



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 697 20 543 T2 2004.02.19

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 993 357 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 697 20 543.6

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US97/22492

(96) Europäisches Aktenzeichen: 97 953 113.4

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 99/001269

(86) PCT-Anmeldetag: 09.12.1997

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 14.01.1999

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 19.04.2000

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 02.04.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 19.02.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: B29C 33/38

B29D 11/00

(30) Unionspriorität:

887074 02.07.1997 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(73) Patentinhaber:

Minnesota Mining and Mfg. Co., Saint Paul, Minn.,  
US

(72) Erfinder:

BENSON, M., Gerald, Saint Paul, US; KELLIHER,  
C., John, Saint Paul, US; SMITH, L., Kenneth, Saint  
Paul, US

(74) Vertreter:

Vossius & Partner, 81675 München

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM HERSTELLEN MEHRERER PLÄTTCHEN ZUR VERWENDUNG IN EINEM  
FORMWERKZEUG FÜR RETROREFLEKTIVE WÜRFELECKENGEGENSTÄNDE, FORMWERKZEUG UND ER-  
ZEUGTE GEGENSTÄNDE

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 eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

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

**Beschreibung****Gebiet der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein zur Herstellung von retroreflektierenden Würfeleckenfolien verwendbare Formen bzw. Formwerkzeuge, Verfahren zur Herstellung derselben und mit solchen Formwerkzeugen hergestellte retroreflektierende Folien. Insbesondere betrifft die Erfindung aus mehreren dünnen Plättchen hergestellte Formwerkzeuge und Verfahren zur Herstellung derselben.

**Hintergrund der Erfindung**

[0002] Retroreflektierende Materialien sind durch die Fähigkeit gekennzeichnet, auf das Material auftreffendes Licht wieder zurück zur ursprünglichen Lichtquelle zu lenken. Diese Eigenschaft hat zu der weit verbreiteten Verwendung von retroreflektierenden Folien in verschiedenen auffallenden Anwendungen geführt. Eine retroreflektierende Folie wird oft auf flachen starren Gegenständen, wie beispielsweise Straßenmarkierungen und Hindernissen, angebracht; sie wird ebenfalls auf unebenen oder biegsamen Oberflächen verwendet. Zum Beispiel kann eine retroreflektierende Folie auf die Seitenwand eines LKW-Anhängers geklebt werden, wobei die Folie über Rillen und hervorstehende Nieten hinweg laufen muß, oder die Folie kann an einen biegsamen Körperabschnitt, wie beispielsweise an eine Sicherheitsweste eines Straßenarbeiters, oder eine andere derartige Sicherheitskleidung, geklebt werden. In Situationen, in welchen die darunter liegende Oberfläche uneben oder biegsam ist, besitzt die retroreflektierende Folie wünschenswert die Fähigkeit, sich der darunter liegenden Oberfläche anzupassen, ohne die retroreflektierende Eigenschaft zu verlieren. Außerdem wird eine retroreflektierende Folie oft in gerolltem Zustand verpackt und versandt, was erfordert, daß die Folie ausreichend biegsam ist, um sich um einen Kern wickeln zu lassen.

[0003] Zwei bekannte Typen von retroreflektierenden Folien sind Folien auf der Basis von Mikrokügelchen und Würfelecken-Folien. Eine Mikrokügelchen-Folie, manchmal als "Perlenfolie" bezeichnet, verwendet eine große Anzahl von Mikrokügelchen, die typisch mindestens teilweise in einer Binde schicht eingebettet sind und mit spiegelnden oder diffus reflektierenden Materialien (z. B. Pigmentpartikel, Metallsplitter oder aufgedampfte Schichten) verbunden sind, um einfallendes Licht zu retroreflektieren. Anschauungsbeispiele sind in den US-Patenten Nr. 3 190 178 (McKenzie), 4 025 159 (McGrath) und 5 066 098 (Kult) offenbart. Vorteilhafterweise kann die Mikrokügelchen-Folie allgemein auf geriffelte oder biegsame Oberflächen geklebt werden. Außerdem zeigt eine Mikrokügelchen-Folie aufgrund der Symmetrie der Perlen-Retroreflektoren eine relativ richtungskonstante totale Lichtreflexion bei einer Drehung um eine

Achse senkrecht zur Oberfläche der Folie. Somit hat eine solche Mikrokügelchen-Folie eine relativ geringe Empfindlichkeit in bezug auf die Orientierung, in welcher sich die Folie auf einer Oberfläche befindet. Im allgemeinen jedoch hat eine solche Folie einen geringeren retroreflektierenden Wirkungsgrad als eine Würfeleckenfolie.

[0004] Eine retroreflektierende Würfeleckenfolie weist einen Körperabschnitt, typisch mit einer im wesentlichen Planaren Basisoberfläche, und eine strukturierte Oberfläche auf, die mehrere Würfeleckenelemente gegenüber der Basisfläche aufweist. Jedes Würfeleckenelement weist drei im wesentlichen zueinander senkrechte optische Flächen auf, die sich in einem einzigen Bezugspunkt oder Apex schneiden. Die Basis des Würfeleckenelements dient als eine Öffnung, durch welche Licht in das Würfeleckenelement durchgelassen wird. In Gebrauch wird auf die Basisfläche der Folie auftreffendes Licht an der Basisfläche der Folie gebrochen, durch die Basen der an der Folie angeordneten Würfeleckenelemente hindurch gelassen, von jeder der drei senkrechten optischen Würfeleckenflächen reflektiert und zur Lichtquelle zurück gelenkt. Die Symmetriearchse, auch optische Achse genannt, eines Würfeleckenelements ist die Achse, die durch den Würfeleckenapex verläuft und mit den drei optischen Flächen des Würfeleckenelements einen gleichen Winkel bildet. Würfeleckenelemente zeigen typisch den höchsten optischen Wirkungsgrad als Antwort auf Licht, das in etwa entlang der optischen Achse auf der Basis des Elements auftrifft. Die von einem Würfelecken-Retroreflektor retroreflektierte Lichtmenge nimmt ab, wenn der Einfallsinkel von der optischen Achse abweicht.

[0005] Der maximale retroreflektierende Wirkungsgrad einer retro-reflektierenden Würfeleckenfolie ist eine Funktion der Geometrie der Würfeleckenelemente an der strukturierten Oberfläche der Folie. Die Begriffe "aktives Gebiet" und "effektive Öffnung" werden auf dem Fachgebiet der Würfelecken verwendet, um den Anteil des Würfeleckenelements zu kennzeichnen, der auf der Basis des Elements auftreffendes Licht retroreflektiert. Eine detaillierte Unterrichtung hinsichtlich der Bestimmung der aktiven Öffnung für die Gestaltung eines Würfeleckenelements geht über den Bereich der vorliegenden Offenbarung hinaus. Eine Vorgehensweise zur Bestimmung der effektiven Öffnung einer Würfeleckengeometrie ist in Eckardt, Applied Optics, Bd. 10, Nr. 7, Juli 1971, pp 1559-1566 vorgelegt. Das US-Patent Nr. 835 648 von Straubel diskutiert ebenfalls das Konzept der effektiven Öffnung. Bei einem gegebenen Einfallsinkel kann das aktive Gebiet durch den topologischen Schnitt der Projektion der drei Würfeleckenflächen auf eine zum gebrochenen auftreffenden Licht senkrechte Ebene mit der Projektion der Bildflächen für die dritten Reflexionen auf die gleiche Ebene bestimmt werden. Der Begriff "prozentuales aktives Gebiet" wird dann definiert als das aktive Gebiet dividiert durch das gesamte Gebiet der Projektion der Würfe-

leckenflächen. Der retroreflektierende Wirkungsgrad der retroreflektierenden Folie korreliert direkt mit dem prozentualen aktiven Gebiet der Würfeleckenelemente an der Folie.

[0006] Eine vorhergesagte totale Lichtreflexion (TLR) für eine Anordnung aus aufeinander abgestimmten Würfeleckenpaaren kann aus der Kenntnis des prozentualen aktiven Gebiets und der Strahlenintensität berechnet werden. Die Strahlenintensität kann durch Verluste an der Vorderfläche und durch Reflexion von jeder der drei Würfeleckenflächen für einen retroreflektierten Strahl verringert sein. Die totale Lichtreflexion ist definiert als das Produkt aus dem prozentualen aktiven Gebiet und der Strahlenintensität oder als der Prozentsatz des auftreffenden Lichts, der retroreflektiert wird. Eine Diskussion der totalen Lichtreflexion für direkt gearbeitete Würfeleckenanordnungen ist im US-Patent Nr. 3 712 706 (Stamm) gegeben.

[0007] Außerdem sind die optischen Eigenschaften des retroreflektierenden Musters der retroreflektierenden Folie zum Teil eine Funktion der Geometrie der Würfeleckenelemente. So- mit können Verzerrungen in der Geometrie der Würfeleckenelemente entsprechende Verzerrungen in den optischen Eigenschaften der Folie hervorrufen. Um eine unerwünschte physikalische Verformung zu verhindern, sind die Würfeleckenelemente einer retroreflektierenden Folie typisch aus einem Material hergestellt, das einen relativ hohen Elastizitätsmodul hat, der ausreichend ist, um die physikalische Verzerrung der Würfeleckenelemente während eines Biegens oder elastischen Dehnens der Folie zu verhindern. Wie oben diskutiert, ist es oft erwünscht, daß eine retroreflektierende Folie genügend biegsam ist, um ein Ankleben der Folie an ein Substrat zu erlauben, das gerillt ist oder das selbst biegsam ist, oder um zur Aufbewahrung oder zum Versenden ein Wickeln der retroreflektierenden Folie in eine Rolle zu erlauben.

[0008] Eine retroreflektierende Würfeleckenfolie wird hergestellt, indem zuerst ein Masterformwerkzeug hergestellt wird, das entweder ein negatives oder positives Bild einer gewünschten Würfeleckenlementgeometrie enthält. Das Formwerkzeug kann unter Verwendung von galvanischer Vernickelung, chemischer Dampfphasenabscheidung oder physikalischer Dampfphasenabscheidung repliziert werden, um ein Formwerkzeug für retroreflektierende Würfeleckenfolien zu erzeugen.

