



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 26 885 T2** 2006.08.17

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 242 836 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 26 885.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/34645**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 988 198.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/050161**

(86) PCT-Anmeldetag: **21.12.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **12.07.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.09.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **22.03.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.08.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 5/30** (2006.01)

**G02B 1/02** (2006.01)

**C30B 29/12** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**471484**                      **23.12.1999**                      **US**

(73) Patentinhaber:

**ASML Holding, N.V., Veldhoven, NL**

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &  
Schwanhäusser, 80538 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB, IT, NL**

(72) Erfinder:

**MARTIN, Jay, Gene, New Haven, CT 06512, US**

(54) Bezeichnung: **SPANNUNGSDOPPELBRECHUNGSPLATTE AUS CALCIUMFLUORID (CaF<sub>2</sub>) SOWIE ZUGEHÖRIGES HERSTELLUNGSVERFAHREN**

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

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

**Beschreibung****HINTERGRUND DER ERFINDUNG****Gebiet der Erfindung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein optische Spannungsplättchen, die für die Verzögerung optischer Wellenfronten verwendet werden, und Verfahren, dieselben herzustellen.

**Verwandter Stand der Technik**

**[0002]** Viele Halbleiter-Herstellungssysteme verwenden Fotolithografiertechniken bei der Herstellung von Halbleiterwafern. Während der Herstellung werden eine oder mehrere Schichten von Schaltungsmustern auf einem Halbleiterwafer aufgebracht. Dieses wird durch Ausleuchten einer Maske mit Licht ausgeführt, wobei die Maske ein gewünschtes Schaltungsmuster enthält. Das resultierende Maskenbild wird dann auf fotosensitiven Fotolack projiziert, der den Halbleiterwafer bedeckt. Nach einer Reihe von Belichtungen und nachfolgenden Verarbeitungen ist ein Halbleiterwafer, der das gewünschte Schaltungsmuster besitzt, hergestellt.

**[0003]** Es ist gut bekannt, dass das kleinste Element, das auf dem Halbleiterwafer hergestellt werden kann, durch die optische Wellenlänge des Lichtes begrenzt ist, das in dem Ausleuchtungssystem verwendet wird. Es ist ebenso bekannt, dass die obere Grenze einer Schaltungstaktgeschwindigkeit invers mit der Größe der Halbleiterelemente variiert. Daher erfordert der Bedarf an höheren Taktgeschwindigkeiten, dass Halbleiter kleinere Schaltungselemente besitzen. Schaltungselemente von 0,25 µm (Mikrometer) sind mit Fotolithographiesystemen erreicht worden, die Lichtwellenlängen von 193 nm (Nanometer) verwenden. Um Geometrien unterhalb von 0,25 µm zu erreichen, müssen sogar noch kleinere Wellenlängen (z. B. 157 nm) verwendet werden.

**[0004]** Das Ausleuchtungssystem, das bei der Fotolithografie verwendet wird, schließt verschiedene optische Komponenten, die Licht verändern, um ein Maskenbild auf den Halbleiterwafer zu projizieren, ein. Eine verbreitete Komponente in dem Ausleuchtungssystem ist ein Plättchen für die optische Verzögerung (auch Spannungsplättchen genannt). Spannungsplättchen können verwendet werden, um eine Lichtwellenfront um einen bestimmten Betrag zu verzögern oder zu retardieren. Spannungsplättchen können ebenso verwendet werden, um die Polarisation von Licht von einer Polarisation zu einer anderen zu ändern. Zum Beispiel konvertiert ein 1/4 (Viertel) Wellen-Spannungsplättchen, das gegenüber dem einfallenden Licht um 45° gedreht ist, linear polarisiertes Licht in zirkular polarisiertes Licht und umge-

kehrt. In einem weiteren Beispiel wird horizontal polarisiertes Licht in vertikal polarisiertes Licht durch Verwendung eines 1/4-Wellen-Spannungsplättchens und eines Spiegels konvertiert. Dieses geschieht dadurch, dass das horizontal polarisierte Licht durch das 1/4-Wellen-Spannungsplättchen gestrahlt wird, um zirkular polarisiertes (CP-) Licht zu erzeugen. Das CP-Licht wird dann von dem Spiegel reflektiert, um die CP-Polarisation umzukehren. Schließlich wird das reflektierte CP-Licht durch das 1/4-Wellen-Spannungsplättchen zurück geschickt, um vertikal polarisiertes Licht zu erzeugen.

**[0005]** Damit ein Spannungsplättchen wie gewünscht funktioniert, muss es aus einem Material hergestellt sein, das hinreichend viel Licht der gewünschten Wellenlänge durchlässt. Herkömmliche Spannungsplättchen sind aus Quarzglas oder künstlichem Quarz hergestellt. Diese herkömmlichen Materialien lassen Licht bei Wellenlängen unterhalb von 193 nm nicht hinreichend durch. Wie oben bemerkt, ist das kleinste Element, das auf dem Halbleiterwafer hergestellt werden kann, durch die optische Wellenlänge des Lichts beschränkt, das in dem System verwendet wird. Als solches kann ein fotolithografisches System, das herkömmliche Spannungsplättchen verwendet, Elemente herstellen, die nicht kleiner als ungefähr 0,25 µm sind. Daher besteht ein Bedarf an einem Spannungsplättchen, das bei optischen Wellenlängen arbeitet, die unterhalb von 193 nm (einschließlich 157 nm) liegen, um die Herstellung von Halbleiterwafern zu unterstützen, die Schaltungselemente aufweisen, die kleiner als 0,25 µm sind.

**[0006]** Die US 3600611 offenbart ein Spannungsplättchen, das CaF<sub>2</sub> umfasst.

**Zusammenfassung der Erfindung**

**[0007]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein optisches Calciumfluorid (CaF<sub>2</sub>)-Spannungsplättchen und ein Verfahren für die Herstellung desselben, wie in den angehängten Ansprüchen definiert.

**[0008]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sowie die Struktur und Arbeitsweise verschiedener Ausführungsformen der Erfindung werden unten ausführlich mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben. Die Zeichnung, in der ein Element zuerst auftritt, wird typischerweise durch das Zeichen (die Zeichen) und/oder die Zahlen) ganz links in dem entsprechenden Bezugszeichen angezeigt.

**Kurze Beschreibung der Figuren**

**[0009]** Die vorliegende Erfindung wird mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, in denen:

**[0010]** **Fig. 1** eine Zeichnung eines Ausleuchtungs-

systems veranschaulicht, das eine beispielhafte Ausführung für die vorliegende Erfindung darstellt;

[0011] [Fig. 2A](#) ein  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchen gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0012] [Fig. 2B](#) eine kubisch-flächenzentrierte Kristallstruktur für  $\text{CaF}_2$  veranschaulicht;

[0013] [Fig. 3](#) ein Flussdiagramm **300** für die Herstellung eines  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchens unter Verwendung von Kompressions- und/oder Zugkräften gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0014] [Fig. 4](#) eine Probe von unverarbeitetem  $\text{CaF}_2$ , die entlang von Bruchebenen orientiert ist, die ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen enthält, das entlang kubischer Ebenen orientiert ist, gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0015] [Fig. 5](#) ein Flussdiagramm **500** für die Verarbeitung einer Probe von  $\text{CaF}_2$ , um ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen herzustellen, das entlang kubischer Ebenen orientiert ist, zu erzeugen, gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0016] [Fig. 6A](#) ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen, das entlang der kubischen Ebenen orientiert ist, gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0017] [Fig. 6B–Fig. 6G](#) verschiedene Kombinationen der Anwendung von Kompressions- und/oder Zugkräften senkrecht zu kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen, um eine gewünschte optische Verzögerung zu erzeugen, gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulichen;

[0018] [Fig. 7](#) ein Messsystem **700** zum Messen eines 90-Grad-Spannungsplättchens gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0019] [Fig. 8](#) ein Flussdiagramm **800** zur Herstellung eines  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchens unter Verwendung von Scherkräften gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0020] [Fig. 9](#) ein Flussdiagramm **900** für die Verarbeitung einer Probe von  $\text{CaF}_2$  zum Herstellen eines  $\text{CaF}_2$ -Plättchens, das mechanische Flächen aufweist, die um 45 Grad um die Transmissionsachse relativ zu den kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen gedreht sind, gemäß Ausführungsformen der Erfindung veranschaulicht;

[0021] [Fig. 10A](#) ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen veranschaulicht, das mechanische Flächen aufweist, die um 45 Grad relativ zu den kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen gedreht

sind; und

[0022] [Fig. 10B–Fig. 10C](#) verschiedene Ausführungsformen für das Anwenden von Scherkräften entlang (oder benachbart zu) kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen, um eine optische Verzögerung zu implementieren, gemäß Ausführungsformen der Erfindung veranschaulichen.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

### 1. Beispielumgebung

[0023] Vor einer ausführlichen Beschreibung der Erfindung ist es nützlich, eine Beispielumgebung der Erfindung zu beschreiben. Eine Beschreibung dieser Beispielumgebung wird lediglich aus Gründen der Einfachheit bereitgestellt und ist nicht als eine irgend geartete Einschränkung der Erfindung gedacht. In der Tat wird es nach dem Lesen der Erfindungsbeschreibung für den in dem verwandten Stand der Technik ausgebildeten Fachmann deutlich werden, wie die Erfindung in zu der hier beschriebenen alternativen Umgebungen zu implementieren ist.

[0024] [Fig. 1](#) veranschaulicht eine Beispielumgebung, die ein Ausleuchtungssystem **100** zum Fokussieren von Licht auf einen Wafer **127** einschließt. Das Ausleuchtungssystem **100** kann Teil eines Fotolithographiesystems zur Herstellung eines gewünschten Schaltungsmusters auf dem Wafer **127** sein. Das Ausleuchtungssystem **100** enthält: eine Lichtquelle **103**; einen Spiegel **106**; ein Spannungsplättchen **109**; einen Strahlteilerwürfel **121**, der Abschnitte **112** und **118** und eine Beschichtung (Beschichtungen) **115** aufweist; und ein Fokussiermodul **124**.

[0025] Das Ausleuchtungssystem **100** arbeitet wie folgt. Die Lichtquelle **103** stellt eine Lichtwellenfront **104** zur Verfügung, die eine spezielle Wellenlänge und Polarisation aufweist, die auf den Strahlteilerwürfel **121** fällt. Aus Gründen der Diskussion ist die Lichtwellenfront **104** vertikal polarisiert, obwohl andere Polarisationen verwendet werden könnten.

[0026] Die Lichtwellenfront **104** passiert den Abschnitt **112** des Würfels **121** und fällt auf die Beschichtung **115**. Die Beschichtung **115** hat optische Transmissionseigenschaften, die in Abhängigkeit von der Polarisation des einfallenden Lichtes variieren. Wenn das einfallende Licht vertikal polarisiert ist, ist die Beschichtung **115** reflektierend. Wenn das einfallende Licht horizontal polarisiert ist, dann ist die Beschichtung **115** durchlässig. Da die Wellenfront **104** vertikal polarisiert ist, wird sie durch die Beschichtung **115** aufwärts zu dem Spannungsplättchen **109** reflektiert.

[0027] Das Spannungsplättchen **109** ist beinahe ein

1/4-Wellen-Spannungsplättchen für die interessierende Wellenlänge und ist um 45 Grad in der zx-Ebene relativ zu der einfallenden Wellenfront gedreht. Das Ergebnis ist, dass das Spannungsplättchen **109** das vertikal polarisierte Licht zu zirkular polarisiertem (CP-) Licht **107** konvertiert, das auf den Spiegel **106** einfällt.

**[0028]** Der Spiegel **106** reflektiert das CP-Licht **107** und kehrt die zirkulare Polarisierung um, um umgekehrtes CP-Licht **108** zu erzeugen. Das CP-Licht **108** verläuft zurück durch das Spannungsplättchen **109** und wird zu horizontal polarisiertem Licht **110** konvertiert, das auf den Würfel **121** einfällt. Somit wird durch zweimaliges Leiten linear polarisierten Lichtes durch ein 1/4-Wellen-Spannungsplättchen unter Verwendung eines Spiegels die lineare Polarisierung beibehalten, aber die Polarisierung ist um 90 Grad gedreht.

