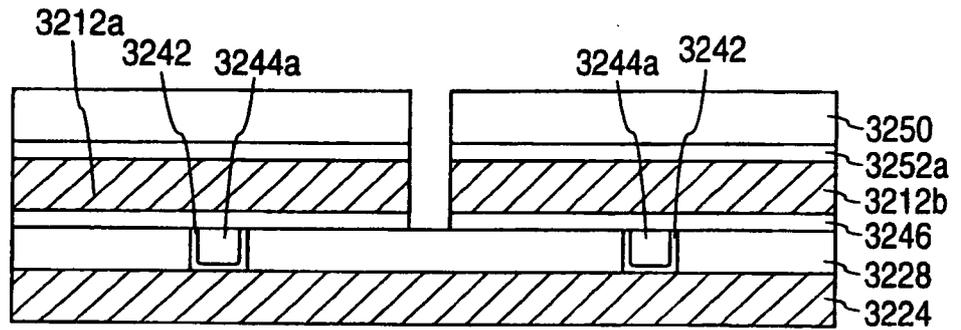
**FIG. 26J**



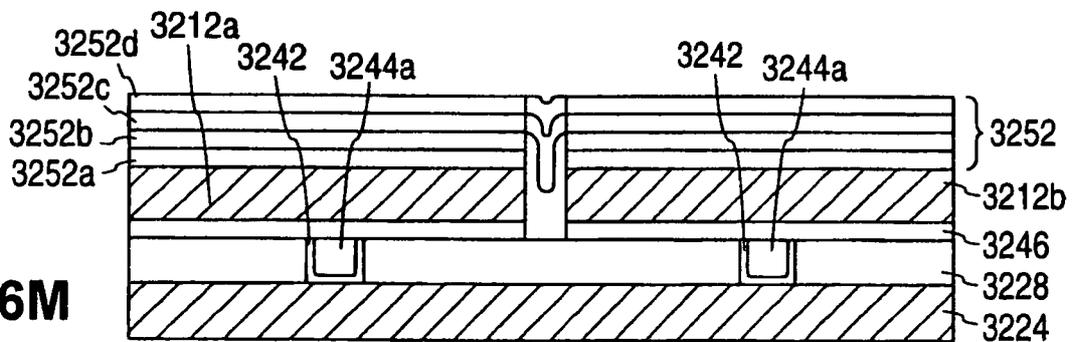
**FIG. 26K**

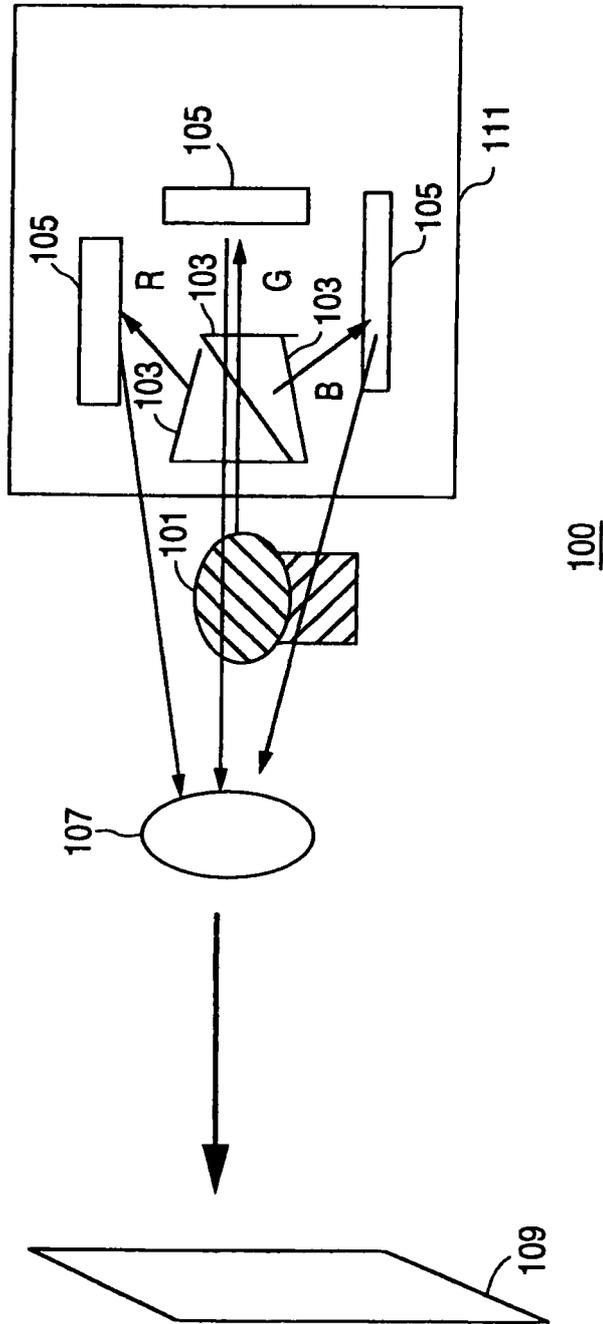