[0009] Das US-Patent Nr. 5 156 863 von Prcone et al. stellt einen anschaulichen Überblick eines Verfahrens zur Herstellung von Werkzeug bereit, das bei der Herstellung von retroreflektierenden Würfeleckenfolien verwendet wird. Bekannte Verfahren zur Herstellung des Masterformwerkzeugs umfassen Stiftbündelungstechniken, direkte Bearbeitungstechniken und Laminierungstechniken. Jede dieser Techniken hat Vorteile und Grenzen.

[0010] Bei den Stiftbündelungstechniken werden mehrere Stifte, jeder mit einer geometrischen Gestalt

an einem Ende, zusammen gestellt, um eine retroreflektierende Würfeleckenoberfläche zu bilden. Die US-Patente Nr. 1 591 572 (Stimson), 3 926 402 (Heenan), 3 541 606 (Heenan et al.) und 3 632 695 von Howell stellen Anschauungsbeispiele bereit. Stiftbündelungstechniken bieten die Möglichkeit, eine große Vielfalt an Würfeleckengeometrien in einem einzigen Formwerkzeug zu fertigen. Für die Herstellung kleiner Würfeleckenelemente (z. B. kleiner als ungefähr 1,0 Millimeter) sind Stiftbündelungstechniken jedoch wirtschaftlich und technisch unpraktisch. [0011] Bei den direkten Bearbeitungstechniken wird eine Reihe von Rillen in einem Einheitssubstrat gebildet, um eine retroreflektierende Würfeleckenoberfläche zu bilden. Die US-Patente Nr. 3 712 706 von Stamm und 4 588 258 von Hoopman stellen Anschauungsbeispiele bereit. Direkte Bearbeitungstechniken bieten die Möglichkeit, sehr kleine Würfeleckenelemente, die mit einer biegsamen retroreflektierenden Folie verträglich sind, präzise zu arbeiten. Jedoch ist es derzeit nicht möglich, gewisse Würfeleckengeometrien, die sehr hohe effektive Öffnungen bei niedrigen Eintrittswinkeln haben, unter Verwendung von direkten Bearbeitungstechniken zu erzeugen. Beispielsweise ist die maximale theoretische totale Lichtreflexion der im US-Patent Nr. 3 712 706 dargestellten Würfeleckenelement-Geometrie ungefähr 67%.

[0012] Bei den Laminierungstechniken werden mehrere Plättchen, jedes Plättchen mit einer geometrischen Gestalt an einem Ende, zusammengestellt, um eine retroreflektierende Würfeleckenfläche zu bilden. Die deutsche Offenlegungsschrift (OS) 19 17 292, die internationalen Veröffentlichungen Nr. WO 94/18581 (Bohn et al.), WO 97/04939 (Mimura et al.) und WO 97/04940 (Mimura et al.) offenbaren jeweils einen geformten Reflektor, in welchem eine gerillte Oberfläche an mehreren Platten gebildet wird. Die Platten werden dann in einem gewissen Winkel geneigt und jede zweite Platte wird kreuzweise verschoben. Dieses Verfahren hat mehrere Würfeleckenelemente zur Folge, wobei jedes Element aus zwei bearbeiteten Oberflächen an einer ersten Platte und einer Seitenfläche an einem zweiten Platte gebildet ist. Das deutsche Patent DE 42 36 799 von Gubela offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines Formwerkzeugs mit einer kubischen Oberfläche zur Herstellung von Würfelecken. Eine schräge Oberfläche wird in einer ersten Richtung über die gesamte Länge einer Kante eines Bandes geschliffen oder geschnitten. Mehrere Kerben werden dann in einer zweiten Richtung gebildet, um an dem Band Würfeleckenreflektoren zu bilden. Schließlich werden mehrere Kerben vertikal in den Seiten des Bandes gebildet. Das vorläufige deutsche Patent 44 10 994 C2 von Gubela ist ein verwandtes Patent. Die im Patent 44 10 994 C2 offenbarten Reflektoren sind durch die reflektierenden Oberflächen mit einer konkaven Krümmung gekennzeichnet.

## Kurze Zusammenfassung der Erfindung

[0013] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Masterform bzw. ein Masterformwerkzeug, das zur Herstellung einer retroreflektierenden Folie bzw. eines retroreflektierenden Bahnenmaterials aus mehreren Plättchen verwendbar ist, und Verfahren zur Herstellung desselben. Vorteilhafterweise ermöglichen die gemäß den hierin offenbarten Verfahren hergestellten Masterformwerkzeuge die Herstellung einer retroreflektierenden Würfeleckenfolie, die retroreflektierende Wirkungsgrade von fast 100 hat. Um die Herstellung einer biegsamen retroreflektierenden Folie zu erleichtern, ermöglichen die offenbarten Verfahren die Herstellung von retroreflektierenden Würfeleckenelementen mit einer so kleinen Breite wie 0,010 Millimeter. Außerdem ermöglicht die vorliegende Anmeldung die Herstellung einer retroreflektierenden Würfeleckenfolie, die ein symmetrisches Retroreflektivitätsvermögen in mindestens zwei unterschiedlichen Orientierungen zeigt. Leistungsfähige kostensparende Verfahren zur Herstellung von aus mehreren Plättchen gebildeten Formwerkzeugen werden ebenfalls offenbart.

[0014] Mehrere Plättchen werden gleichzeitig bearbeitet, um mehrere Würfeleckenelemente zu bilden. Die drei zueinander senkrechten optischen Flächen jedes Würfeleckenelements werden vorzugsweise an einem der mehreren Plättchen gebildet. Das heißt, einzelne oder diskrete Würfeleckenelemente erstrecken sich nicht weiter als über ein einziges Plättchen. Alle drei optischen Flächen werden vorzugsweise durch den Bearbeitungsvorgang gebildet, um optische Qualitätsoberflächen zu gewährleisten. Vorzugsweise wird während der Bearbeitungsphase und anschließend daran eine Planare Grenzfläche zwischen benachbarten Plättchen aufrechterhalten, um so Ausrichtungsprobleme und Schäden aufgrund des Hantierens mit den Plättchen zu minimieren.

[0015] Mehrere Plättchen werden hergestellt, um in einem Formwerkzeug verwendet zu werden, das bei der Herstellung von retroreflektierenden Würfelecken-Gegenständen verwendbar ist. Jedes Plättchen hat eine erste und zweite Hauptfläche, die sich gegenüberliegen und dazwischen eine erste Bezugsebene definieren. Jedes Plättchen weist ferner eine Bearbeitungsfläche auf, die die erste und zweite Hauptfläche verbindet. Die Arbeitsfläche definiert eine zweite Bezugsebene, die im, wesentlichen parallel zur Bearbeitungsfläche und senkrecht zur ersten Bezugsebene ist, und eine dritte Bezugsebene, die senkrecht zur ersten Bezugsebene und zur zweiten Bezugsebene ist. Das Verfahren umfaßt Orientieren mehrerer Plättchen, so daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen parallel zueinander sind und in einem ersten Winkel relativ zu einer festen Bezugsachse angeordnet sind. Mindestens zwei Rillensätze werden in der Bearbeitungsfläche gebildet. Jeder Rillensatz umfaßt mindestens zwei parallele benachbarte V-förmige Rillen in der Bearbeitungsfläche des Plätt-

chens. Die mindestens zwei Rillensätze bilden erste, zweite und dritte Rillenflächen, die sich im wesentlichen orthogonal schneiden, um mehrere Würfeleckenelemente zu bilden. Jedes Würfeleckenelement befindet sich vorzugsweise im wesentlichen an einem der mehreren Plättchen. Die mehreren Plättchen können vor Bildung mindestens eines der Rillensätze in einem zweiten Winkel relativ zur festen Bezugsachse orientiert werden.

[0016] In einer Ausführungsform umfaßt der Schritt der Bildung mindestens zweier Rillensätze die Bildung eines ersten Rillensatzes, der mindestens zwei parallele benachbarte Vförmige Rillen umfaßt, in der Bearbeitungsfläche jedes Plättchens. Jede der zwei benachbarten Rillen definiert eine erste Rillenfläche und eine zweite Rillenfläche, die sich im wesentlichen orthogonal schneiden, um eine erste Bezugsfläche an jedem jeweiligen Plättchen zu bilden. Ein zweiter Rillensatz, der mindestens eine Rille umfaßt, wird in den Bearbeitungsflächen der mehreren Plättchen gebildet. Jede Rille im zweiten Rillensatz definiert eine dritte Rillenfläche, die sich im wesentlichen orthogonal mit der ersten und zweiten Rillenfläche schneidet, um mindestens ein Würfeleckenelement zu bilden, das sich im wesentlichen an einem einzigen Plättchen befindet.

[0017] Das erste Würfeleckenelement weist vorzugsweise mehrere Würfeleckenelemente auf. Jedes der mehreren Würfeleckenelemente befindet sich im wesentlichen an einem einzigen Plättchen. Eine Grenzfläche zwischen benachbarten ersten und zweiten Hauptflächen ist vorzugsweise planar. Jedes Plättchen hat eine Dicke zwischen ungefähr 0,025 Millimeter und ungefähr 1,0 Millimeter und stärker bevorzugt von ungefähr 0,1 bis ungefähr 0,6 Millimeter.

[0018] Das Verfahren umfaßt den Schritt der Orientierung der mehreren Plättchen, der die Zusammensetzung der Plättchen in einer Spannvorrichtung umfaßt, die eine Basisebene definiert. Der erste Winkel beträgt zwischen ungefähr 5° und ungefähr 85° relativ zu einer zur Basisebene senkrechten, festen Bezugsachse und stärker bevorzugt zwischen ungefähr 10° und ungefähr 65° und am stärksten bevorzugt ungefähr 25° bis ungefähr 45°.

[0019] Der Schritt der Bildung der Rillensätze umfaßt das Bilden mindestens eines der Rillensätze parallel zur durch die Spannvorrichtung definierten Basisebene. Alternativ können die Rillensätze in einem spitzen Winkel relativ zur durch die Spannvorrichtung definierten Basisebene gebildet werden. Die Rillensätze können auch gebildet werden, um den Abstand zwischen benachbarten Rillen in unterschiedlichen Tiefen in der Bearbeitungsfläche der Plättchen zu variieren.