**[0029]** Der Würfel **121** leitet ohne wesentliche Änderungen das horizontal polarisierte Licht **110** zu dem Fokussiermodul **124**. Dieses geschieht, da die Beschichtung **115** für horizontal polarisiertes Licht, wie oben diskutiert, durchlässig ist.

**[0030]** Das Fokussiermodul **124** enthält die Maske, die das gewünschte Schaltungsmuster aufweist. Das Fokussiermodul **124** veranlasst das einfallende Licht, durch die Maske zu verlaufen, die ein Maskenbild **126** erzeugt, das auf den Wafer **127** fokussiert wird.

## 2. Calciumfluorid ( $\text{CaF}_2$ ) – Spannungsplättchen

**[0031]** [Fig. 2A](#) veranschaulicht das Spannungsplättchen **200** zum Verzögern einer optischen Wellenfront gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Das Spannungsplättchen **200** ist aus einem Calciumfluoridmaterial hergestellt, das das chemische Symbol  $\text{CaF}_2$  besitzt.  $\text{CaF}_2$  besitzt eine gut bekannte Kristallstruktur, die kubisch-flächenzentriert ist. [Fig. 2B](#) veranschaulicht die kubisch-flächenzentrierte Struktur von  $\text{CaF}_2$  und enthält 8 Calcium (Ca) – Ionen, die einen Würfel bilden, der ein zusätzliches Ca-Ion in der Mitte von jeder der sechs Flächen des Würfels besitzt. (Die Fluor-Ionen sind zur Vereinfachung der Illustration nicht gezeigt.) Die äußeren Flächen des Würfels sind die kubischen Ebenen, und die Spaltebenen werden durch die gepunkteten Linien gebildet. Ein Teil der Spaltebene, der von den Ca-Ionen  $\text{Ca}_1$ ,  $\text{Ca}_2$ , und  $\text{Ca}_3$  gebildet wird, ist kreuzschattiert. Die am einfachsten zu schneidende oder zu brechende Ebene eines kristallinen Materials liegt entlang der Spaltebenen und nicht der kubischen Ebenen.

**[0032]** Ein Vorteil, eine optische Verzögerung durch  $\text{CaF}_2$  herzustellen, liegt darin, dass  $\text{CaF}_2$  in der Lage ist, elektromagnetische Wellen, die Wellenlängen haben, die unterhalb von 193 nm liegen (einschließlich Wellenlängen bei 157 nm), mit relativ niedriger

Dämpfung, wenn man es mit traditionellen optischen Materialien wie Quarzglas oder künstlichem Quarz vergleicht, durchzulassen. Daher ermöglichen  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchen Herstellungsverfahren, um Halbleiter mit Schaltungsgeometrien herzustellen, die kleiner als 0,25  $\mu\text{m}$  sind.

**[0033]** Das Spannungsplättchen **200** besitzt zwei verschiedene Brechungsindizes, die von elektromagnetischen (EM) – Feldern in Abhängigkeit von der EM-Feldorientierung gesehen werden. Der erste Brechungsindex ist  $n_1$  und wird von EM-Feldern gesehen, die mit dem Vektor **203** orientiert sind. Der zweite Brechungsindex ist  $n_2$  und wird von EM-Feldern gesehen, die mit dem Vektor **206** orientiert sind. Wie verstanden wird, definieren die Brechungsindizes für ein Material die Phasengeschwindigkeit für eine elektromagnetische Welle, die sich in dem Material fortpflanzt, relativ zu der Phasengeschwindigkeit im freien Raum.

**[0034]** In Ausführungsformen der Erfindung stellt  $n_1$  den charakteristischen Brechungsindex für ungestörtes  $\text{CaF}_2$  und  $n_2$  einen höheren oder niedrigeren Brechungsindex, der durch eine Kompressions- oder Zugkraft, die mit dem Vektor **206** ausgerichtet ist, verursacht wird, dar. Die Änderung des charakteristischen Brechungsindex von  $\text{CaF}_2$  unter Verwendung von Kompressions- und/oder Zugkräften wird im Weiteren in dem folgenden Abschnitt diskutiert. Alternativ sind sowohl  $n_1$  als auch  $n_2$  von dem Brechungsindex für ungestörtes  $\text{CaF}_2$  verschieden, wobei einer ( $n_1$  oder  $n_2$ ) einen höheren Brechungsindex als ungestörtes  $\text{CaF}_2$  aufweist, und der andere einen niedrigeren Brechungsindex als ungestörtes  $\text{CaF}_2$  besitzt. (Im Weiteren wird der Vektor **203** als Brechungsindexvektor **203** bezeichnet, und es wird angenommen, dass er seinen assoziierten Brechungsindex  $n_1$  enthält. Ähnlich wird Vektor **206** als Brechungsindexvektor **206** bezeichnet, und es wird angenommen, dass er den assoziierten Brechungsindex  $n_2$  enthält.)

**[0035]** Wie in [Fig. 2A](#) gezeigt, sind die beiden Brechungsindizes **203** und **206** senkrecht auf einem assoziierten Satz von kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen und sind daher senkrecht zueinander. Die Vektoren **203** und **206** sind ebenfalls senkrecht zu einer Transmissionsachse **209**, die mit dem Spannungsplättchen **200** assoziiert ist. Die Transmissionsachse **209** definiert die Richtung, in der sich eine optische Wellenfront erforderlicher Weise durch das Spannungsplättchen **200** ausbreitet, um die gewünschte Verzögerung zu erhalten. Bei dem Spannungsplättchen **200** ist der erste Brechungsindex **203** entlang der z-Achse ausgerichtet, und der zweite Brechungsindexvektor **206** ist entlang der x-Achse ausgerichtet, wie sie durch das Koordinatensystem für [Fig. 2A](#) definiert sind. Die Transmissionsachse **209** befindet sich entlang der y-Achse durch das Plättchen **200**. Die gewünschte

optische Verzögerung kann durch Transmission der optischen Wellenfront **212** durch eine der Seiten des Spannungsplättchens **200** entlang der y-Achse erreicht werden.

**[0036]** Wenn eine optische Wellenfront **212** durch das Spannungsplättchen entlang der Transmissionsachse **209** verläuft, wird die optische Wellenfront um einen Betrag, der proportional zu dem Unterschied zwischen den Brechungsindexvektoren ist, retardiert oder verzögert. Die Verzögerung tritt auf, weil die optische Wellenfront **212** eine EM-Feldkomponente, die entlang dem ersten Brechungsindexvektor **203** ausgerichtet ist, und eine EM-Feldkomponente, die entlang dem zweiten Brechungsindexvektor **206** ausgerichtet ist, besitzt. Infolgedessen besitzt die Feldkomponente, die entlang dem Vektor **203** ausgerichtet ist, eine andere Phasengeschwindigkeit als die Feldkomponente, die entlang dem Vektor **206** ausgerichtet ist, wenn sie durch das Spannungsplättchen **200** verläuft, wodurch die Verzögerung implementiert wird.

### 3. Verfahren zur Herstellung eines $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchens

**[0037]** Wie oben beschrieben, funktioniert ein  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchen zum Verzögern einer optischen Wellenfront dadurch, dass es zwei unterschiedliche Brechungsindizes besitzt, die von verschiedenen Feldkomponenten der optischen Wellenfront gesehen werden. Der vorliegende Abschnitt beschreibt Verfahren zur Herstellung eines  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchens unter Verwendung von Kompressions-, Zug- und Scherkräften, die auf die Flächen der kubischen Ebene des  $\text{CaF}_2$ -Plättchens angewendet werden.

#### A. Kompressions- und/oder Zugkräfte

**[0038]** [Fig. 3](#) zeigt ein funktionelles Flussdiagramm **300**, das ein Verfahren zur Herstellung eines  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchens aus einer Probe von  $\text{CaF}_2$ -Material gemäß Ausführungsformen der Erfindung beschreibt. Das Flussdiagramm **300** wird wie folgt beschrieben.

**[0039]** In einem Schritt **302** wird eine Probe von  $\text{CaF}_2$ -Material bereitgestellt. [Fig. 4](#) veranschaulicht eine  $\text{CaF}_2$ -Probe **402**, die Spaltebenen **404** und kubische Ebenen **406** besitzt. Unbearbeitete Proben sind typischerweise in einer Spaltebene orientiert, da die Spaltebene die Ebene ist, in der am einfachsten von einem neu gewachsenen  $\text{CaF}_2$ -Block eine Probe geschnitten wird.

**[0040]** In einem Schritt **304** wird die Orientierung der kubischen Ebenen der  $\text{CaF}_2$ -Probe bestimmt. Die Bestimmung der Orientierung der kubischen Ebene für eine Probe kann unter Verwendung bekannter

Röntgentechniken oder anderer Standardtechniken ausgeführt werden. Die Orientierung der kubischen Ebene wird so bestimmt, dass ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen, das Flächen, die entlang der kubischen Ebenen ausgerichtet sind, aufweist, von der  $\text{CaF}_2$ -Probe geschnitten werden kann, wie es durch das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen **408**, das durch die kubischen Ebenen **406** definiert ist, in [Fig. 4](#) veranschaulicht ist.

**[0041]** In einem Schritt **306** wird die  $\text{CaF}_2$ -Probe verarbeitet, um ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen herzustellen, das sämtliche 6 Flächen in kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen liegen hat. Schritt **306** wird weiterhin durch das Flussdiagramm **500** beschrieben, das in [Fig. 5](#) gezeigt wird, und es wird wie folgt beschrieben. In einem Schritt **502** wird ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen, das in den kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen ausgerichtet ist, von der  $\text{CaF}_2$ -Probe geschnitten, wie es durch das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen **408**, das in [Fig. 4](#) gezeigt ist, veranschaulicht ist. Verschiedene Techniken zum Schneiden oder Schleifen kristalliner Materialien sind den Fachleuten bekannt. In einem Schritt **504** wird das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen auf eine handelsübliche Polierung poliert, so dass die Flächen hinreichend flach und parallel für optische Transmissionen sind. [Fig. 6A](#) stellt das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen **408** dar, nachdem es von der Probe **402** geschnitten worden ist, wobei sämtliche 6 Flächen **406a-f** des Plättchens in einer kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebene liegen.

**[0042]** In einem Schritt **308** wird eine Kompressionskraft oder Zugkraft senkrecht zu zumindest einem Satz von Flächen kubischer Ebenen und senkrecht zu der Transmissionsachse einer einfallenden optischen Wellenfront angelegt. Die Kompressions- oder Zugkraft setzt das Plättchen in der Richtung der Kraft unter Spannung, wodurch der Brechungsindex für elektromagnetische Felder, die entlang der Richtung der Spannung orientiert sind, geändert wird. In anderen Worten weist das unter Spannung gesetzte  $\text{CaF}_2$ -Plättchen effektiv zwei Brechungsindizes auf. Ein Brechungsindex wird von elektromagnetischen Feldern gesehen, die in der Richtung der Spannung orientiert sind. Der andere Brechungsindex wird von elektromagnetischen Feldern gesehen, die in Richtungen orientiert sind, in denen keine Spannung vorliegt. Es sind die unterschiedlichen Brechungsindizes entsprechend der Feldorientierung, die die gewünschte Verzögerung für die optische Wellenfront verursachen, die sich entlang der Transmissionsachse ausbreitet. Die verbleibenden Schritte in dem Flussdiagramm **300** werden weiter unten beschrieben.

**[0043]** [Fig. 6B–Fig. 6G](#) veranschaulichen verschiedene Ausführungsformen für die Anwendung von Kompressions- und/oder Zugkräften auf das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen **408** in dem Schritt **308**. Diese Figuren schließen eine optische Wellenfront **602** ein, die auf die Fläche **406b** entlang der y-Achse einfällt, um die Transmissionsachse relativ zu den angelegten

Kraftvektoren zu definieren. (Die Fläche **406b** wird zur Einfachheit als die Unterfläche veranschaulicht.) Für optimale Verzögerungsergebnisse sollte die optische Wellenfront **602** senkrecht zu der Fläche **406b** (und daher senkrecht zu den Kraftvektoren) einfallen. Dieselbe Verzögerung wird erreicht, wenn die optische Wellenfront auf die obere Fläche **406a** einfällt. Wenn die optische Wellenfront **602** eine transversale elektromagnetische (TEM-) Welle ist, besitzt die Wellenfront **602** eine EM-Feldkomponente in der x-Richtung und eine Etikettiermaschine-Feldkomponente in der z-Richtung, wie von den Fachleuten verstanden werden wird. [Fig. 6B–Fig. 6D](#) werden nun in Ausführlichkeit diskutiert.