**FIG. 26L**



**FIG. 26M**





**FIG. 27**

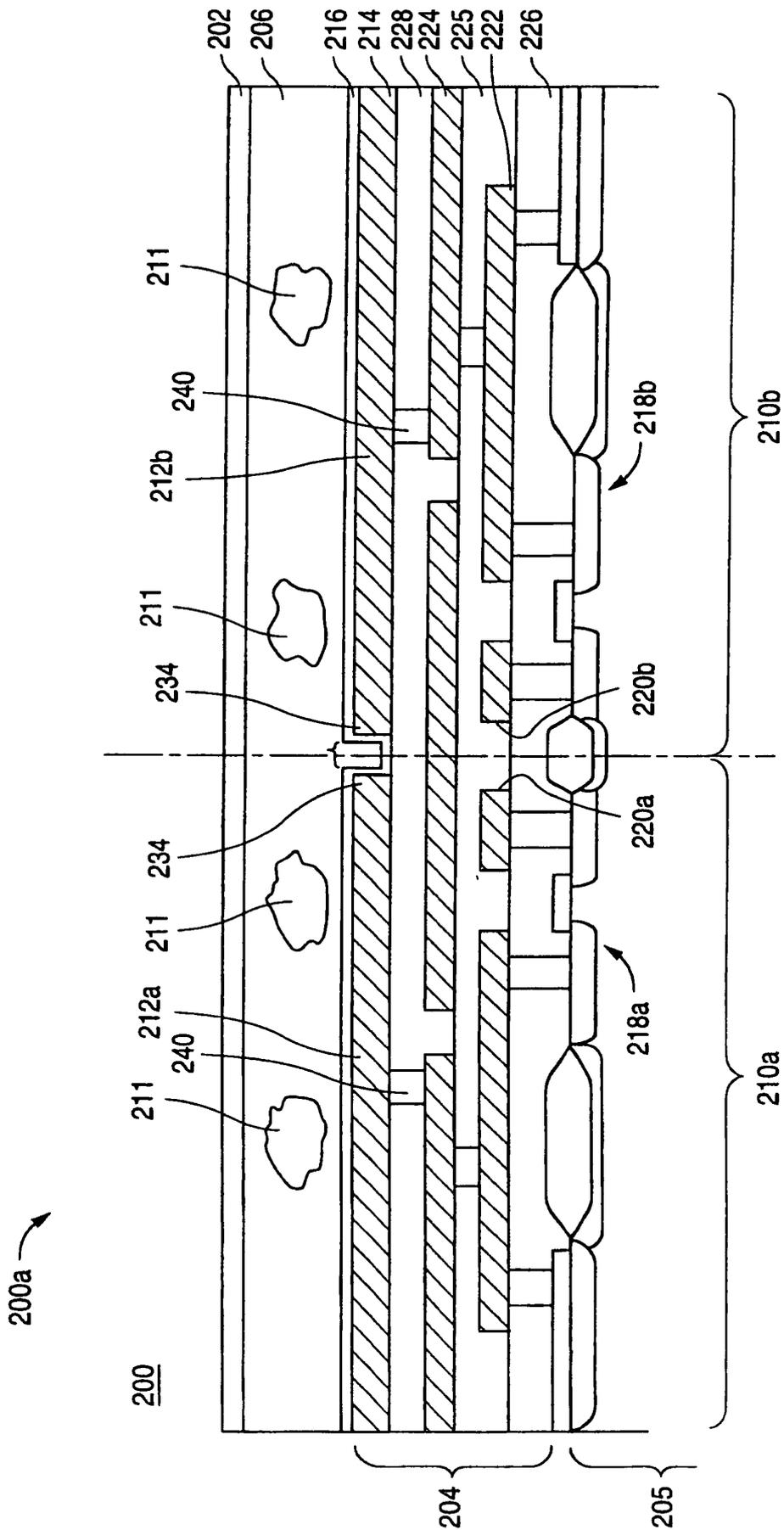
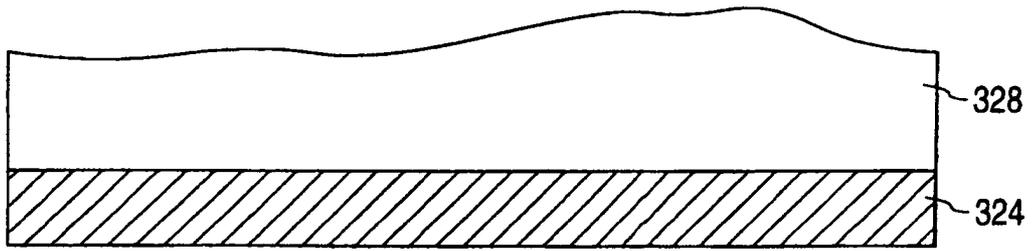
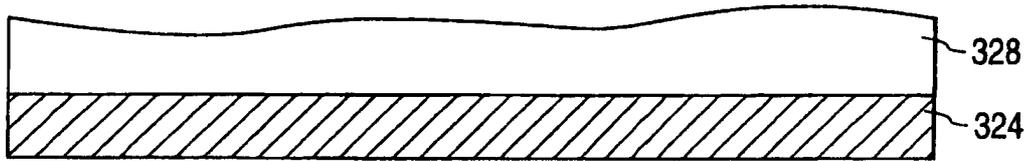