[0020] Das Verfahren der Bildung der Rillensätze kann das Abtragen von Abschnitten jedes der mehreren Plättchen unmittelbar an der Bearbeitungsfläche der mehreren Plättchen unter Verwendung einer Materialabtragungstechnik aufweisen. Die ersten, zweiten und dritten Rillenflächen werden im wesentlichen

mit der Materialabtragungstechnik gebildet. Die Rillensätze können durch Hervorrufen einer relativen Bewegung zwischen den mehreren Plättchen und einem Schneidwerkzeug gebildet werden. Der Schritt der Bildung der Rillensätze umfaßt einen Bearbeitungsvorgang, ausgewählt aus der Gruppe von Bearbeitungsvorgängen bestehend aus Liniieren, Schlagfräsen, Schleifen und Fräsen. Die Rillen haben vorzugsweise einen Einschlußwinkel, der zwischen ungefähr 10° und ungefähr 170° beträgt.

[0021] In einer Ausführungsform können vor Bildung des zweiten Rillensatzes die mehreren Plättchen orientiert werden, so daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen parallel zueinander und in einem zweiten Winkel relativ zur festen Bezugsachse sind. Der Schritt der Orientierung der mehreren Plättchen, so daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen parallel zueinander und in einem zweiten Winkel relativ zur festen Bezugsachse angeordnet sind, umfaßt neues Zusammenstellen der mehreren Plättchen in einer geeigneten Spannvorrichtung. In einer Ausführungsform umfaßt der Schritt der Orientierung der mehreren Plättchen, so daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen parallel zueinander und in einem zweiten Winkel relativ zur festen Bezugsachse angeordnet sind, Drehen der mehreren Plättchen um 180° um eine zur zweiten Bezugsebene senkrechte Achse.

[0022] Die Würfeleckenelemente sind typisch in gegengleichen Paaren angeordnet. In einer alternativen Ausführungsform können die optischen Achsen der Würfeleckenelemente allgemein parallel sein, um eine asymmetrische Totallichtreflexion über einen 360°-Bereich von Orientierungswinkeln bereitzustellen.

[0023] Ebenfalls offenbart ist ein Verfahren der Replikation (Abdruckherstellung) der Bearbeitungsfläche des Formwerkzeugs, um eine Negativkopie der mehreren Würfeleckenelemente herzustellen, die als Formwerkzeug für retroreflektierende Gegenstände verwendbar ist, und ein daraus erzeugtes Formwerkzeug. Ein retroreflektierender Gegenstand kann aus dem Formwerkzeug bzw. der Form, das die Negativkopie bildet, hergestellt werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0024] **Fig. 1** ist eine Perspektivansicht eines einzelnen Plättchens, das für eine Verwendung in den offebarten Verfahren geeignet ist.

[0025] **Fig. 2** ist eine Perspektivansicht von mehreren solchen Plättchen.

[0026] **Fig. 3** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen, die in einer ersten Orientierung orientiert sind.

[0027] **Fig. 4** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen ersten Bearbeitungsvorgang.

[0028] **Fig. 5** ist eine Seitenansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen ersten Bearbeitungsvorgang.

[0029] **Fig. 6** ist eine Endansicht der mehreren in **Fig. 5** dargestellten Plättchen, die in einer zweiten Orientierung orientiert sind.

[0030] **Fig. 7** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen, die in einer zweiten Orientierung orientiert sind, wobei jedes zweite Plättchen um 180° gedreht worden ist.

[0031] **Fig. 8** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen zweiten Bearbeitungsvorgang.

[0032] **Fig. 9** ist eine Ansicht von oben auf die mehreren Plättchen im Anschluß an einen zweiten Bearbeitungsvorgang.

[0033] **Fig. 10** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen, die in einer ersten Orientierung orientiert sind.

[0034] **Fig. 11** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen ersten Bearbeitungsvorgang.

[0035] **Fig. 12** ist eine Seitenansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen ersten Bearbeitungsvorgang.

[0036] **Fig. 13** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen, die in einer zweiten Orientierung orientiert sind.

[0037] **Fig. 14** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen zweiten Bearbeitungsvorgang.

[0038] **Fig. 15** ist eine Seitenansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen zweiten Bearbeitungsvorgang.

[0039] **Fig. 16** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen dritten Bearbeitungsvorgang.

[0040] **Fig. 17** ist eine Ansicht von oben auf die mehreren Plättchen im Anschluß an einen dritten Bearbeitungsvorgang.

[0041] **Fig. 18** ist eine Perspektivansicht eines einzelnen Plättchens gemäß dem Verfahren von **Fig. 10–17**.

[0042] **Fig. 19** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen, die in einer ersten Orientierung orientiert sind.

[0043] **Fig. 20** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen ersten Bearbeitungsvorgang.

[0044] **Fig. 21** ist eine Seitenansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen ersten Bearbeitungsvorgang.

[0045] **Fig. 22** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen, die in einer zweiten Orientierung orientiert sind.

[0046] **Fig. 23** ist eine Endansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen zweiten Bearbeitungsvorgang.

[0047] **Fig. 24** ist eine Seitenansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen zweiten Bearbeitungsvorgang.

[0048] **Fig. 25** ist eine Seitenansicht der mehreren Plättchen im Anschluß an einen dritten Bearbeitungs-

vorgang.

[0049] **Fig. 26** ist eine Ansicht von oben auf die mehreren Plättchen im Anschluß an einen dritten Bearbeitungsvorgang.

[0050] **Fig. 27** ist eine Perspektivansicht eines einzelnen Plättchens gemäß dem Verfahren von **Fig. 19–26**.

#### Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0051] Mehrere Plättchen werden gleichzeitig bearbeitet, um mehrere Voll-Würfeleckenelemente zu bilden. Die drei zueinander senkrechten optischen Flächen jedes Würfeleckenelements werden vorzugsweise an einem einzigen Plättchen gebildet. Alle drei optischen Flächen werden vorzugsweise durch den Bearbeitungsvorgang gebildet, um optische Qualitätsoberflächen zu gewährleisten. Vorzugsweise wird während der Bearbeitungsphase und im Anschluß daran eine planare Grenzfläche zwischen benachbarten Plättchen aufrechterhalten, um Ausrichtungsprobleme und Schäden während des Hantierens mit den Plättchen zu minimieren.

[0052] Bei der Beschreibung der verschiedenen Ausführungsformen wird aus Gründen der Verständlichkeit eine spezielle Terminologie verwendet. Eine solche Terminologie beabsichtigt jedoch keine Einschränkung und selbstverständlich umfaßt jeder so gewählte Begriff alle technischen Äquivalente, die ähnlich funktionieren. Die offenbarten Verfahren können verwendet werden, um retroreflektierende Elemente in vielfältigen Größen und Gestalten zu bilden, wie beispielsweise Vollwürfelekenelemente und Würfelstumpfleckenelemente. Die Basiskanten benachbarter Würfelstumpfleckenelemente in einer Anordnung sind typisch koplanar. Die Basiskanten benachbarter Vollwürfelecken in einer Anordnung sind nicht in der gleichen Ebene. Hiermit eingereichte verwandte Anmeldungen gleichen Datums umfassen: "Cube Corner Sheeting Mold and Method Making the Same (US-Seriennr. 08/886074); Retroreflektierende Cube Corner Sheeting Mold and Sheeting Formed Therefrom (US-Seriennr. 08/886998); Retroreflektierende Cube Corner Sheeting, Molds Therefore, and Methods of Making the Same (US-Seriennr. 08/887390); Tiled Retroreflektierende Sheeting Composed of Highly Canted Cube Corner Elements (US-Seriennr. 08/887389); Dual Orientation Retroreflektierende Sheeting (US-Seriennr. 08/887006).

[0053] Zum Zwecke der Beschreibung kann ein kartesisches Koordinatensystem über das Plättchen **10** gelegt werden. Eine erste Bezugsebene **24** liegt mittig zwischen einer ersten Hauptfläche **12** und einer zweiten Hauptfläche **14**. Die erste Bezugsebene **24**, als x-z-Ebene bezeichnet, hat die Y-Achse als ihren Normalenvektor. Eine zweite Bezugsebene **26**, als x-y-Ebene bezeichnet, erstreckt sich im wesentlichen koplanar mit der Bearbeitungsfläche **16** des Plätt-

chens **10** und hat die z-Achse als ihren Normalenvektor. Eine dritte Bezugsebene **28**, als y-z-Ebene bezeichnet, liegt mittig zwischen einer ersten Endfläche **20** und einer zweiten Endfläche **22** und hat die x-Achse als ihren Normalenvektor. Obwohl verschiedene geometrische Merkmale hierin mit Bezug auf, solche kartesischen Bezugsebenen beschrieben werden, ist ersichtlich, daß sie unter Verwendung anderer Koordinatensysteme oder mit Bezug auf die Struktur des Plättchens beschrieben werden können.

[0054] Eine Ausführungsform eines Plättchens sowie ein Verfahren zum Herstellen desselben wird nun mit Bezug auf **Fig. 1–9** beschrieben. In **Fig. 1** weist ein repräsentatives Plättchen **10**, das bei der Herstellung eines Formwerkzeugs für retroreflektierende Folien verwendbar ist, eine erste Hauptfläche **12** und eine gegenüberliegende zweite Hauptfläche **14** auf. Das Plättchen **10** weist ferner eine Bearbeitungsfläche **16** und eine gegenüberliegende untere Oberfläche **18** auf, die sich zwischen der ersten Hauptfläche **12** und der zweiten Hauptfläche **14** erstrecken. Das Plättchen **10** weist ferner eine erste Endfläche **20** und eine gegenüberliegende zweite Endfläche **22** auf. In einer Ausführungsform kann das Plättchen **10** ein rechtwinkliger Polyeder sein, wobei gegenüberliegende Oberflächen im wesentlichen parallel sind. Jedoch ist ersichtlich, daß gegenüberliegende Oberflächen des Plättchens **10** nicht parallel sein müssen.

[0055] **Fig. 2–9** veranschaulichen eine Ausführungsform der Bildung einer strukturierten Oberfläche, die mehrere optisch gegengleiche Würfelecken-elemente in der Bearbeitungsfläche **16** des Plättchens **10** aufweist. Kurz gesagt, werden die mehreren Plättchen **10** so orientiert, daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen **24** in einem ersten Winkel  $\theta_1$  relativ zu einer festen Bezugsachse (**Fig. 3**) angeordnet sind. Ein erster Rillensatz mit mehreren parallelen benachbarten Rillen **30a**, **30b**, **30c** usw. (zusammengefaßt mit dem Bezugszeichen **30** bezeichnet) wird in der Bearbeitungsfläche **16** der mehreren Plättchen **10** gebildet (**Fig. 3–5**). Die Rillen des ersten Rillensatzes **30** definieren jeweilige erste Rillenflächen **32a**, **32b**, **32c** usw.