[0044] In [Fig. 6B](#) wird die Kompressionskraft **604a** und **604b** entlang der x-Richtung und senkrecht zu den Flächen **406c** und **406d** des  $\text{CaF}_2$ -Plättchens **408** angelegt. In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann eine Kompressionskraft unter Verwendung von einer oder mehreren Schrauben angelegt werden, die an die Flächen **406c** und **406d** anstoßen. Für beste Ergebnisse sollte die Kompressionskraft gleichförmig entlang der Flächen **406c** und **406d** unter Verwendung mehrerer Schrauben angelegt werden. Die Kompressionskraft wird eine innere Spannung verursachen, die den Brechungsindex des  $\text{CaF}_2$ -Plättchens, der von den EM-Feldern gesehen wird, die in der x-Richtung orientiert sind, verändert. Der Brechungsindex für EM-Felder, die in der z-Richtung orientiert sind, bleibt unverändert. Daher wird die optische Wellenfront **602**, wenn sie sich durch das Plättchen **408** ausbreitet, verzögert, da die EM-Felder, die in x-Richtung orientiert sind, im Vergleich zu den EM-Feldern, die in der z-Richtung orientiert sind, verzögert werden. Experimentelle Resultate zeigen, dass bei der Wellenlänge von 157 nm durch Anlegen von einer Kraft von 300–500 psi eine Verzögerung von 90 Grad erreicht werden kann.

[0045] In [Fig. 6C](#) wird eine Zugkraft (oder ziehende Kraft) **606a**, b senkrecht zu den Flächen **406c** und **406d** angelegt. In einer bevorzugten Ausführungsform kann eine Zugkraft durch Ankleben einer Leiste an jeder Fläche **406c** und **406d** und Nachaußenziehen an den Leisten angelegt werden. Wie oben beschrieben, ändert die angelegte Kraft den Brechungsindex für EM-Felder, die in der Richtung der Kraft orientiert sind, wodurch die gewünschte Verzögerung verursacht wird.

[0046] In [Fig. 6D](#) wird eine Kompressionskraft **608a**, b senkrecht zu den Flächen **406e** und **406f** angelegt. Die angelegte Kraft **608** ändert den Brechungsindex für EM-Felder, die in der z-Richtung jedoch nicht in der x-Richtung orientiert sind, wodurch die gewünschte Verzögerung verursacht wird.

[0047] In [Fig. 6E](#) wird eine Zugkraft (oder ziehende

Kraft) **610a**, b senkrecht zu den Flächen **406e** und **406f** angelegt, um die gewünschte Verzögerung zu implementieren.

[0048] In [Fig. 6F](#) wird eine Kompressionskraft **612a**, b senkrecht zu den Flächen **406c** und **406d** angelegt, und es wird eine Zugkraft **614a**, b senkrecht zu den Flächen **406e** und **406f** angelegt. In dieser Ausführungsform wird der Brechungsindex für EM-Felder, die entlang der x-Richtung orientiert sind, und der Brechungsindex für EM-Felder, die in der z-Richtung orientiert sind, geändert. Jedoch wird ein Brechungsindex erhöht und der andere erniedrigt, da eine Kraft eine Kompressionskraft und die andere Kraft eine Zugkraft ist.

[0049] In [Fig. 6G](#) wird eine Zugkraft **614a**, b senkrecht zu den Flächen **406c** und **406d** und eine Kompressionskraft **616a**, b senkrecht zu den Flächen **406e** und **406f** angelegt. Ähnlich wie in [Fig. 6F](#) beschrieben, werden die Brechungsindizes für EM-Wellen, die sowohl in der x-Richtung als auch der z-Richtung orientiert sind, geändert, jedoch weisen die Änderungen entgegengesetzte Vorzeichen auf.

[0050] Es wird aus den [Fig. 6B–Fig. 6G](#) erkannt, dass die Kompressions- und/oder Zugkräfte an kubischen Ebenen angelegt werden, die nicht den Satz von Ebenen darstellen, der die einfallende optische Wellenfront empfängt (die Ebenen **406a** und **406b**). Statt dessen werden die Kompressions- oder Zugkräfte an einem oder mehreren der anderen zwei Sätze von kubischen Ebenen angelegt. Diese anderen Sätze von kubischen Ebenen sind **406c**, **406d** und **406e**, **406f**.

[0051] Um nun zu dem Flussdiagramm **300** zurückzukommen, wird die optische Verzögerung in einem Schritt **310** für die interessierende Wellenlänge gemessen, um zu bestimmen, ob der gewünschte Grad an Verzögerung erreicht ist. Es gibt verschiedene Vorrichtungen, einschließlich Polarimeter, um die optische Verzögerung zu messen, die dem Fachmann bekannt sind.

[0052] [Fig. 7](#) veranschaulicht ein Messsystem **700** zum Bestimmen, ob die optische Verzögerung des Spannungsplättchens **408** für die einfallende optische Wellenfront **602** die gewünschten 90 Grad erreicht hat. Zu Zwecken der Diskussion ist die optische Wellenfront **602** vertikal polarisiert. [Fig. 7](#) schließt einen Vertikalpolarisator **703**, das Spannungsplättchen **408**, einen Spiegel **706** und einen Detektor **709** ein und funktioniert wie folgt.

[0053] Der Polarisator **703** ist der vertikal polarisierten Wellenfront **602** angepasst und lässt deshalb im wesentlichen die Wellenfront **602** zu dem Spannungsplättchen **408** durch. Das Spannungsplättchen **408** ist in der zx-Ebene um 45 Grad gedreht und wan-

delt somit die Wellenfront **602** in eine zirkular polarisierte Wellenfront **707** um. Der Spiegel **706** reflektiert die CP-Wellenfront **707** und kehrt die CP-Polarisation um, um die CP-Wellenfront **708** zu erzeugen. Die CP-Wellenfront **708** verläuft zurück durch das Spannungsplättchen **408** und wird in im wesentlichen horizontal polarisiertes Licht **704** umgewandelt, wenn die Spannungsplättchenverzögerung im wesentlichen 90 Grad beträgt. Der Vertikalpolarisator **703** empfängt das Licht **704** und weist jeglichen Anteil, der horizontal polarisiert ist, zurück, und lässt den vertikalen Anteil als Licht **702** durch. Der Detektor **709** misst die Signalstärke des Lichts **702**, das durch den Polarisator **703** verläuft. Je mehr die Verzögerung des Spannungsplättchens **408** bei 90 Grad liegt, desto mehr Licht **704** wird zurückgewiesen, und desto kleiner ist die Signalstärke, die für das Licht **702** gemessen wird. Wenn die Spannungsplättchenverzögerung gegenüber 90 Grad abweicht, wird der Detektor **709** eine höhere Signalstärke von Licht, das durch den Polarisator **703** verläuft, detektieren.

**[0054]** In einem Schritt **312** wird bestimmt, ob die Verzögerung des Spannungsplättchens hinreichend nah an dem gewünschten Grad ist. Wenn das Messsystem **700** verwendet wird, erfolgt die Bestimmung **312** auf der Grundlage der gemessenen Signalstärke des Lichts **702**. In anderen Worten ist, wenn die Signalstärke oberhalb eines Schwellenwertes liegt, die Verzögerung nicht hinreichend nahe an den gewünschten 90 Grad. Wenn die Verzögerung hinreichend ist, endet dann die Verarbeitung, und ist das Spannungsplättchen **408** fertiggestellt und für eine Verwendung bereit. Wenn die Verzögerung nicht hinreichend ist, kann die Kompressions- und/oder Zugkraft in Schritt **314** erhöht werden und kann der Messvorgang wiederholt werden, bis die gewünschte Verzögerung erreicht worden ist.

#### B. Scherkräfte

**[0055]** Das Flussdiagramm **300** beschrieb ein Verfahren zur Herstellung eines  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchens unter Verwendung von Kompressions- und/oder Zugkräften, die senkrecht zu den mechanischen Flächenkubischen Ebenen des  $\text{CaF}_2$ -Plättchens angelegt wurden. Alternativ kann ein  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchen unter Verwendung von Scherkräften hergestellt werden, die auf das Plättchen wirken. [Fig. 8](#) stellt ein Flussdiagramm **800** dar, das ein Verfahren zur Herstellung eines  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchens unter Verwendung von einer oder mehreren Scherkräften zeigt. Schritte **302**, **304** und **310–314** in dem Flussdiagramm **800** sind dieselben, wie diejenigen, die in dem Flussdiagramm **300** beschrieben sind, auf welches der Leser für weitere Einzelheiten verwiesen wird. Die neuen Schritte **802** und **804** werden im weiteren beschrieben.

**[0056]** In einem Schritt **802** wird die  $\text{CaF}_2$ -Probe ver-

arbeitet, um ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen herzustellen, das mechanische Flächen besitzt, die um die Transmissionsachse relativ zu den kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen um 45 Grad gedreht sind. Schritt **802** wird weiterhin durch Flussdiagramm **900** beschrieben, das in [Fig. 9](#) gezeigt ist, und wird wie folgt beschrieben. In einem Schritt **902** wird ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen so von der  $\text{CaF}_2$ -Probe geschnitten, dass vier der mechanischen Flächen (die nicht die Transmissionsachse definieren) um 45 Grad gegenüber den kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen, die in Schritt **304** gefunden wurden, gedreht sind. Verschiedene Techniken zum Schneiden oder Schleifen kristalliner Materialien sind den Fachleuten bekannt. Die anderen zwei mechanischen Flächen werden so geschnitten, dass sie in kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen liegen, und definieren die Transmissionsachse für die optische Wellenfront. In einem Schritt **904** wird das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen auf eine handelsübliche Polierung poliert, so dass die Flächen hinreichend flach und parallel sind, wie es für die optische Transmission erforderlich ist.

**[0057]** [Fig. 10A](#) stellt ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen **1002** dar, nachdem es gemäß den Schritten **902** und **904** bearbeitet worden ist. Wie beschrieben, besitzt das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen **1002** mechanische Flächen **1004a–d**, die um die Transmissionsachse **1008** relativ zu den kubischen Ebenen **1006a–d** um 45 Grad gedreht sind. Als solche formen die kubischen Ebenen **1006a–d** in dem Plättchen **1002**, wie in [Fig. 10A](#) gezeigt, eine Diamantform. Die mechanischen Flächen **1004e** und **1004f** sind die "oberen" und "unteren" Flächen des Plättchens **1002** und liegen in den kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen. Als solches stehen die mechanischen Flächen **1004e** und **1004f** senkrecht zu der optischen Transmissionsachse **1008** (und definieren dieselbe).

**[0058]** In einem Schritt **804** werden Scherkräfte entlang der mechanischen Flächen und senkrecht zu der Transmissionsachse der einfallenden optischen Wellenfront angelegt. Die Scherkräfte sind zu entgegengesetzten Ecken des  $\text{CaF}_2$ -Plättchens in einer Weise gerichtet, die verhindert, dass das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen sich dreht. Wie bei dem Verfahren mit der Kompressions-/Zugkraft ändern die Scherkräfte den Brechungsindex des  $\text{CaF}_2$ -Plättchens in der Richtung der resultierenden Kraftvektoren, um die gewünschte optische Verzögerung zu implementieren.

**[0059]** [Fig. 10B](#) und [Fig. 10C](#) veranschaulichen einige der verschiedenen Ausführungsformen für die Anwendung der Scherkräfte, um den Brechungsindex des  $\text{CaF}_2$ -Plättchens zu ändern. [Fig. 10B](#) und [Fig. 10C](#) werden wie folgt erläutert.