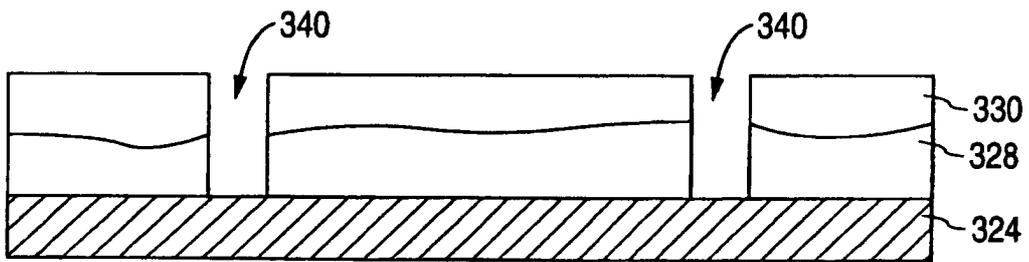
FIG. 28



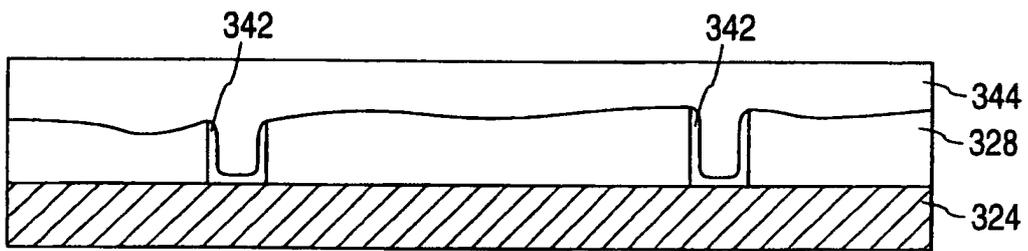
**FIG. 29A**



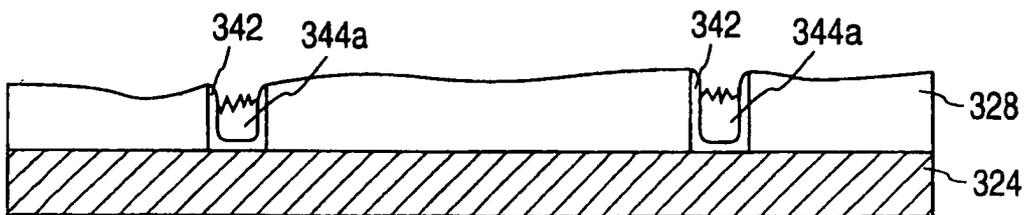
**FIG. 29B**



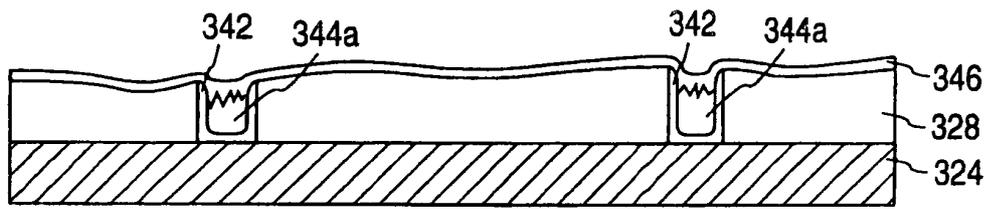
**FIG. 29C**



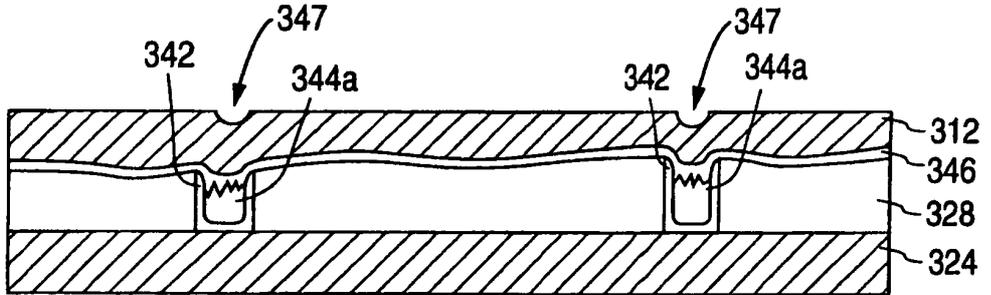