[0056] und jeweilige zweite Rillenflächen **34b**, **34c**, **34d** usw. Wichtig ist, daß die jeweiligen ersten Rillenflächen **32a**, **32b**, **32c** usw. die jeweiligen zweiten Rillenflächen **34b**, **34c**, **34d** usw. im wesentlichen orthogonal schneiden, um jeweilige erste Bezugskanten **36a**, **36b**, **36c** usw. zu definieren. Wie hierin verwendet, sollen die Begriffe "im wesentlichen orthogonal" oder "annähernd orthogonal" bedeuten, daß der zweiflächige Winkel zwischen den jeweiligen Oberflächen ungefähr  $90^\circ$  mißt; leichte Variationen der Orthogonalität, wie im US-Patent Nr. 4 775 219 von Appeldorn offenbart und beansprucht, werden durch die vorliegenden Erfindung in Erwägung gezogen. Ein zweiter Rillensatz, der mehrere parallele benachbarte Rillen **46a**, **46b**, **46c** usw. aufweist, wird ebenfalls in der Bearbeitungsfläche **16** des Plättchens **10** (**Fig. 6–8**) gebildet. Die Rillen **46** teilen und/oder hal-

bieren die ersten und zweiten Rillenflächen **32,34**. Aus Gründen der Verständlichkeit werden die Rillenflächen an der einen Seite der Rille **46** als die erste und zweite Rillenfläche **32, 34** bezeichnet und die Rillenflächen an der anderen Seite der Rille **46** werden als die dritte und vierte Rillenfläche **40,42** bezeichnet. [0057] Die Rillen des zweiten Rillensatzes definieren jeweilige fünfte Rillenflächen **48a, 48b, 48c** usw. (zusammengefaßt mit dem Bezugszeichen **48** bezeichnet) und sechste Rillenflächen **50a, 50b, 50c** usw. (zusammengefaßt mit dem Bezugszeichen **50** bezeichnet). Die fünften Rillenfläche **48a, 48b, 48c** usw. schneiden die jeweiligen ersten Rillenflächen **32a, 32b, 32c** usw. und zweiten Rillenflächen **34b, 34c** usw. im wesentlichen orthogonal, um mehrere Würfeleckenelemente **60a, 60b, 60c** an den Bearbeitungsflächen **16** des jeweiligen Plättchens zu bilden. Gleichermaßen schneiden die sechsten Rillenflächen **50a, 50b, 50c** die jeweiligen ersten Rillenflächen **40a, 40b, 40c** usw. und die zweiten Rillenflächen **42b, 42c** usw. im wesentlichen orthogonal, um mehrere Würfeleckenelemente **70a, 70b** usw. an den Bearbeitungsflächen **16** des jeweiligen Plättchens zu bilden. Wie hierin verwendet, bezeichnet der Begriff "Rillensatz" alle in der Bearbeitungsfläche **16** der Plättchen **10** gebildeten parallelen Rillen.

[0058] Die Ausführungsform wird nun detaillierter erklärt. Mit Bezug zurück auf **Fig. 2** sind mehrere dünne Plättchen **10** so zusammengestellt, daß die erste Hauptfläche **12** eines Plättchens **10** an der zweiten Hauptfläche **14** eines benachbarten Plättchens **10** angrenzt. Vorzugsweise werden die mehreren Plättchen **10** in einer herkömmlich konstruierten Spannvorrichtung zusammen-gestellt, die in der Lage ist, mehrere Plättchen aneinander liegend festzuhalten. Die Spannvorrichtung definiert eine Basisebene **80** (**Fig. 3**), die vorzugsweise im wesentlichen parallel zu den unteren Flächen **18** der Plättchen **10** ist, wenn die Plättchen so, wie in **Fig. 2** gezeigt, angeordnet sind. Die mehreren Plättchen **10** können durch ein kartesisches Koordinatensystem, wie vorstehend beschrieben, gekennzeichnet werden. Vorzugsweise sind die Bearbeitungsflächen **16** der mehreren Plättchen **10** im wesentlichen koplanar, wenn die Plättchen mit ihren ersten Bezugsebenen **24** senkrecht zur Basisebene **80** angeordnet sind.

[0059] In **Fig. 3** sind die mehreren Plättchen **10** so orientiert, daß ihre ersten Bezugsebenen **24** in einem ersten Winkel  $\Theta_1$ , relativ zu einer zur Basisebene **80** lotrechten, festen Bezugsachse **82** angeordnet sind. In einer Ausführungsform beträgt der erste Winkel  $\theta_1$  ungefähr  $27,8^\circ$ . Jedoch kann  $81$  in der Praxis zwischen ungefähr  $1^\circ$  und ungefähr  $85^\circ$  und stärker bevorzugt zwischen ungefähr  $10^\circ$  und ungefähr  $60^\circ$  und am stärksten bevorzugt zwischen ungefähr  $25^\circ$  und ungefähr  $45^\circ$  sein.

[0060] Mit Bezug auf **Fig. 4–5** wird ein erster Rillensatz, der mehrere parallele benachbarte V-förmige Rillen **30a, 30b, 30c** usw. (zusammengefaßt mit dem Bezugszeichen **30** bezeichnet) aufweist, in den Bear-

beitungsflächen **16** der mehreren Plättchen **10** gebildet, wobei die Plättchen in einem Winkel  $\Theta_1$  angeordnet sind. Mindestens zwei solcher Rillen **30** werden in der Bearbeitungsfläche **16** der mehreren Plättchen **10** gebildet. Die Rillen **30** definieren erste Rillenflächen **32a, 32b, 32c** usw. (zusammengefaßt mit dem Bezugszeichen **32** bezeichnet) und zweite Rillenflächen **34b, 34c, 34d** usw. (zusammengefaßt mit dem Bezugszeichen **34** bezeichnet), die sich, wie gezeigt, in den Rillenvertices **33b, 33c, 33d** usw. (zusammengefaßt mit dem Bezugszeichen **33** bezeichnet) schneiden. Am Rand der Plättchen kann der Rillenbildungsvorgang eine einzelne Rillenfläche **32a** bilden. Die Rillenflächen **32a** und **34b** benachbarter Rillen **30a, 30b** schneiden sich annähernd orthogonal entlang einer Bezugskante **36a**. Gleichermaßen schneiden sich die benachbarten Rillenflächen **32b** und **34c** annähernd orthogonal entlang der Bezugskante **36b**. Dies kann dadurch erreicht werden, daß die Rillen **30** unter Verwendung eines Schneidwerkzeugs gebildet werden, das einen Einschlußwinkel von  $90^\circ$  hat. Vorzugsweise wiederholt sich dieses Muster über die gesamte Bearbeitungsfläche **16** der mehreren Plättchen **10**. Die Rillenvertices **33** sind vorzugsweise zwischen ungefähr  $0,01$  Millimeter und ungefähr  $1,0$  Millimeter voneinander beabstandet, jedoch sind diese Werte nicht als Einschränkung aufzufassen.

[0061] Die Rillen **30** werden durch Abtragen von Abschnitten der Bearbeitungsflächen **16** der mehreren Plättchen unter Verwendung von geeigneten Materialabtragungsverfahren einschließlich Präzisionsbearbeitungsverfahren, wie Fräsen, Liniieren, Nutenfräsen und Schlagfräsen, gebildet. Chemisches Ätzen oder Laserablationsverfahren können ebenfalls verwendet werden. In einer Ausführungsform werden die Rillen **30** in einem Hochpräzisionsbearbeitungsvorgang gebildet, in welchem ein Diamant schneidewerkzeug, das einen Einschlußwinkel von  $90^\circ$  hat, wiederholt quer über die Bearbeitungsflächen **16** der mehreren Plättchen **10** entlang einer Achse bewegt wird, die im wesentlichen parallel zur Basisebene **80** ist. Das Diamantschneidewerkzeug könnte jedoch entlang einer Achse bewegt werden, die nicht parallel zur Basisebene **80** ist, so daß das Werkzeug über die mehreren Plättchen **10** in unterschiedlicher Tiefe schneidet. Ferner kann das Bearbeitungswerkzeug stationär gehalten werden, während die mehreren Plättchen bewegt werden; jegliche relative Bewegung zwischen den Plättchen **10** und dem Bearbeitungswerkzeug wird in Erwägung gezogen.

[0062] In der Ausführungsform von **Fig. 2–5** werden die Rillen **30** des ersten Rillensatzes in einer solchen Tiefe gebildet, daß die jeweiligen ersten Bezugskanten **36** die erste Hauptfläche **12** und die zweite Hauptfläche **14** jedes Plättchens schneiden. Somit bilden in der in **Fig. 4** dargestellten Endansicht die Bezugskanten **36** und die Rillenvertices **33** im wesentlichen kontinuierliche Linien, die sich entlang einer zur Basisebene **80** parallelen Achse erstrecken. Ferner werden die Rillen **30** so gebildet, daß die jeweiligen Be-

zugskanten **36** in einer Ebene angeordnet sind, die die jeweiligen ersten Bezugsebenen **24** und die zweite Bezugsebene **26** in rechten Winkeln schneidet. Somit würden in einer Draufsicht die jeweiligen ersten Bezugskanten **36** senkrecht zu den jeweiligen ersten Bezugsebenen **24** der mehreren Plättchen **10** erscheinen. Jedoch können die Rillen **30** auch geringere Tiefen haben. Wenn zum Beispiel die Tiefe des Werkzeugs verringert wird, werden die Rillenvertices **33** näher an der Bearbeitungsfläche **16** gebildet und werden flache durchlässige Bereiche gebildet.

[0063] Um die Bildung von Würfeleckenelementen an den Bearbeitungsflächen **16** der Plättchen **10** zu vollenden, wird durch Einarbeiten einer einzigen Rille in jedes Plättchen **10** entlang einer zur ersten Bezugsebene **24** im wesentlichen parallelen Achse ein zweiter Rillensatz gebildet. In der in **Fig. 6-8** dargestellten Ausführungsform werden die mehreren Plättchen **10** aus der Zusammenstellung herausgenommen und jedes zweite Plättchen (**10b**, **10d** usw.) wird um  $180^\circ$  um eine zur zweiten Bezugsebene **26** senkrechte Achse gedreht. Die mehreren Plättchen werden dann wieder neu zusammengestellt, wobei ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen **24** vorzugsweise im wesentlichen senkrecht zur Basisebene **80** angeordnet werden, wie in **Fig. 7** dargestellt ist.