**[0060]** In [Fig. 10B](#) werden Scherkräfte **1010a** und **1010b** an der Ecke **1012** entlang der Flächen **1004b** bzw. **1004c** angelegt. Ebenso werden Scherkräfte **1016a** und **1016b** an der Ecke **1014** entlang der Flä-

chen **1004a** bzw. **1004d** angelegt. Scherkräfte können durch Ankleben einer Leiste an jeder Fläche **1004** und Drücken oder Ziehen auf der Leiste in der geeigneten Richtung implementiert werden. Die resultierenden Kräfte schließen eine Zugkraft **1018a** und **1018b** ein, die wirkt, um die Ecken **1012** und **1014** voneinander fort zu ziehen. Ebenso wirkt eine Kompressionskraft **1019a** und **1019b**, um die Ecken **1003** und **1005** zueinander zu drücken. Zugkraft **1018a**, **b** und Kompressionskraft **1019a**, **b** ändern den Brechungsindex entlang der Richtung ihrer jeweiligen Achsen und implementieren daher die gewünschte optische Verzögerung. Es wird bemerkt, dass die Kraft **1018a**, **b** entlang der Diagonalen gerichtet ist, die von den Ecken **1012** und **1014** gebildet wird. Daher steht die Kraft **1018a**, **b** senkrecht zu den kubischen Ebenen **1006b** und **1006d**, ist jedoch in der zx-Ebene relativ zu den mechanischen Flächen **1004a–d** um 45 Grad gedreht. Ebenso steht die Kraft **1019a**, **b** senkrecht zu den kubischen Ebenen **1006a** und **1006d**, ist jedoch in der zx-Ebene relativ zu den mechanischen Flächen **1004a–d** um 45 Grad gedreht. Dieses ist im Gegensatz zu den Kompressions- und Zugkräften in den [Fig. 6A–Fig. 6G](#), die sämtlich senkrecht auf den mechanischen Flächen des Spannungsplättchens **408** standen. Eine Folge dieses Unterschieds ist, dass ein Spannungsplättchen von 90 Grad, das unter Verwendung von Scherkräften hergestellt wird, nicht um 45 Grad in der zx-Ebene gedreht werden muss, um die Polarisierung der einfallenden optischen Wellenfront von der linearen Polarisierung zu der zirkularen Polarisierung und umgekehrt zu ändern. Dieses ist so, weil die resultierenden Kraftvektoren **1018** und **1019** bereits um 45 Grad in der zx-Ebene gedreht sind.

**[0061]** In [Fig. 10C](#) werden Scherkräfte **1020a** und **1020b** an der Ecke **1012** entlang der Flächen **1004b** bzw. **1004c** angelegt. Ebenso werden Scherkräfte **1022a** und **1022b** an der Ecke **1014** entlang der Flächen **1004a** bzw. **1004d** angelegt. Das Ergebnis ist eine Kompressionskraft **1024a** und **1024b**, die entlang der Diagonalen wirkt, die durch die Ecken **1012**, **1014** gebildet wird, und den Brechungsindex entlang der Diagonale ändert. Ebenso wirkt eine Zugkraft **1026a** und **1026b** entlang der Diagonale der Ecken **1003**, **1005** und ändert den Brechungsindex entlang der Diagonalen. Wie in [Fig. 10B](#) steht die resultierende Kompressionskraft **1024a**, **b** senkrecht zu den kubischen Ebenen **1006b** und **1006d**, ist jedoch relativ zu den mechanischen Flächen **1004a–d** um 45 Grad gedreht. Ebenso steht die Zugkraft **1026a**, **b** zu den kubischen Ebenen **1006a** und **1006c** senkrecht, ist jedoch relativ zu den mechanischen Flächen **1004a–d** um 45 Grad recht, ist jedoch relativ zu den mechanischen Flächen **1004a–d** um 45 Grad gedreht. Daher ist es nicht notwendig, das Spannungsplättchen zu drehen, um die Polarisierung der einfallenden optischen Wellenfront von der linearen Polarisierung zu der zirkularen Polarisierung und umgekehrt

zu ändern.

## Schlussfolgerung

**[0062]** Es sind hier beispielhafte Ausführungsformen der Verfahren und Bestandteile der vorliegenden Erfindung beschrieben worden. Wie an anderer Stelle bemerkt, sind diese beispielhaften Ausführungsformen lediglich zur Veranschaulichung beschrieben worden und sind nicht einschränkend. Andere Ausführungsformen sind möglich und werden von der Erfindung, wie sie ausschließlich gemäß den folgenden Ansprüchen definiert ist, abgedeckt.

## Patentansprüche

1. Ein Verfahren zur Herstellung eines  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchens (**200**), das eine spezifizierte Verzögerung für eine optische Wellenfront besitzt, die entlang einer Transmissionsachse (**209**) auf das Spannungsplättchen (**200**) einfällt, worin die Verzögerung durch einen Unterschied in den Brechungsindizes in Richtungen senkrecht zu der Transmissionsachse verursacht wird, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

(1) Bereitstellen eines  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchens (**408**), das Flächen besitzt, die parallel zu den kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen (**406a–f**) ausgerichtet sind, und Anordnen der Transmissionsachse, so dass sie senkrecht zu einem ersten Paar (**406a**, **b**) von Flächen steht, die parallel zu einem ersten Satz von kristallinen kubischen Ebenen ausgerichtet sind; und

(2) Anlegen einer kompressiven Kraft (**604a**, **b**; **612a**, **b**) oder einer Zugkraft (**605a**, **b**; **614a**, **b**) senkrecht zu der Transmissionsachse (**209**) und senkrecht zu einem zweiten Paar (**406c**, **d**; **406e**, **f**) der genannten Flächen, die parallel zu einem zweiten Satz von kristallinen kubischen Ebenen ausgerichtet sind, der von dem genannten ersten Satz von kristallinen kubischen Ebenen verschieden ist, wobei die genannte Kraft die spezifizierte Verzögerung für eine optische Wellenfront (**212**; **602**) verursacht, die entlang der Transmissionsachse (**209**) verläuft.

2. Das Verfahren von Anspruch 1, weiterhin die Schritte umfassend:

(3) Festlegen einer kubischen Orientierung einer nicht-orientierten  $\text{CaF}_2$ -Probe (**402**) vor Schritt (1); und

(4) Verarbeiten der genannten  $\text{CaF}_2$ -Probe (**402**) auf der Grundlage der genannten kubischen Orientierung, um das genannte  $\text{CaF}_2$ -Plättchen (**408**) herzustellen, das Flächen besitzt, die in den genannten kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen (**404a–d**) ausgerichtet sind.

3. Das Verfahren von Anspruch 2, worin Schritt

(4) die Schritte umfasst:

(a) Schneiden des genannten  $\text{CaF}_2$ -Plättchens (**408**)

aus der genannten Probe (**402**) entsprechend der genannten kubischen Orientierung der genannten Probe (**402**); und

(b) Polieren der genannten Flächen des genannten  $\text{CaF}_2$ -Plättchens (**408**), um eine handelsübliche Polierung zu erhalten.

4. Das Verfahren von Anspruch 1, worin Schritt (2) weiterhin den Schritt des Anlegens der genannten Kraft, um eine Verzögerung von  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge der einfallenden optischen Wellenfront (**212**; **602**) zu verursachen, umfasst.

5. Das Verfahren von Anspruch 4, worin Schritt (2) weiterhin den Schritt des Anlegens der genannten Kraft mit ungefähr zwischen 300 Psi und 500 Psi umfasst.

6. Das Verfahren von Anspruch 1, weiterhin die Schritte umfassend:

(3) Anlegen einer zweiten kompressiven Kraft (**616a**, b) oder Zugkraft (**614a**, b) senkrecht zu einem dritten Paar (**406**, f; **406c**, d) der genannten Flächen, das von dem genannten ersten Paar von Flächen und dem genannten zweiten Paar von Flächen unterschieden ist, und senkrecht zu der genannten Transmissionsachse (**209**), wobei die genannte zweite Kraft eine kompressive Kraft ist, wenn die genannte Kraft in Schritt (2) eine Zugkraft ist, wobei die genannte zweite Kraft eine Zugkraft ist, wenn die genannte Kraft in Schritt (2) eine kompressive ist.

7. Das Verfahren von Anspruch 1, weiterhin die Schritte umfassend:

(3) Messen einer optischen Verzögerung des genannten  $\text{CaF}_2$ -Plättchens (**408**), um festzustellen, ob die gemessene optische Verzögerung hinreichend nah an der genannten spezifizierten Verzögerung liegt; und  
(4) Erhöhen der in Schritt (2) angelegten Kraft, bis die genannte gemessene Verzögerung hinreichend nah an der genannten spezifizierten Verzögerung liegt.

8. Ein Verfahren zur Herstellung eines  $\text{CaF}_2$ -Spannungsplättchens (**1002**), das eine spezifizierte Verzögerung für eine optische Wellenfront besitzt, die entlang einer Transmissionsachse (**1008**) auf das Spannungsplättchen einfällt, worin die Verzögerung durch einen Unterschied in den Brechungsindizes in Richtungen senkrecht zu der Transmissionsachse verursacht wird, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

(1) Bereitstellen eines  $\text{CaF}_2$ -Plättchens (**1002**), das einen ersten Satz von mechanischen Flächen (**1004a-d**), die um ungefähr 45 Grad gegenüber einem ersten Satz von kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen (**1006a-d**) gedreht sind, und einen zweiten Satz von mechanischen Flächen (**1004e**, f), die in einem zweiten Satz von kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen liegen, der von dem genannten ersten

Satz von kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen verschieden ist, besitzt, und Anordnen der Transmissionsachse (**1008**), so dass sie senkrecht zu dem genannten zweiten Satz von mechanischen Flächen (**1004e**, f) steht; und

(2) Anlegen von Scherkräften (**1010a**, b, **1016a**, b; **1020a**, b, **1022a**, b) an den genannten ersten Satz von mechanischen Flächen (**1004a-d**) des  $\text{CaF}_2$ -Plättchens (**1002**), wobei die genannten Scherkräfte (**1010a**, b, **1016a**, b; **1020a**, b, **1022a**, b) in einer solchen Weise angelegt werden, dass die resultierenden Zug- und Kompressionskräfte senkrecht zu dem genannten ersten Satz von kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen (**1006a-d**) gerichtet sind und die spezifizierte Verzögerung für eine optische Wellenfront, die sich entlang der Transmissionsachse (**1008**) ausbreitet, verursachen.

9. Das Verfahren von Anspruch 8, weiterhin die Schritte umfassend:

(3) Festlegen einer kubischen Orientierung einer nicht-orientierten  $\text{CaF}_2$ -Probe vor Schritt (1); und  
(4) Verarbeiten der genannten  $\text{CaF}_2$ -Probe (**402**) auf der Grundlage der genannten kubischen Orientierung, um ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen (**1002**) herzustellen, das den genannten ersten Satz von mechanischen Flächen (**1004a-d**), die um 45 Grad gegenüber dem ersten Satz von kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen (**1006a-d**) gedreht sind, und den genannten zweiten Satz von mechanischen Flächen (**1004e**, f), die in dem genannten zweiten Satz von kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen liegen, besitzt.

10. Das Verfahren von Anspruch 9, worin Schritt (4) die Schritte umfasst:

a) Schneiden des genannten  $\text{CaF}_2$ -Plättchens (**1008**) aus der genannten Probe entsprechend der genannten kubischen Orientierung der genannten Probe; und  
(b) Polieren der genannten Flächen des genannten  $\text{CaF}_2$ -Plättchens (**1008**), um eine handelsübliche Polierung zu erhalten.