**FIG. 29D**



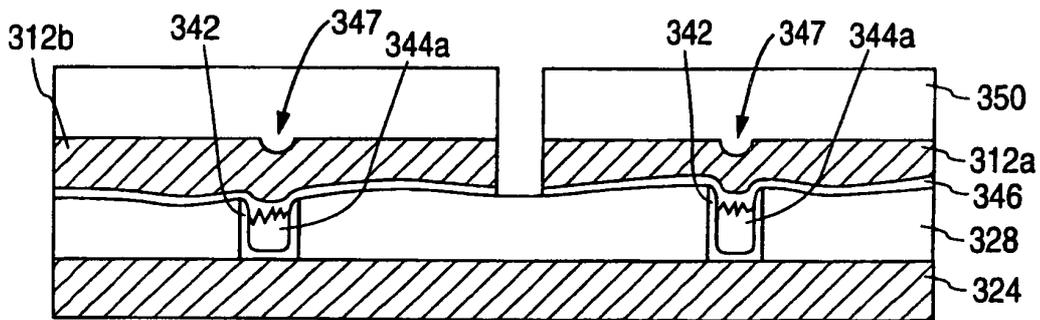
**FIG. 29E**



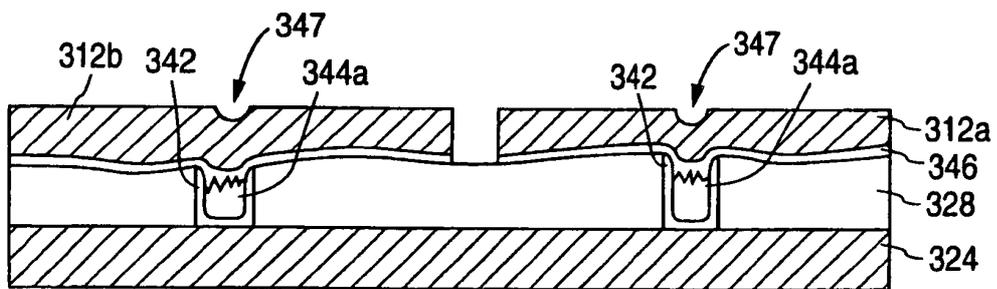
**FIG. 29F**



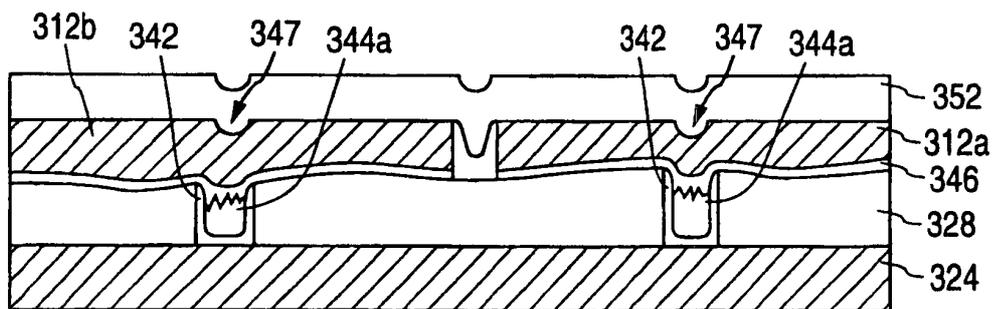
**FIG. 29G**



**FIG. 29H**



**FIG. 29I**



**FIG. 29J**