[0064] Mit Bezug auf **Fig. 8** und **9** wird ein zweiter Rillensatz, der vorzugsweise mindestens eine Rille **46** in jedem Plättchen **10** umfaßt, in der Bearbeitungsfläche **16** der mehreren Plättchen **10** gebildet. In der offenbarten Ausführungsform definieren die zweiten Rillen **46a**, **46b**, **46c** usw. (zusammengefaßt mit **46** bezeichnet) jeweilige fünfte Rillenflächen **48a**, **48b**, **48c** usw. (zusammengefaßt mit **48** bezeichnet) und sechste Rillenflächen **50a**, **50b**, **50c** usw. (zusammengefaßt mit **50** bezeichnet), die sich an jeweiligen Rillenvertices **52a**, **52b**, **52c** usw. (zusammengefaßt mit **52** bezeichnet) entlang Achsen schneiden, die senkrecht zur dritten Bezugsebene **28** sind.

[0065] Die zweiten Rillen **46** werden so gebildet, daß die fünften Rillenflächen **48** im wesentlichen orthogonal zu den jeweiligen ersten Rillenflächen (z. B. **32a**, **32b** usw.) und zweiten Rillenflächen (z. B. **34a**, **34b** usw.) sind. Die Bildung der fünften Rillenflächen **48**, wie beschrieben, ergibt mehrere Würfeleckenelemente **60a**, **60b** usw. (zusammengefaßt mit **60** bezeichnet) in der Bearbeitungsfläche **16** jedes zweiten Plättchens **10**. Jedes Würfeleckenelement **60** ist durch eine erste Rillenfläche (**32a**, **32b** usw.), eine zweite Rillenfläche (**34a**, **34b** usw.) und einen Abschnitt einer fünften Rillenfläche **48** definiert, die sich an einem Punkt schneiden, um eine Würfeleckenspitze oder einen Würfeleckenapex **62** zu definieren. Gleichermaßen sind die sechsten Rillenflächen **50** im wesentlichen orthogonal zu den jeweiligen dritten Rillenflächen (z. B. **40a**, **40b** usw.) und vierten Rillenflächen (z. B. **42a**, **42b** usw.). Wie vorstehend erwähnt, wurden die dritten und vierten Rillenflächen **40**, **42** von dem ersten Rillensatz **30** gebildet. Die Bildung der sechsten Rillenfläche **50** erzeugt auch mehrere

Würfeleckenelemente **70a**, **70b** usw. (zusammengefaßt mit **70** bezeichnet) in der Bearbeitungsfläche **16** jedes zweiten Plättchens **10**. Jedes Würfeleckenelement **70** ist durch eine dritte Rillenfläche (**40a**, **40b** usw.), eine vierte Rillenfläche (**42a**, **42b** usw.) und einen Abschnitt der sechsten Rillenfläche **50** definiert, die sich an einem Punkt schneiden, um eine Würfeleckenspitze oder einen Würfeleckenapex **72** zu definieren. Vorzugsweise bilden beide Rillenflächen **48** und **50** mehrere Würfeleckenelemente an der Bearbeitungsfläche **16** des Plättchens **10**. Jedoch ist ersichtlich, daß die zweite Rille **46** so gebildet werden kann, daß nur die Rillenfläche **48** oder die Rillenfläche **50** Würfeleckenelemente bildet.

[0066] Die Würfeleckenelemente **60**, **70** sind gegengleiche Paare, die gegengleiche, obwohl nicht notwendigerweise identische, Retroreflexionsmuster erzeugen. Die Würfeleckenelemente **60**, **70** erzeugen vorzugsweise symmetrische oder spiegelbildliche Retroreflexionsmuster, wie beispielsweise Elemente, die im wesentlichen identisch sind, aber um  $180^\circ$  relativ zueinander gedreht sind. In einer alternativen Ausführungsform kann der zweite Rillensatz **46** so in den in **Fig. 6** gezeigten Stapel von Plättchen **60** hineingeschnitten werden, daß die sich ergebenden Würfeleckenelemente **60**, **70** alle in der gleichen Richtung ausgerichtet sind. Das heißt, die Symmetriearchsen oder optischen Achsen der Würfeleckenelemente **60**, **70** sind allgemein parallel. Gleichermaßen können die Plättchen **10b**, **10d** usw. um  $180^\circ$  gedreht werden, nachdem der zweite Rillensatz **46** hineingeschnitten worden ist (siehe **Fig. 8**). Die totale Lichtreflexion für in die gleiche Richtung ausgerichtete Würfeleckenelemente **60**, **70** ist über einen  $360^\circ$ -Bereich von Orientierungswinkeln asymmetrisch. Ein asymmetrisches Retroreflexionsmuster kann für gewisse Anwendungen erwünscht sein, wie beispielsweise Gehsteigmarkierungen oder andere Dinge, die aus einem schmalen Bereich von Orientierungswinkeln betrachtet werden.

[0067] Ein Verfahren der vorliegenden Offenbarung umfaßt gleichzeitiges Bearbeiten mehrerer Plättchen, wobei jedes Plättchen ein oder mehrere einzelne Würfeleckenelemente aufweist. Die Würfeleckenelemente erstrecken sich vorzugsweise nicht über mehr als ein Plättchen. Zum Beispiel sind die drei zueinander senkrechten optischen Flächen **32**, **34**, **48** der Würfeleckenelemente **60** an einem einzigen Plättchen gearbeitet. Gleichermaßen sind die drei optischen Flächen **40**, **42**, **50** der Würfeleckenelemente **70** an einem einzigen Plättchen gearbeitet. Die Würfeleckenelemente **60**, **70** können sich am gleichen oder an unterschiedlichen Plättchen befinden. Die Würfeleckenelemente **60**, **70** werden durch das Bearbeitungsverfahren vorteilhaft mit nur zwei Rillensätzen **30**, **46** gebildet, um eine optische Qualitätsobерfläche zu gewährleisten. Eine Planare Grenzfläche zwischen den Hauptflächen **12**, **14** wird während der Bearbeitungsphase und in dem daraus gebildeten anschließenden Formwerkzeug aufrecht-

erhalten, um Ausrichtungsprobleme und Schäden aufgrund des Hantierens mit den Plättchen zu minimieren, um Lücken zwischen benachbarten Plättchen zu minimieren, die die Qualität der Negativkopien beeinträchtigen würden, und um das Einfleßen von Material in die Lücken zwischen den Plättchen zu minimieren.

[0068] **Fig.** 10–18 veranschaulichen ein alternatives Verfahren zur Herstellung des Formwerkzeugs von **Fig.** 1–9 an mehreren Plättchen, wie in **Fig.** 2 gezeigt, unter Verwendung von drei Rillensätzen **130**, **138**, **146**. Vorzugsweise sind die jeweiligen Bearbeitungsflächen **116** der mehreren Plättchen **110** im wesentlichen koplanar, wenn die Plättchen mit ihren jeweiligen ersten Bezugsebenen **124** senkrecht zur Basisebene **180** angeordnet sind. Die Bezugsebenen **124**, **126**, **128** entsprechen jeweils den vorstehend diskutierten Bezugsebenen **24**, **26**, **28**.

[0069] Mit Bezug auf **Fig.** 10 werden mehrere Plättchen **110** so orientiert, daß ihre ersten Bezugsebenen **124** in einem ersten Winkel  $\beta_1$ , relativ zu einer zur Basisebene **180** lotrechten, festen Bezugsachse **182** angeordnet sind. In einer Ausführungsform ist  $\beta_1$  ungefähr  $27,8^\circ$ . Jedoch kann  $\beta_1$  alternativ zwischen ungefähr  $1^\circ$  und ungefähr  $85^\circ$  und stärker bevorzugt zwischen ungefähr  $10^\circ$  und ungefähr  $60^\circ$  sein.

[0070] Mit Bezug auf **Fig.** 11–12 wird ein erster Rillensatz, der mehrere parallele benachbarte V-förmige Rillen **130a**, **130b**, **130c** usw. (zusammengefaßt mit **130** bezeichnet) umfaßt, in der Bearbeitungsfläche **116** der mehreren Plättchen **110** gebildet, wobei die Plättchen in einem Winkel  $\beta_1$  angeordnet sind. Mindestens zwei solcher Rillen **130** werden in der Bearbeitungsfläche **116** der mehreren Plättchen **110** gebildet. Die Rillen **130** definieren erste Rillenflächen **132a**, **132b**, **132c** usw. (zusammengefaßt mit **132** bezeichnet) und zweite Rillenflächen **134b**, **134c**, **134d** usw. (zusammengefaßt mit **134** bezeichnet), die sich, wie gezeigt, an Rillenvertices **133b**, **133c**, **133d** usw. (zusammengefaßt mit **133** bezeichnet) schneiden. Am Rand der Plättchen kann der Rillenbildungsvorgang eine einzelne Rillenfläche **132a** bilden. Die Rillenflächen **132a** und **134b** zweier benachbarter Rillen schneiden sich annähernd orthogonal entlang einer Bezugskante **136a**. Gleichermassen schneiden sich die benachbarten Rillenflächen **132b** und **134c** annähernd orthogonal entlang einer Bezugskante **136b**. Vorzugsweise wiederholt sich dieses Muster über die gesamten Bearbeitungsflächen **116** der mehreren Plättchen **110**.

[0071] Die Rillen **130** werden durch Abtragen von Abschnitten der Bearbeitungsfläche **116** der mehreren Plättchen unter Verwendung geeigneter Materialabtragungsverfahren, einschließlich Präzisionsbearbeitungsverfahren wie Fräsen, Liniieren, Nutenfräsen und Schlagfräsen, gebildet. Chemisches Ätzen oder Laserablationsverfahren können ebenfalls verwendet werden. In einer Ausführungsform werden die Rillen **130** in einem Hochpräzisionsbearbeitungsvorgang gebildet, in welchem ein Diamantschneide-

werkzeug, das einen Einschlußwinkel von  $90^\circ$  hat, wiederholt quer über die Bearbeitungsflächen **116** der mehreren Plättchen **110** entlang einer Achse bewegt wird, die im wesentlichen parallel zur Basisebene **180** ist. Das Diamantschneidewerkzeug könnte jedoch alternativ entlang einer Achse bewegt werden, die nicht parallel zur Basisebene **180** ist, so daß das Werkzeug über die mehreren Plättchen **10** in unterschiedlichen Tiefen schneidet. Ferner könnte das Bearbeitungswerkzeug stationär gehalten werden, während die mehreren Plättchen bewegt werden; jegliche Bewegung zwischen den Plättchen **110** und dem Bearbeitungswerkzeug wird in Erwägung gezogen.