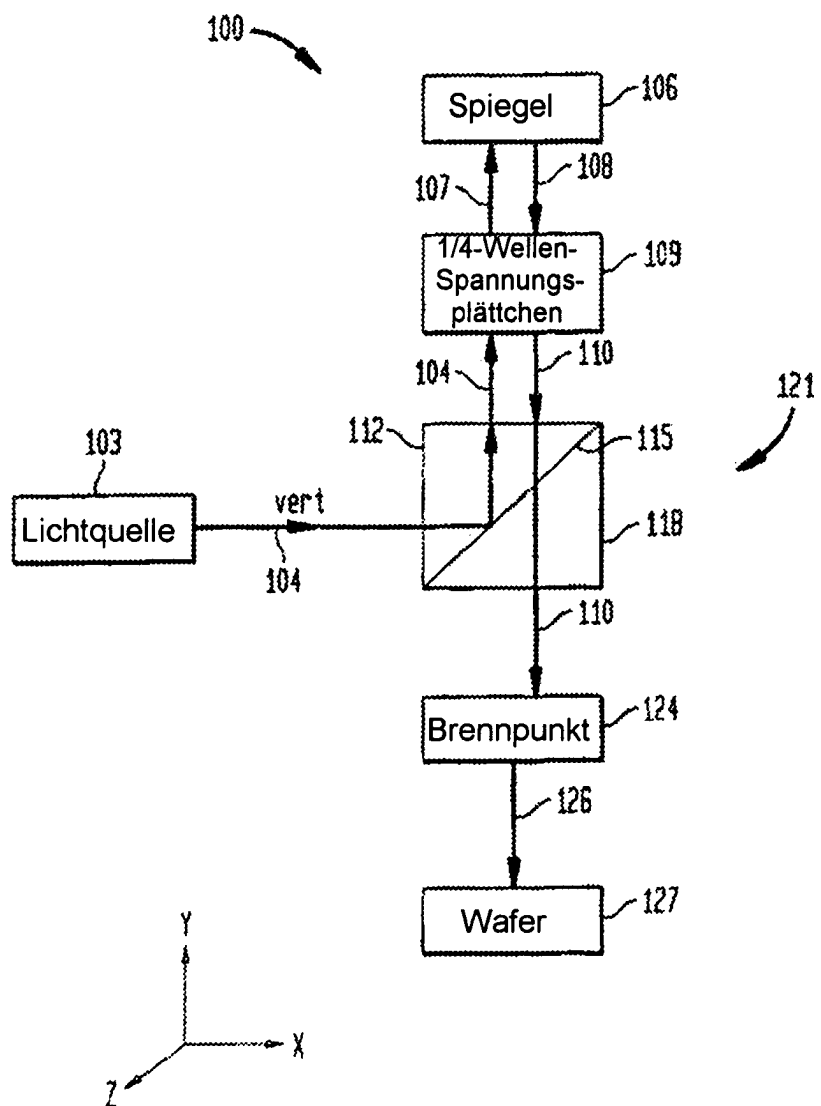
11. Eine Vorrichtung zur optischen Verzögerung, ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen umfassend, das besitzt  
Flächen, die parallel zu den kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen (**406a-f**) ausgerichtet sind, und eine Transmissionsachse, die senkrecht zu einem ersten Paar (**406a**, b) von den genannten Flächen steht, die parallel zu einem ersten Satz von kristallinen kubischen Ebenen ausgerichtet sind,  
einen ersten Brechungsindex für Licht, das in einer ersten Richtung senkrecht zu dem ersten Satz von kristallinen kubischen Ebenen und senkrecht zu der Transmissionsachse polarisiert ist, und  
einen zweiten Brechungsindex für Licht, das in einer zweiten Richtung senkrecht zu einem zweiten Satz von kristallinen kubischen Ebenen, der von dem ersten Satz von kristallinen kubischen Ebenen verschieden ist, polarisiert ist, und das senkrecht zu der

Transmissionsachse polarisiert ist, worin das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen unter einer kompressiven Kraft (**604a**, b; **612a**, b) oder einer Zugkraft (**606a**, b; **614a**, b) steht, die senkrecht zu der Transmissionsachse (**209**) und senkrecht zu einem zweiten Paar (**406c**, d; **406e**, f) der genannten Flächen, die parallel zu dem genannten zweiten Satz von kristallinen kubischen Ebenen ausgerichtet sind, angelegt wird.

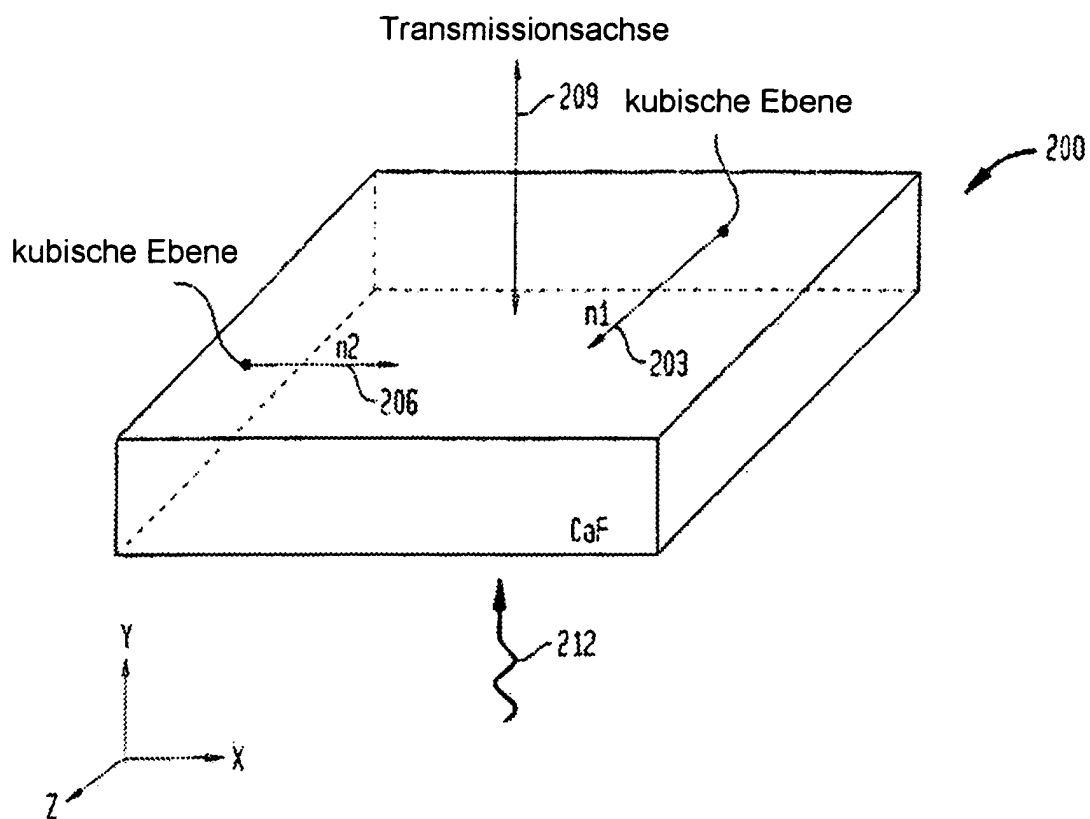
12. Eine Vorrichtung zur optischen Verzögerung, ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen umfassend, das besitzt einen ersten Satz von mechanischen Flächen (**1004a**–d), die um ungefähr 45 Grad gegenüber einem ersten Satz von kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen (**1006a**–d) gedreht sind; einen zweiten Satz von mechanischen Flächen (**1004e**, f), die in einem zweiten Satz von kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen liegen, der von dem genannten ersten Satz von kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen verschieden ist, und eine Transmissionsachse (**1008**), die senkrecht zu dem genannten zweiten Satz von mechanischen Flächen (**1004e**, f) steht; einen ersten Brechungsindex für Licht, das in einer ersten Richtung senkrecht zu einem ersten Paar (**1006a**, c; **1006b**, d) des ersten Satzes von kristallinen kubischen Ebenen (**1006a**–d) und senkrecht zu der Transmissionsachse polarisiert ist; und einen zweiten Brechungsindex für Licht, das in einer zweiten Richtung senkrecht zu einem zweiten Paar (**1006b**, d; **1006a**, c) des ersten Satzes von kristallinen kubischen Ebenen, der von dem ersten Paar des genannten ersten Satzes von kristallinen kubischen Ebenen verschieden ist, polarisiert ist, und das senkrecht zu der Transmissionsachse polarisiert ist, worin das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen unter Scherkräften (**1010a**, b; **1016a**, b; **1020a**, b; **1022a**, b) steht, die in einer solchen Weise an dem genannten ersten Satz von mechanischen Flächen (**1004a**–d) des  $\text{CaF}_2$ -Plättchens (**1002**) angelegt sind, dass die resultierenden Zug- und Kompressionskräfte senkrecht zu dem genannten ersten Satz von kristallinen kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen (**1006a**–d) gerichtet sind.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

FIG. 1



**FIG. 2A**



**FIG. 2B**

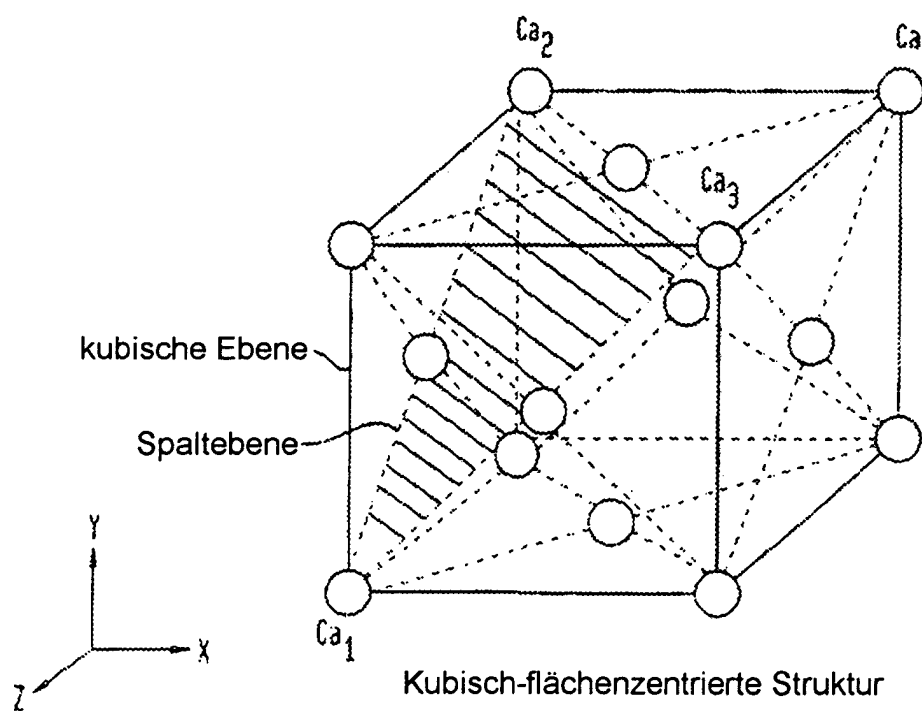


FIG. 3

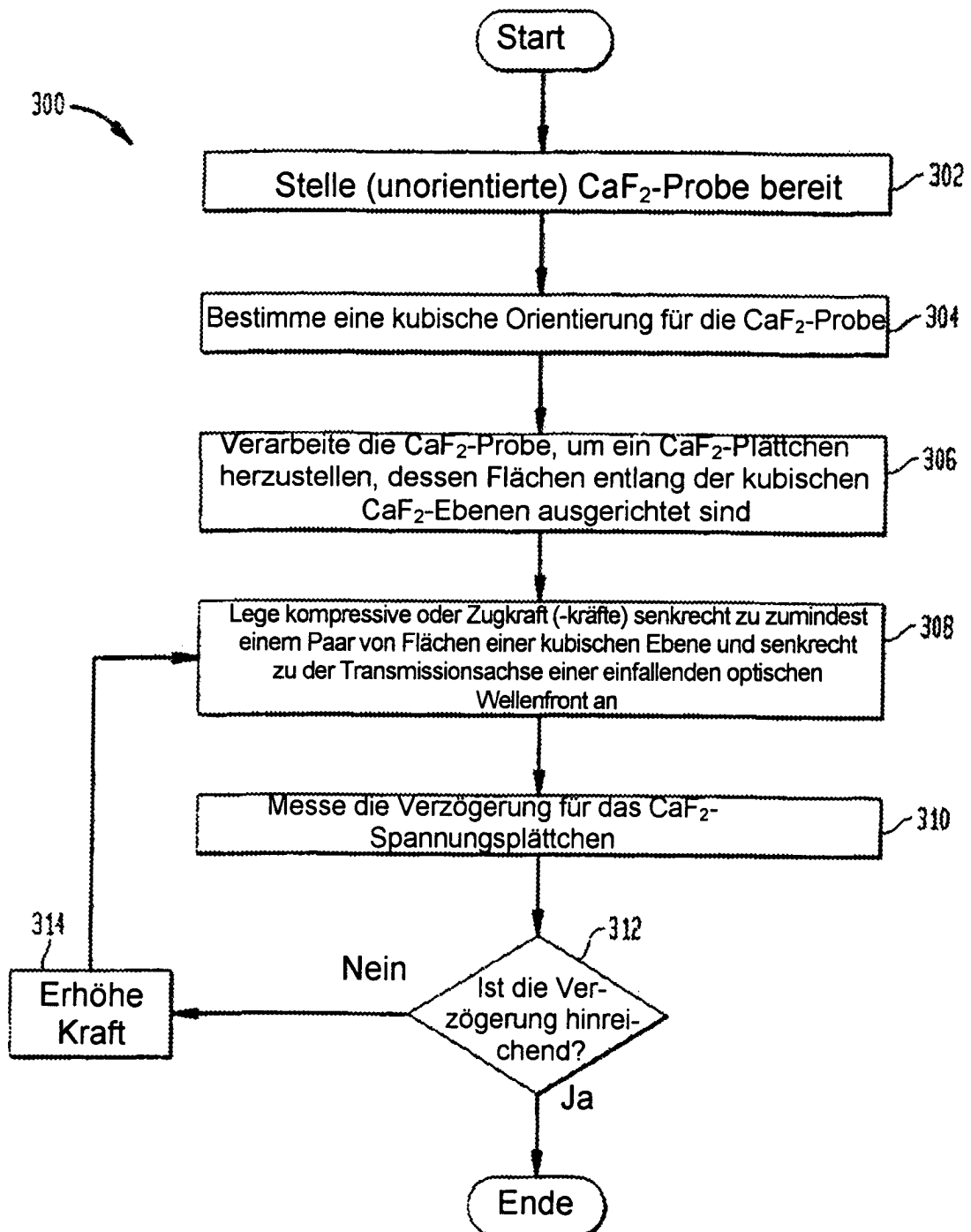


FIG. 4

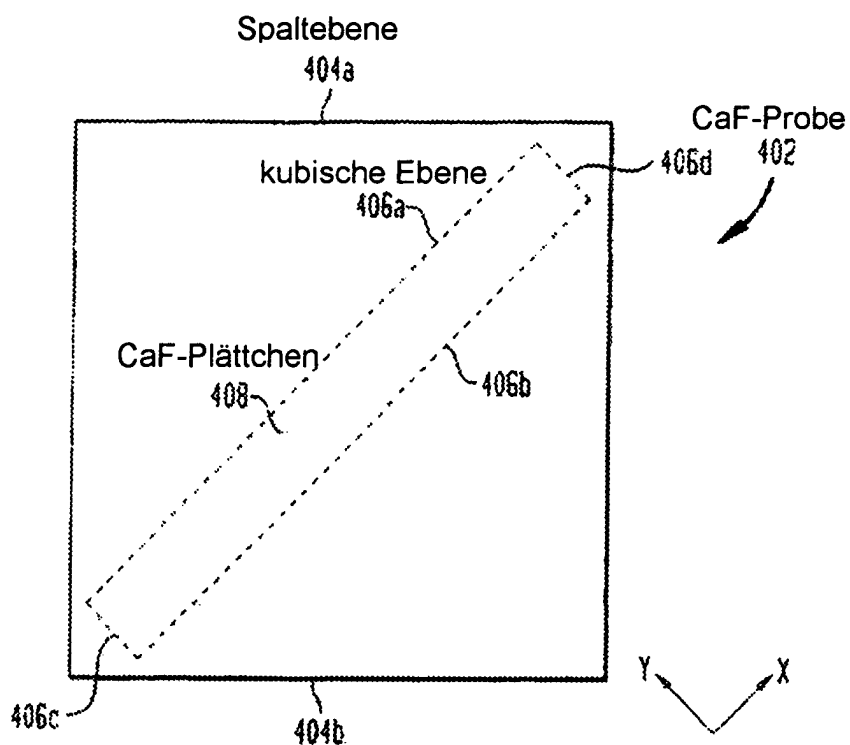


FIG. 5

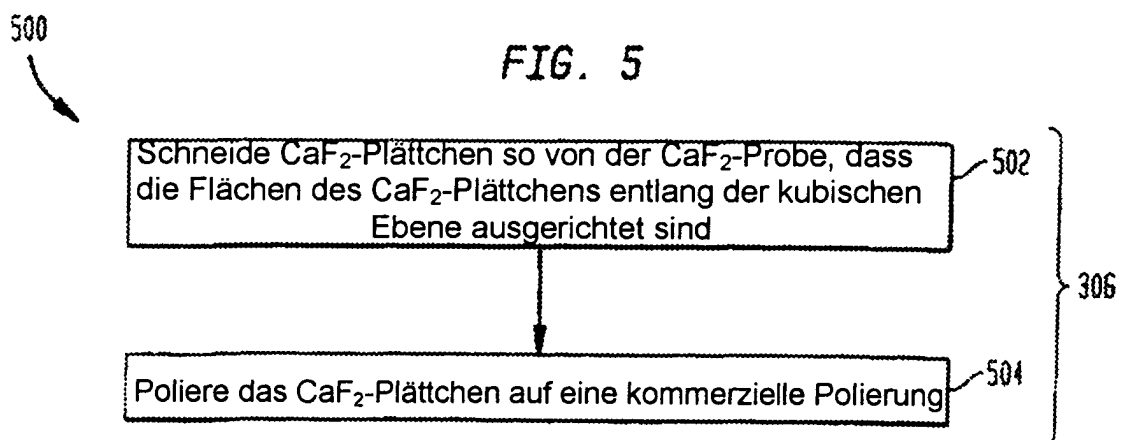


FIG. 6A

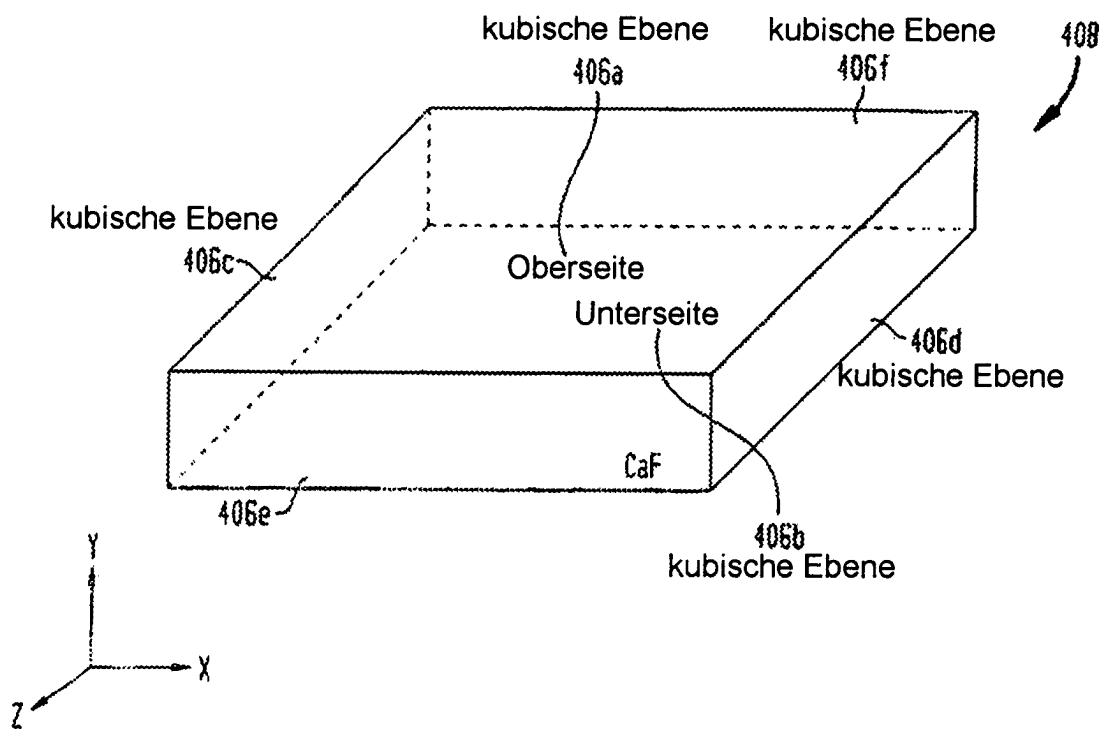


FIG. 6B

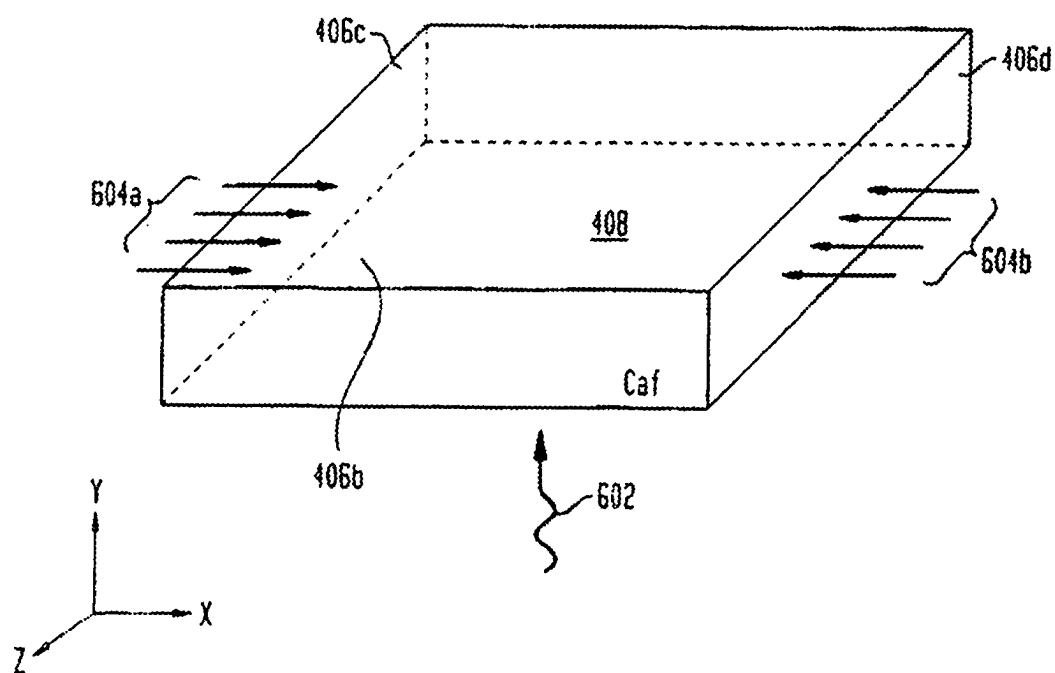


FIG. 6C

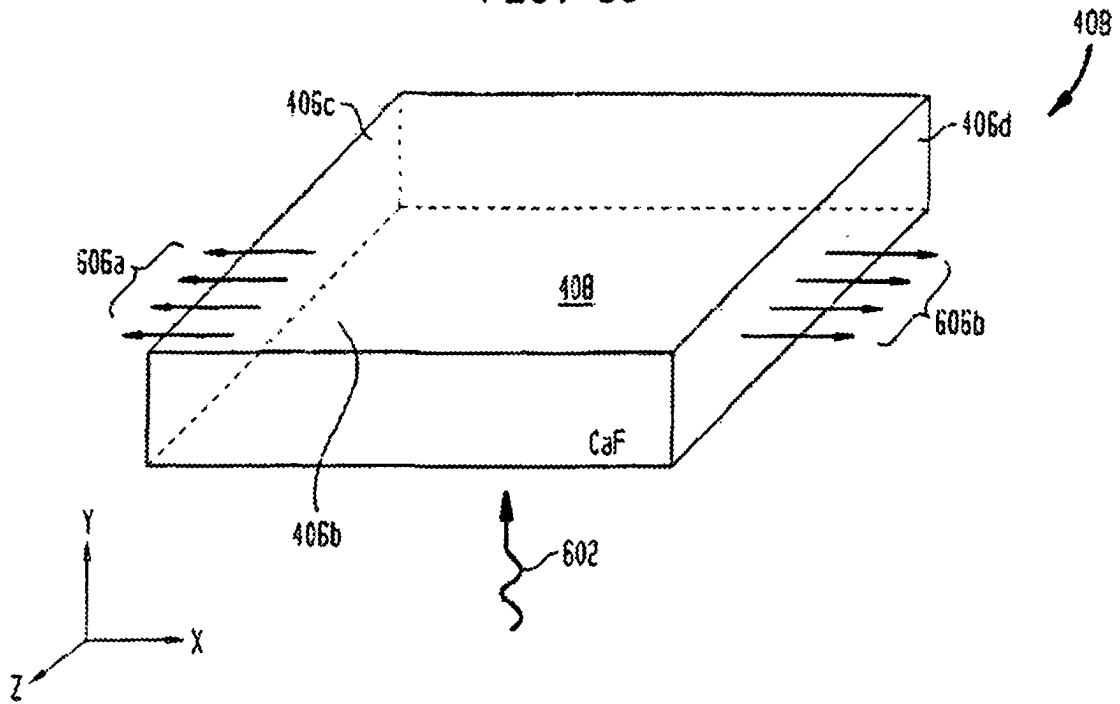


FIG. 6D