[0072] In der Ausführungsform von **Fig.** 11–12 sind die Rillen **130** in einer solchen Tiefe gebildet, daß die jeweiligen ersten Bezugskanten **136** die erste Hauptfläche **112** und die zweite Hauptfläche **114** jedes Plättchen schneidet. Somit bilden in der Endansicht von **Fig.** 11 die Bezugskanten **136** und die Rillenvertices **133** im wesentlichen kontinuierliche Linien, die sich entlang einer zur Basisebene **180** parallelen Achse erstrecken. Ferner sind die Rillen **130** so gebildet, daß die jeweiligen Bezugskanten **136** in einer Ebene angeordnet sind, die die jeweiligen ersten Bezugsebenen **124** und die zweite Bezugsebene **126** im rechten Winkel schneidet. Somit würden die jeweiligen ersten Bezugskanten **136** senkrecht zu den jeweiligen ersten Bezugsebenen **124** der mehreren Plättchen **110** erscheinen. Jedoch können die Rillen **130** auch geringere Tiefen haben, um so flache durchlässige Bereiche zu bilden.

[0073] Mit Bezug auf **Fig.** 13 werden die mehreren Plättchen **110** dann so orientiert, daß ihre jeweiligen Bezugsebenen **124** in einem zweiten Winkel  $\beta_2$  relativ zu einer zur Basisebene **180** lotrechten, festen Bezugsachse **182** angeordnet sind. In einer Ausführungsform ist  $\beta_2$  ungefähr  $27,8^\circ$ . Jedoch kann in der Praxis  $\beta_2$  zwischen ungefähr  $1^\circ$  und ungefähr  $85^\circ$  sein, aber vorzugsweise zwischen ungefähr  $10^\circ$  und ungefähr  $60^\circ$ . Der Winkel  $\beta_2$  ist unabhängig vom Winkel  $\beta_1$  und muß nicht gleich  $\beta_1$  sein. Um die mehreren Plättchen **110** im Winkel  $\beta_2$  zu orientieren, werden die Plättchen **110** vorzugsweise aus der Spannvorrichtung herausgenommen und neu zusammengestellt, wobei ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen in einem Winkel  $\beta_2$  angeordnet werden.

[0074] Mit Bezug auf **Fig.** 14–15 wird ein zweiter Rillensatz, der mehrere parallele benachbarte V-förmige Rillen **138b**, **138c** (zusammengefaßt mit **138** bezeichnet) umfaßt, in den Bearbeitungsflächen **116** der mehreren Plättchen **110** gebildet, wobei die Plättchen in einem Winkel  $\beta_2$  angeordnet sind. Mindestens zwei benachbarte Rillen **138** werden in der Bearbeitungsfläche **116** der mehreren Plättchen **110** gebildet. Die Rillen **138** definieren dritte Rillenflächen **140a**, **140b**, **140c** usw. (zusammengefaßt mit **140** bezeichnet) und vierte Rillenflächen **142b**, **142c**, **142d** usw. (zusammengefaßt mit **142** bezeichnet), die sich, wie gezeigt, an Rillenvertices **141b**, **141c**, **141d** usw. (zusammengefaßt mit **141** bezeichnet) schneiden.

Am Rand der Plättchen kann der Rillenbildungsvorgang eine einzelne Rillenfläche **140a** bilden. Die Rillenflächen **140a** und **142b** benachbarter Rillen schneiden sich annähernd orthogonal entlang einer Bezugskante **144a**. Gleichermaßen schneiden sich benachbarte Rillenflächen **140b** und **142c** annähernd orthogonal entlang einer Bezugskante **144b**. Vorzugsweise wiederholt sich dieses Muster über die gesamten Bearbeitungsflächen **116** der mehreren Plättchen **110**.

[0075] Die Rillen **138** des zweiten Rillensatzes werden ebenfalls vorzugsweise durch einen Hochpräzisionsbearbeitungsvorgang gebildet, in welchem ein Diamantschneidewerkzeug, das einen Einschlußwinkel von  $90^\circ$  hat, wiederholt quer über die Bearbeitungsflächen **116** der mehreren Plättchen **110** entlang einer Schneideachse bewegt wird, die im wesentlichen parallel zur Basisebene **180** ist. Wieder ist zu erwähnen, daß es wichtig ist, daß sich die Flächen benachbarter Rillen **138** entlang den Bezugskanten **144** schneiden, um orthogonale Flächenwinkel zu bilden. Der Einschlußwinkel jeder Rille kann von  $90^\circ$  verschieden sein. Die Rillen **138** werden vorzugsweise in ungefähr der gleichen Tiefe in der Bearbeitungsfläche **116** der mehreren Plättchen **110** gebildet wie die Rillen **130** des ersten Rillensatzes. Außerdem werden die Rillen **138** im zweiten Rillensatz vorzugsweise so gebildet, daß die jeweiligen Rillenvertices (z. B. **141a**, **141b** usw.) und die jeweiligen Bezugskanten (z. B. **144a**, **144b** usw.) mit den jeweiligen Rillenvertices (z. B. **133a**, **133b** usw.) und den jeweiligen Bezugskanten (z. B. **136a**, **136b** usw.) der Rillen **130** im ersten Rillensatz im wesentlichen koplanar sind.

[0076] Mit Bezug auf **Fig. 16–17** wird ein dritter Rillensatz, der vorzugsweise mindestens eine Rille **146** in jedem Plättchen **110** umfaßt, in der Bearbeitungsfläche **116** der mehreren Plättchen **110** gebildet. In der offenbarten Ausführungsform definieren die dritten Rillen **146a**, **146b**, **146c** usw. (zusammengefaßt mit **146** bezeichnet) jeweilige fünfte Rillenflächen **148a**, **148b**, **148c** usw. (zusammengefaßt mit **148** bezeichnet) und jeweilige sechste Rillenflächen **150a**, **150b**, **150c** usw. (zusammengefaßt mit **150** bezeichnet), die sich an jeweiligen Rillenvertices **152a**, **152b**, **152c** usw. (zusammengefaßt mit **152** bezeichnet) entlang Achsen schneiden, die parallel zu den jeweiligen ersten Bezugsebenen **124** sind. Die dritten Rillen **146** werden so gebildet, daß die jeweiligen fünften Rillenflächen **148** in einer Ebene angeordnet sind, die im wesentlichen orthogonal zu den jeweiligen ersten Rillenflächen (z. B. **132a**, **132b** usw.) und den jeweiligen zweiten Rillenflächen (z. B. **134a**, **134b** usw.) ist. Die Bildung der fünften Rillenflächen **148** auf diese Weise erzeugt mehrere Würfeleckenelemente **160a**, **160b** usw. (zusammengefaßt mit **160** bezeichnet) in der Bearbeitungsfläche **116** der jeweiligen Plättchen **110**.

[0077] Jedes Würfeckenelement **160** ist durch eine erste Rillenfläche (**132a**, **132b** usw.), eine zweite

Rillenfläche (**134b**, **134c** usw.) und einen Abschnitt einer fünften Rillenfläche **148** definiert, die sich an einem Punkt schneiden, um eine Würfeckenspitze oder einen Würfeckenapex **162** zu definieren. Gleichermaßen ist die sechste Rillenfläche **150** in einer Ebene angeordnet, die im wesentlichen orthogonal zu den jeweiligen dritten Rillenflächen (z. B. **140a**, **140b** usw.) und den jeweiligen vierten Rillenflächen (z. B., **142b**, **142c** usw.) ist. Die Bildung der sechsten Rillenfläche **150** erzeugt auch mehrere Würfeckenelemente **170a**, **170b** usw. (zusammengefaßt mit **170** bezeichnet) in der Bearbeitungsfläche **116** der Plättchen **110**. Jedes Würfeckenelement **170** ist durch eine dritte Rillenfläche (**140a**, **140b** usw.), eine vierte Rillenfläche (**142a**, **142b** usw.) und einen Abschnitt einer sechsten Rillenfläche **150** definiert, die sich an einem Punkt schneiden, um eine Würfeckenspitze oder einen Würfeckenapex **172** zu definieren. Vorzugsweise bilden sowohl die fünfte Rillenfläche **148** als auch die sechste Rillenfläche **150** mehrere Würfeckenelemente an der Bearbeitungsfläche **116** der Plättchen **110**. Jedoch ist ersichtlich, daß die dritte Rille **146** so gebildet werden kann, daß nur die fünfte Rillenfläche **148** oder sechste Rillenfläche **150** Würfeckenelemente bildet.

[0078] In einem bevorzugten Verfahren werden die Plättchen **110** neu orientiert, so daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen **124** ungefähr parallel zur Bezugssachse **182** angeordnet sind, bevor die mehreren Rillen **146** gebildet werden. Jedoch können die Rillen **146** gebildet werden, wobei die Plättchen so orientiert sind, daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen in einem Winkel relativ zur Bezugssachse **182** angeordnet sind. Insbesondere kann es in einigen Ausführungsformen vorteilhaft sein, die jeweiligen dritten Rillen **146** so zu bilden, daß die jeweiligen Plättchen **110** in einem Winkel  $\beta_2$  angeordnet sind, um einen zusätzlichen Orientierungsschritt im Herstellungsverfahren zu vermeiden. Vorzugsweise werden die Rillen **146** ebenfalls durch einen Hochpräzisionsbearbeitungsvorgang gebildet. In der offenbarten Ausführungsform wird ein Diamantschneidewerkzeug, das einen Einschlußwinkel von ungefähr  $55,6^\circ$  hat, über die Bearbeitungsfläche **116** jedes Plättchens **110** entlang einer Achse bewegt, die im wesentlichen in der ersten Bezugsebene **124** des Plättchens **110** enthalten ist und die parallel zur Basisebene **180** ist. Die Rillen **146** werden vorzugsweise so gebildet, daß die jeweiligen Rillenvertices **152** etwas tiefer als die Vertices der Rillen im ersten und zweiten Rillensatz sind. Die Bildung der Rillen **146** ergibt mehrere Plättchen **110**, die eine strukturierte Oberfläche im wesentlichen so, wie in **Fig. 18** dargestellt, haben.

[0079] Wie in Verbindung mit **Fig. 1–9** diskutiert, läuft das Verfahren von **Fig. 10–18** auf eine gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Plättchen hinaus, wobei jedes Würfeckenelement **160** drei zueinander senkrechte optische Flächen **132**, **134**, **148** an einem einzigen Plättchen hat. Gleichermaßen sind die optischen Flächen **140**; **142**, **150** der Würfeckenele-

mente 170 an einem einzigen Plättchen gearbeitet. Eine planare Grenzfläche zwischen den Hauptflächen 112, 114 wird während der Bearbeitungsphase und in dem daraus gebildeten anschließenden Formwerkzeug zwischen benachbarten Plättchen aufrechterhalten, um so Ausrichtungsprobleme und Schäden aufgrund des Hantierens mit den Plättchen zu minimieren.

[0080] **Fig. 19–27** veranschaulichen eine alternative Ausführungsform einer gleichzeitigen Bildung von mehreren Würfeleckenlementen an mehreren Plättchen, wie beispielsweise in **Fig. 2** dargestellt. Vorzugsweise sind die jeweiligen Bearbeitungsflächen 216 der Plättchen 210 im wesentlichen koplanar, wenn die Plättchen mit ihren jeweiligen ersten Bezugsebenen 224 senkrecht zur Basisebene 280 angeordnet sind. Die Bezugsebenen 224, 226, 228 entsprechen jeweils den vorstehend diskutierten Bezugsebenen 24, 26, 28.

[0081] Mit Bezug auf **Fig. 19** werden die mehreren Plättchen 210 so orientiert, daß ihre ersten Bezugsebenen 224 in einem ersten Winkel  $\Theta_1$  relativ zu einer zur Basisebene 280 lotrechten, festen Bezugsachse 282 angeordnet sind. In einer Ausführungsform ist  $\Theta_1$  ungefähr 54,74°. Theoretisch kann  $\Theta_1$  irgendein Winkel zwischen ungefähr 45° und ungefähr 90° sein, in der Praxis jedoch ist er typisch zwischen ungefähr 45° und ungefähr 60°. Mit Bezug auf **Fig. 20–21** wird ein erster Rillensatz, der mehrere parallele benachbarte V-förmige Rillen 230a, 230b, 230c usw. (zusammengefaßt mit 230 bezeichnet) umfaßt, in den Bearbeitungsflächen 216 der mehreren Plättchen 210 gebildet, wobei die Plättchen 210 in einem Winkel 81 angeordnet sind. Die Rillen 230 definieren erste Rillenflächen 232a, 232b, 232c usw. (zusammengefaßt mit 213 bezeichnet) und zweite Rillenflächen 234b, 234c, 234d usw. (zusammengefaßt mit 234 bezeichnet), die sich, wie gezeigt, an Rillenvertices 233b, 233c, 233d usw. (zusammengefaßt mit dem Bezugszeichen 233 bezeichnet) schneiden. Am Rand der Plättchen kann der Rillenbildungsvorgang eine einzelne Rillenfläche z. B. 232a, 234d bilden. Vorzugsweise wiederholt sich dieses Muster über die gesamten Bearbeitungsflächen 216 der mehreren Plättchen 210.

[0082] Die Rillen 230 werden durch Abtragen von Abschnitten der Bearbeitungsfläche 216, wie vorstehend diskutiert, gebildet. In einer Ausführungsform werden die Rillen 230 in einem Hochpräzisionsbearbeitungsvorgang gebildet, in welchem ein Diamantschneidewerkzeug, das einen Einschlußwinkel von 120° hat, wiederholt quer über die Bearbeitungsflächen 216 der mehreren Plättchen 210 entlang einer Achse bewegt wird, die im wesentlichen parallel zur Basisebene 280 ist. Es ist jedoch ersichtlich, daß das Diamantschneidewerkzeug entlang einer Achse bewegen kann, die nicht parallel zur Basisebene 280 ist, so daß das Werkzeug über die mehreren Plättchen 210 in unterschiedlicher Tiefe schneidet.

[0083] In der Ausführungsform von **Fig. 20–21** wer-

den die Rillen in einer solchen Tiefe gebildet, daß die jeweiligen Rillenvertices 233 die erste Hauptfläche 212 und die zweite Hauptfläche 214 jedes Plättchens schneiden. Somit bilden in der in **Fig. 20** dargestellten Endansicht die Rillenvertices 233 im wesentlichen kontinuierliche Linien, die sich entlang einer zur Basisebene 280 parallelen Achse erstrecken. Ferner sind die Rillen 230 so gebildet, daß die Rillenvertices 233 und die Kanten 236 in Ebenen angeordnet sind, die die ersten Bezugsebenen 224 und die zweiten Bezugsebenen 226 orthogonal zugseebenen 224 und die zweiten Bezugsebenen 226 orthogonal schneiden. Die jeweiligen Rillenvertices erscheinen senkrecht zu den jeweiligen ersten Bezugsebenen 224 der mehreren Plättchen 210. Jedoch können die Rillen 230 in geringeren Tiefen oder entlang unterschiedlicher Achsen gebildet werden.

[0084] Mit Bezug auf **Fig. 22–23** werden die mehreren Plättchen 210 dann so orientiert, daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen 224 in einem zweiten Winkel  $\Theta_2$  relativ zu einer zur Basisebene 280 lotrechten, festen Bezugsachse 282 angeordnet sind, und ein zweiter Rillensatz, der mehrere parallele benachbarte V-förmige Rillen 238a, 238b, 238c usw. (zusammengefaßt mit 238 bezeichnet) umfaßt, wird in den Bearbeitungsflächen 216 der mehreren Plättchen 210 gebildet. In der offenbarten Ausführungsform ist  $\Theta_2$  ungefähr 54,74°. Wie oben diskutiert, kann  $\Theta_2$  theoretisch irgendein Winkel zwischen ungefähr 45° und ungefähr 90° sein, jedoch ist er in der Praxis vorzugsweise zwischen ungefähr 45° und ungefähr 60°. Um die mehreren Plättchen 210 in einem Winkel  $\Theta_2$  zu orientieren, werden die Plättchen 210 vorzugsweise aus der Spannvorrichtung herausgenommen und neu zusammengestellt, wobei ihre ersten Bezugsebenen in einem Winkel  $\Theta_2$  angeordnet sind. Die Rillen 238 definieren dritte Rillenflächen 240a, 240b, 240c usw. (zusammengefaßt mit 240 bezeichnet) und vierte Rillenflächen 242b, 242c; 242d usw. (zusammengefaßt mit 242 bezeichnet), die sich, wie gezeigt, an Rillenvertices 241b, 241c, 241d (zusammengefaßt mit 241 bezeichnet) und entlang von Kanten 247a, 247b, 247c schneiden. Am Rand der Plättchen kann der Rillenbildungsvorgang eine einzelne Rillenfläche bilden. Vorzugsweise wiederholt sich dieses Muster über die gesamten Bearbeitungsflächen 216 der Plättchen 210.

[0085] Die Rillen 238 des zweiten Rillensatzes werden ebenfalls vorzugsweise durch einen Hochpräzisionsbearbeitungsvorgang gebildet, in welchem ein Diamantschneidewerkzeug, das einen Einschlußwinkel von ungefähr 120° hat, wiederholt quer über die Bearbeitungsflächen 216 der Plättchen 210 entlang einer zur Basisebene 280 im wesentlichen parallelen Schneideachse bewegt wird. Die Rillen 238 werden vorzugsweise in ungefähr der gleichen Tiefe wie die Rillen 230 gebildet. Außerdem werden die Rillen 238 vorzugsweise so gebildet, daß die Rillenvertices (z. B. 241a, 241b usw.) mit den jeweiligen Rillenvertices (z. B. 233a, 233b usw.) der Rillen 230 im wesentli-

chen koplanar sind. Nach Bildung der Rillen **238** im zweiten Rillensatz erscheint jedes Plättchen **210** vorzugsweise so, wie in

[0086] **Fig.** 27 gezeigt.

[0087] Mit Bezug auf **Fig.** 25–26 wird ein dritter Rillensatz, der mehrere parallele benachbarte V-förmige Rillen **246a**, **246b**, **246c** usw. (zusammengefaßt mit **246** bezeichnet) umfaßt, in den Bearbeitungsflächen **216** der mehreren Plättchen **210** gebildet. Die dritten Rillen **246** definieren fünfte Rillenflächen **248a**, **248b**, **248c** usw. (zusammengefaßt mit **248** bezeichnet) und jeweilige sechste Rillenflächen **250a**, **250b**, **250c** usw. (zusammengefaßt mit **250** bezeichnet), die sich an Rillenvertices **252a**, **252b**, **252c** usw. (zusammengefaßt mit **252** bezeichnet) schneiden. Die dritten Rillen **246** werden so gebildet, daß die fünften Rillenflächen **248** im wesentlichen orthogonal zu den jeweiligen ersten Rillenflächen **232** und den jeweiligen dritten Rillenflächen **240** angeordnet sind. [0088] Die Bildung der fünften Rillenflächen **248**, wie beschrieben, erzeugt mehrere Würfeleckenelemente (z. B. **260a**, **260b**, **260c** usw., zusammengefaßt mit **260** bezeichnet) in der Bearbeitungsfläche **216** des jeweiligen Plättchens **210**. Jedes Würfeleckenelement **260** ist durch eine erste Rillenfläche **232**, eine dritte Rillenfläche **240** und eine fünfte Rillenfläche **248** definiert, die sich in einem Punkt schneiden, um eine Würfelekkenspitze oder einen Würfeckenapex **262** zu definieren. Gleichermassen sind die sechsten Rillenflächen **250** im wesentlichen orthogonal zu den jeweiligen zweiten Rillenflächen **234** und den jeweiligen vierten Rillenflächen **242** angeordnet. Die Bildung der sechsten Rillenflächen **250** erzeugt auch mehrere Würfeleckenelemente **270a**, **270b** usw. (zusammengefaßt mit dem Bezugszeichen **270** bezeichnet) in der Bearbeitungsfläche **216** des Plättchens **210**. Jedes Würfeleckenelement **270** ist durch eine zweite Rillenfläche **234**, ein vierte Rillenfläche **242** und eine sechste Rillenfläche **250** definiert, die sich in einem Punkt schneiden, um eine Würfelekkenspitze oder einen Würfeckenapex **272** zu definieren. Vorzugsweise bilden sowohl die fünfte Rillenfläche **248** als auch die sechste Rillenfläche **250** mehrere optisch gegengleiche Würfeleckenelemente an der Bearbeitungsfläche **216** des Plättchens **210**. Jedoch ist ersichtlich, daß die dritte Rille **246** so gebildet werden könnte, daß nur die fünften Rillenflächen **248** oder sechsten Rillenflächen **250** Würfeleckenelemente bilden.