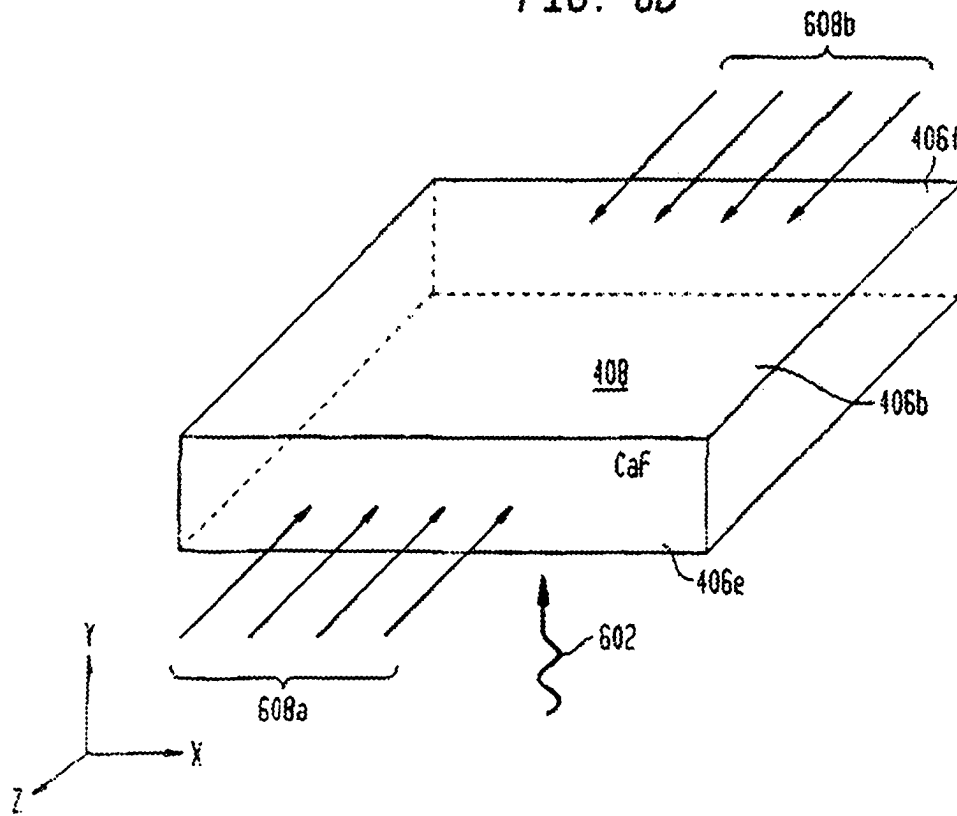


FIG. 6E

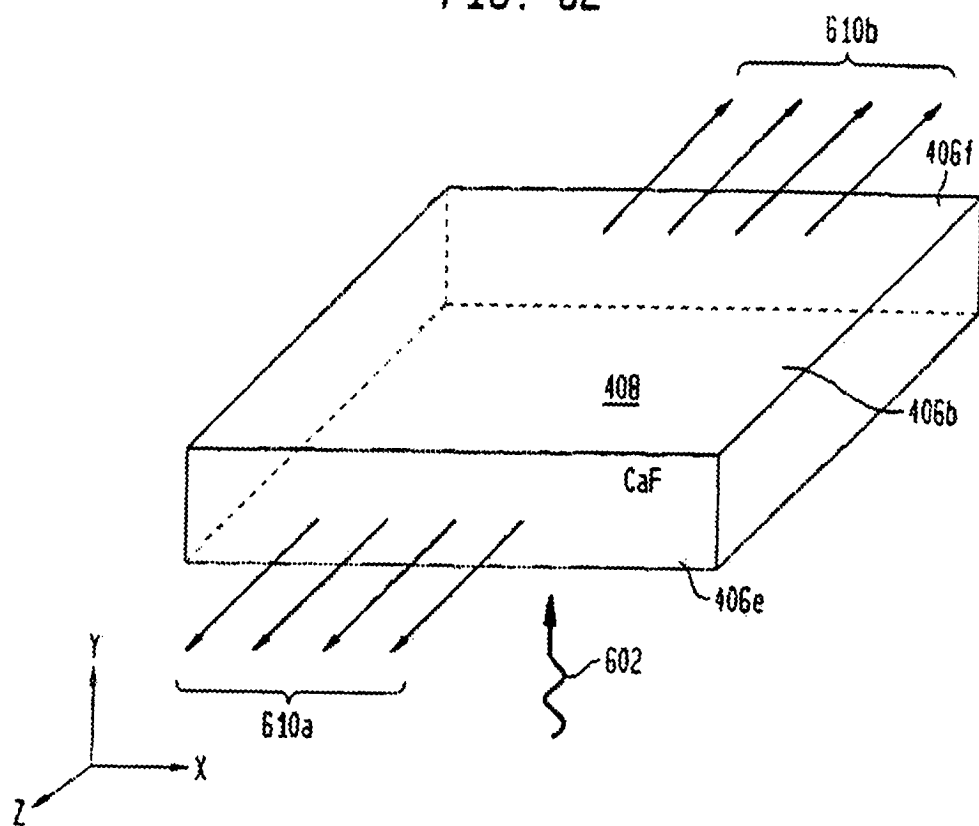


FIG. 6F

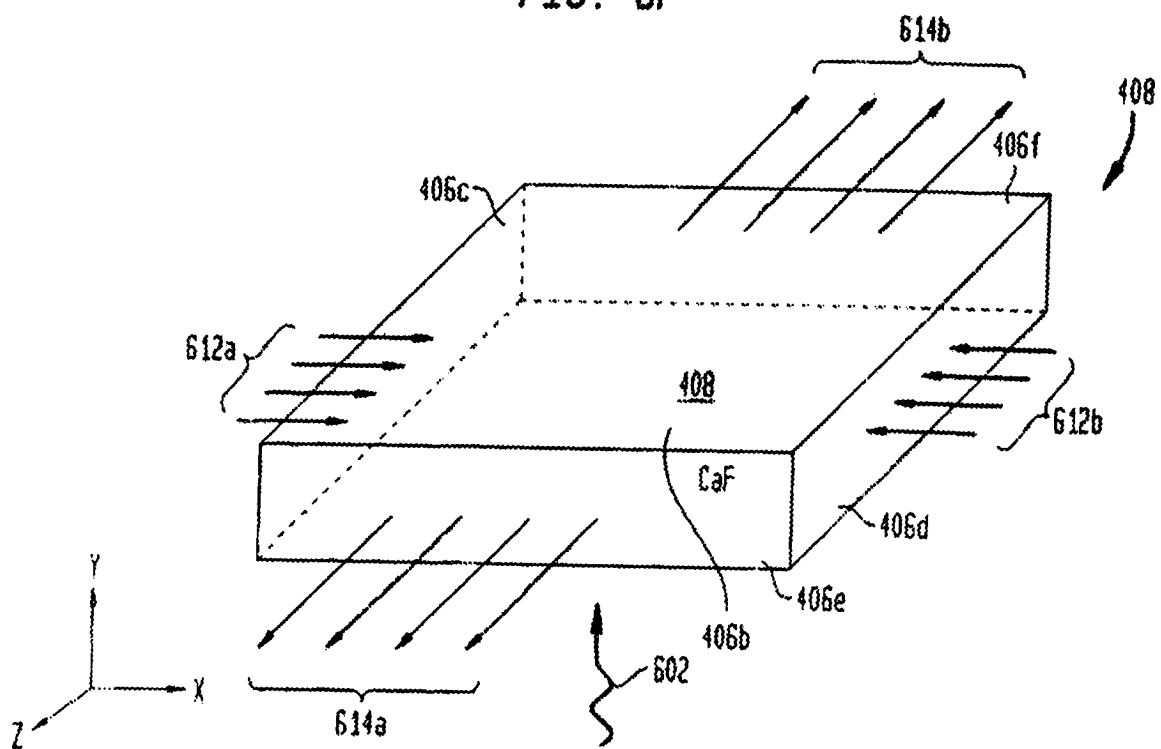


FIG. 6G

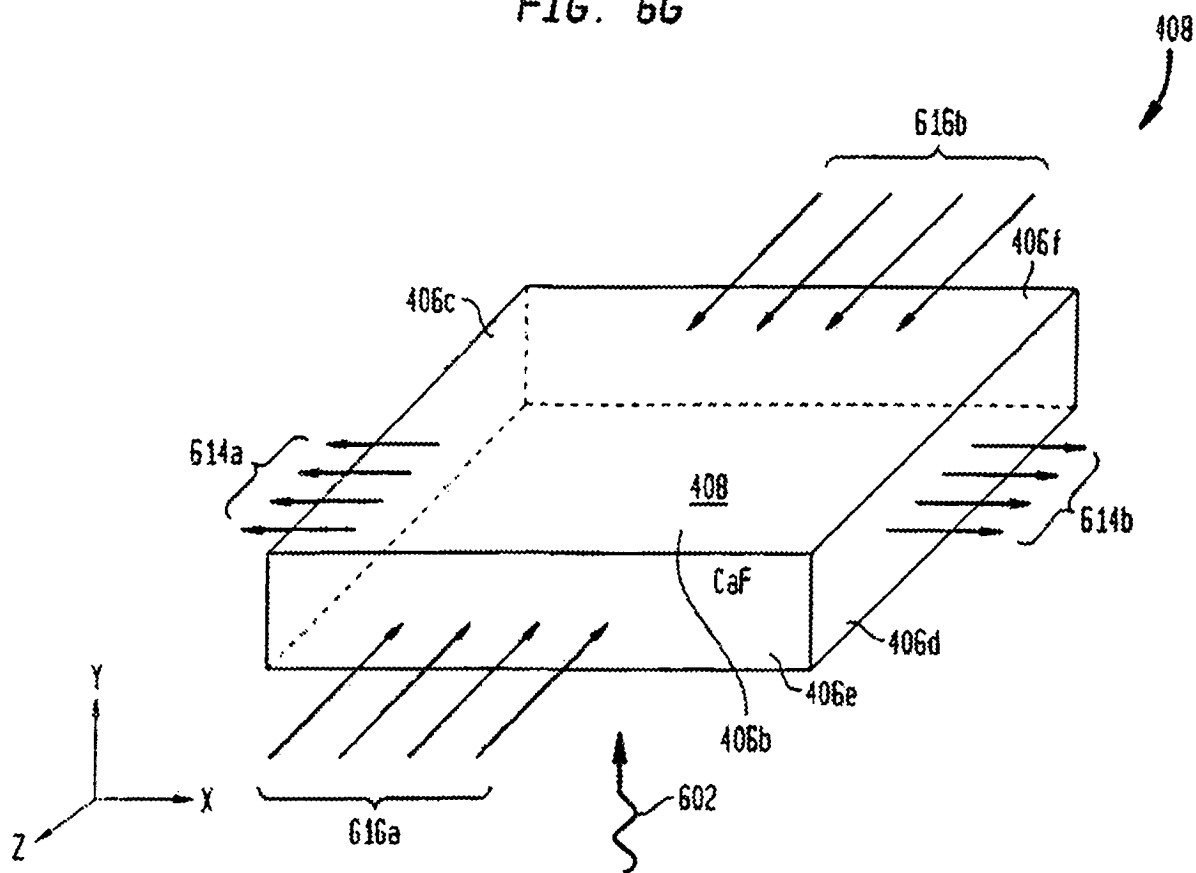


FIG. 7

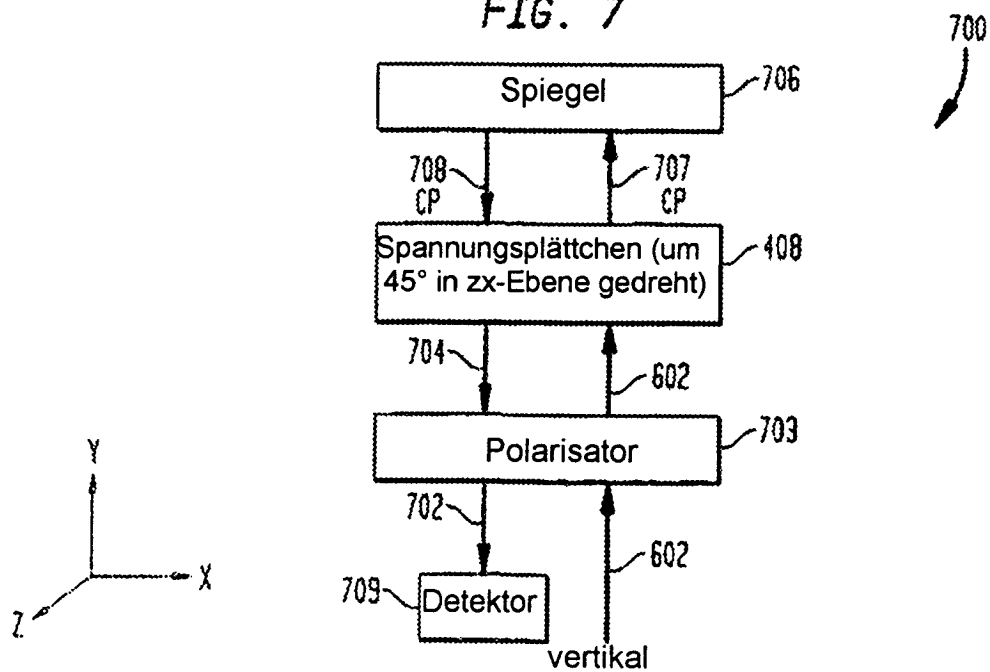
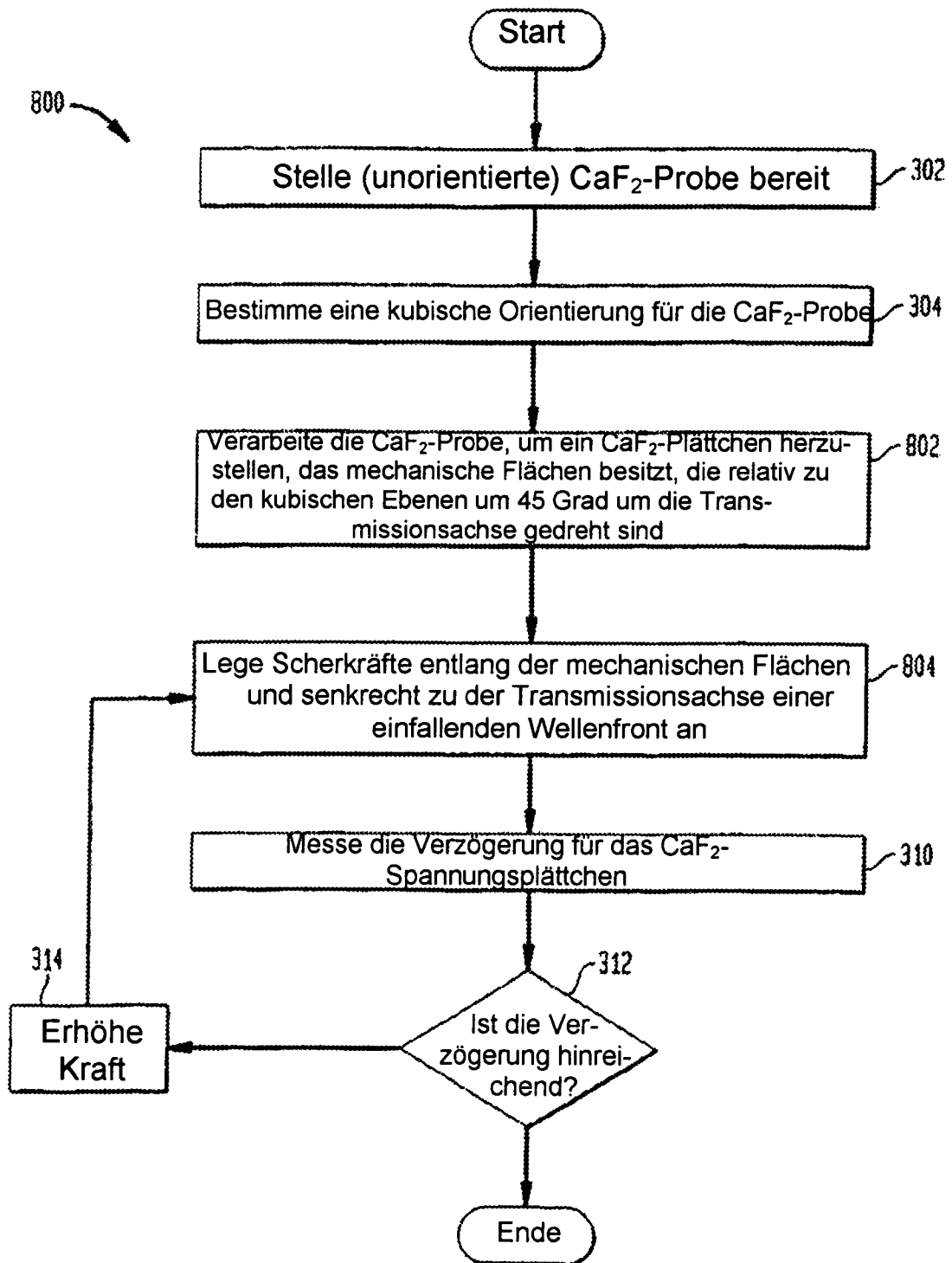


FIG. 8



900

FIG. 9

Schneide ein  $\text{CaF}_2$ -Plättchen von der  $\text{CaF}_2$ -Probe, so dass vier der mechanischen Flächen um 45 Grad relativ zu den kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen gedreht sind, und die verbleibenden zwei mechanischen Flächen in kubischen  $\text{CaF}_2$ -Ebenen liegen

902

802

Poliere das  $\text{CaF}_2$ -Plättchen auf eine kommerzielle Polierung

904

FIG. 10A

1002

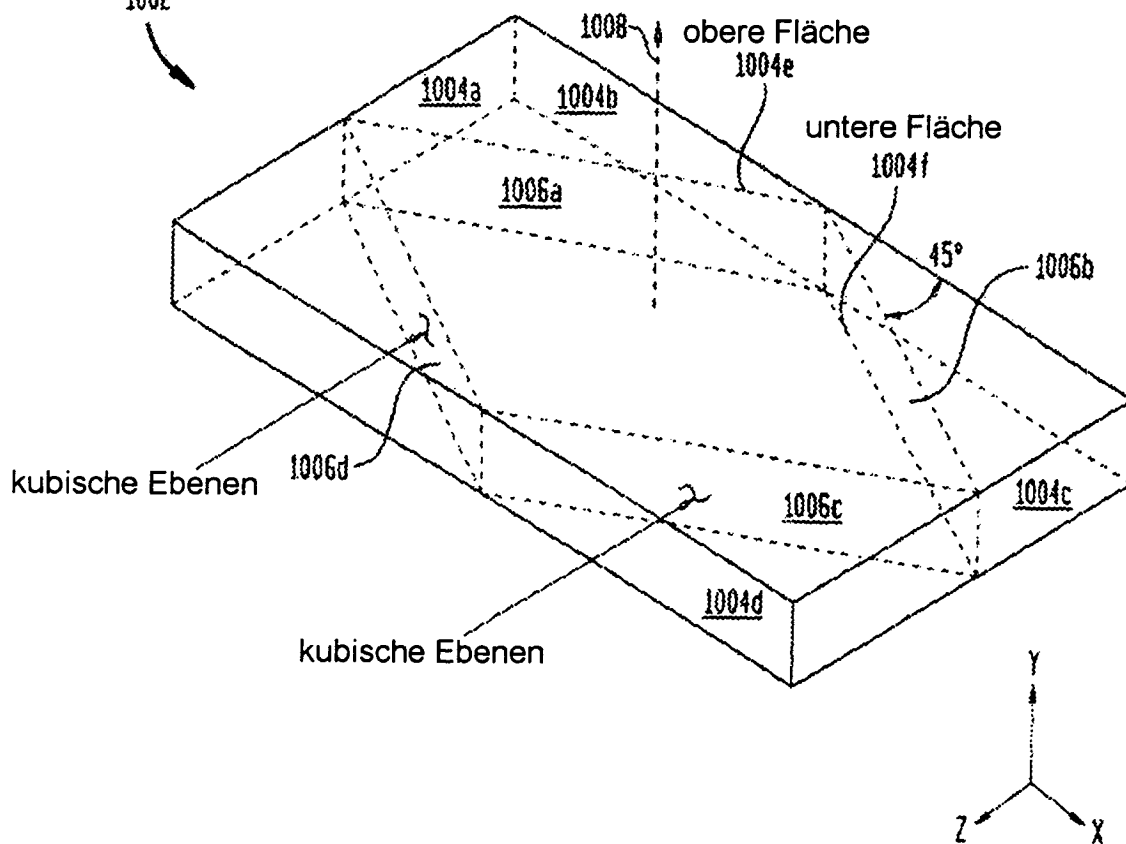


FIG. 10B

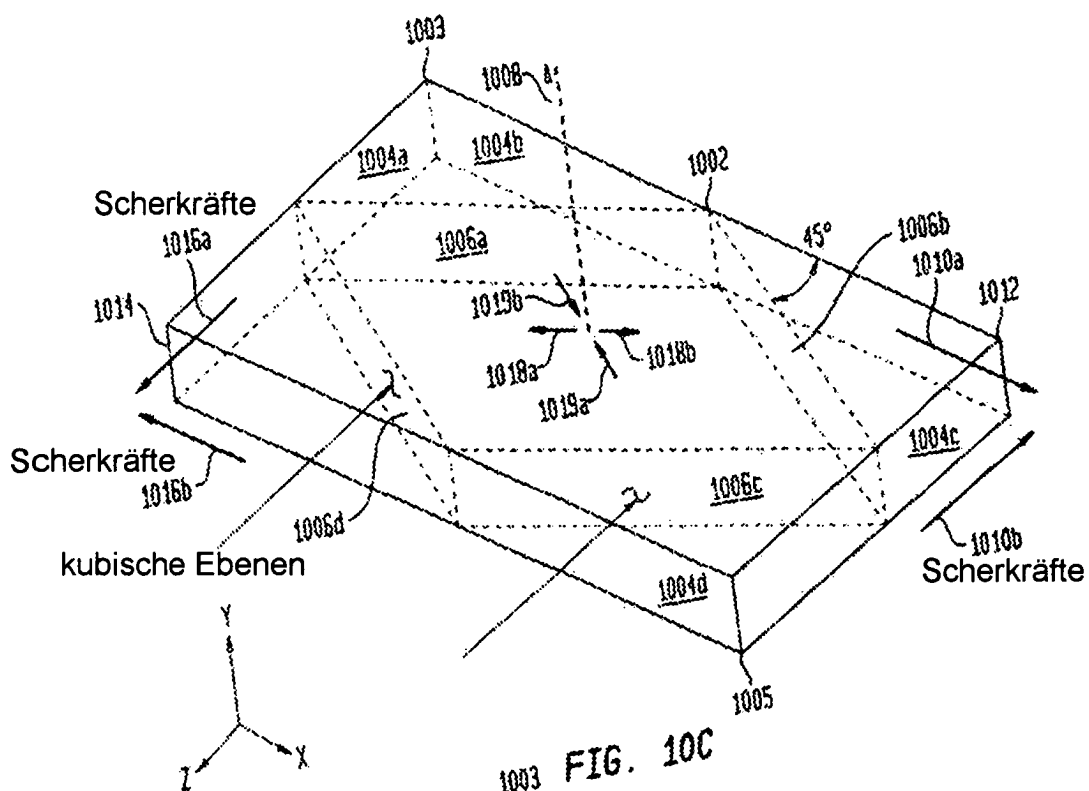


FIG. 10C