[0089] In einem bevorzugten Verfahren werden die mehreren Plättchen neu orientiert, so daß ihre jeweiligen Hauptflächen **224** ungefähr parallel zur Bezugsachse **282** angeordnet sind, bevor die mehreren Rillen **246** gebildet werden. In einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Diamantschneidewerkzeug, das einen Einschlußwinkel von 90° hat, über die Bearbeitungsflächen **216** der mehreren Plättchen **210** entlang einer Achse bewegt, die im wesentlichen parallel zur Basisebene **280** ist. Jedoch können die Rillen **246** gebildet werden, wobei die Plättchen so ori-

entiert sind, daß ihre jeweiligen Hauptebenen in einem Winkel relativ zur Bezugsachse **282** angeordnet sind. Die Rillen **246** werden vorzugsweise so gebildet, daß die jeweiligen Rillenvertices **252** etwas tiefer als die Vertices der Rillen des ersten und zweiten Rillensatzes sind. Die Bildung der Rillen **246** ergibt mehrere Plättchen **210**, die eine strukturierte Oberfläche im wesentlichen so, wie in **Fig.** 27 dargestellt, haben. [0090] Die Bearbeitungsfläche **216** zeigt verschiedene schenswerte Eigenschaften als retroreflektierender Gegenstand. Die in der Bearbeitungsfläche **216** des Plättchens **210** gebildete Würfeleckenelement-Geometrie kann als "volle" oder "hocheffiziente" Würfeleckenelement-Geometrie gekennzeichnet werden, da die Geometrie eine maximale effektive Apertur hat, die fast 100 erreicht. Somit hat ein retroreflektierender Gegenstand, der als ein Replika (Abdruck) der Bearbeitungsfläche gebildet wird, einen hohen optischen Wirkungsgrad als Antwort auf Licht, das ungefähr entlang den Symmetriearchsen der Würfeleckenelemente auf den retroreflektierenden Gegenstand **216** auftrifft. Außerdem können die Würfeleckenelemente **260** und **270** in entgegengesetzten Orientierungen angeordnet sein und symmetrisch zur ersten Bezugsebene **24** sein und als Antwort auf Licht, das in hohen Eintrittswinkeln auf den retroreflektierenden Gegenstand auftrifft, ein symmetrisches retroreflektierendes Verhalten zeigen.

[0091] Die Plättchen werden vorzugsweise aus einem formstabilen Material gebildet, das in der Lage ist, Präzisionstoleranzen einzuhalten, z. B. maschinell bearbeitbare Kunststoffe (zum Beispiel Polyethylenterephthalat, Polymethylmethacrylat und Polycarbonat) oder Metalle (zum Beispiel Messing, Nickel, Kupfer oder Aluminium). Die physikalischen Abmessungen der Plättchen sind hauptsächlich durch Bearbeitungsgrenzen eingeschränkt. Jedes Plättchen ist vorzugsweise zwischen ungefähr 0,025 Millimeter und ungefähr 1,0 Millimeter und stärker bevorzugt ungefähr 0,1 bis ungefähr 0,6 Millimeter dick, zwischen ungefähr 5 und ungefähr 100 Millimeter hoch und zwischen ungefähr 10 und ungefähr 500 Millimeter breit. Diese Maße sind nur zum Zwecke der Veranschaulichung gegeben und sind nicht als Einschränkung gedacht.

[0092] Bei der Herstellung von retroreflektierenden Gegenständen, wie beispielsweise retroreflektierenden Folien, wird die strukturierte Oberfläche der mehreren Plättchen als Masterformwerkzeug verwendet, von welcher unter Verwendung von Elektroformungs-verfahren oder anderen herkömmlichen Abdrucktechniken Abdrücke (Repliken) hergestellt werden können. Die mehreren Plättchen können im wesentlichen identische Würfeleckenelemente enthalten oder Würfeleckenelemente verschiedener Größe, Geometrie oder Orientierung enthalten. Die strukturierte Oberfläche des Abdrucks (Replika), auf dem Fachgebiet als "Stempel" bezeichnet, enthält ein Negativbild der Würfeleckenelemente. Dieser Abdruck kann als Formwerkzeug zur Herstellung eines

retroreflektierenden Gegenstands verwendet werden. Üblicherweise wird jedoch eine große Anzahl von positiven oder negativen Repliken zusammengestellt, um ein Formwerkzeug zu bilden, das groß genug ist, um bei der Herstellung retroreflektierender Folien verwendbar zu sein. Retroreflektierende Folien können dann als ein integrales Material hergestellt werden, z. B. durch Prägen einer vorgeformten Folie mit einer Anordnung von Würfeleckenelementen wie oben beschrieben oder durch Gießen eines fluiden Materials in ein Formwerkzeug. Siehe JP 8-309851 und US-Patent Nr. 4 601 861 (Pricone). Alternativ kann die retroreflektierende Folie durch Gießen der Würfeleckenelemente gegen ein vorgeformte Schicht als ein geschichtetes Produkt hergestellt werden, wie in der PCT-Anmeldung Nr. WO 95/11464 und dem US-Patent Nr. 3 648 348 gelehrt, oder durch Laminieren einer vorgeformten Schicht auf vorgeformte Würfeleckenelemente. Beispielsweise kann eine solche Folie unter Verwendung eines durch elektrolytische Ablagerung von Nickel an einem Masterformwerkzeug hergestellten Nickelformwerkzeugs hergestellt werden. Das durch Elektroformung hergestellte Formwerkzeug kann als Stempel verwendet werden, um das Muster des Formwerkzeugs auf eine ungefähr 500 µm dicke Polycarbonatschicht, die einen Brechungsindex von ungefähr 1,59 hat, zu prägen. Das Formwerkzeug kann in einer Presse verwendet werden, wobei das Pressen bei einer Temperatur von ungefähr 175° bis ungefähr 200°C ausgeführt wird.

[0093] Nützliche Materialien zur Herstellung solcher retroreflektierenden Folien sind vorzugsweise Materialien, die formstabil, haltbar, wetterfest und leicht in die gewünschte Struktur formbar sind. Beispiele für geeignete Materialien umfassen Acryle, die allgemein einen Brechungsindex von etwa 1,5 haben, wie beispielsweise Plexiglasharz von Rohm and Haas; warmausgehärtete Acrylate und Epoxyacrylate, vorzugsweise mittels Strahlung ausgehärtet, Polycarbonate, die einen Brechungsindex von ungefähr 1,6 haben; Ionomere auf Polyethylenbasis (im Handel unter dem Namen "SURLYN" erhältlich); Polyester; und Celluloseacetatbutyrate. Allgemein kann jedes optisch durchlässige Material, das typisch unter Wärme und Druck verformbar ist, verwendet werden. Andere geeignete Materialien zur Herstellung retroreflektierender Folien sind im US-Patent Nr. 5 450 235 von Smith et al. offenbart. Die Folie kann auch Färbemittel, Farbstoffe, UV-Absorptionsmittel oder andere Additive, wie benötigt, enthalten.

[0094] Es ist unter gewissen Umständen wünschenswert, eine retroreflektierende Folie mit einer Trägerschicht zu versehen. Eine Trägerschicht ist für eine retroreflektierende Folie, die Licht gemäß den Prinzipien der inneren Totalreflexion reflektiert, besonders nützlich. Eine geeignete Trägerschicht kann aus irgendeinem lichtdurchlässigen oder lichtundurchlässigen Material, einschließlich farbiger Materialien, bestehen, das mit der offebarten retroreflektierenden Folie effektiv im Eingriff sein kann. Geeig-

nete Trägermaterialien umfassen Aluminiumfolie, verzinkter Stahl, Polymermaterialien wie Polymethylmeth-acrylate, Polyester, Polyamide, Polyvinylfluoride, Poly-carbonate, Polyvinylchloride, Polyurethane, und eine große Vielfalt an Laminaten, die aus diesen und aus anderen Materialien bestehen.

[0095] Die Trägerschicht oder -folie kann in einem Gittermuster oder in irgendeinem anderen für die reflektierenden Elemente geeigneten Muster versiegelt werden. Eine Versiegelung kann unter Verwendung einer Reihe von Verfahren, einschließlich Ultraschall-Schweißen, Kleben oder Hitzeversiegelung an einzelnen Stellen der Anordnungen reflektierender Elemente ausgeführt werden (siehe z. B. US-Patent Nr. 3 924 928). Eine Versiegelung ist wünschenswert, um den Eintritt von Verunreinigungen, wie beispielsweise Schmutz und/oder Feuchtigkeit, zu verhindern und die Lufträume angrenzend an die reflektierenden Oberflächen der Würfeleckenelemente zu schützen.

[0096] Wenn in dem Komposit zusätzliche Steifigkeit oder Festigkeit erforderlich ist, können Trägerfolien aus Polycarbonat, Polybutyrat oder faserverstärktem Kunststoff verwendet werden. Abhängig vom Flexibilitätsgrad des resultierenden retroreflektierenden Materials kann das Material gerollt oder in Streifen oder in eine andere geeignete Gestalt geschnitten werden. Das retroreflektierende Material kann an der Rückseite auch mit einem Klebstoff und einer Trennschichtfolie versehen werden, so daß es an irgendeinem Substrat angebracht werden kann, ohne daß zusätzlich Klebstoff aufgetragen oder ein anderes Befestigungsmittel verwendet werden muß.

[0097] Die hierin offebarten Würfeleckenelemente können individuell maßgeschneidert werden, um so das von den Gegenständen retroreflektierte Licht in ein gewünschtes Muster oder Divergenzprofil zu verteilen, wie im US-Patent Nr. 4 775 219 gelehrt wird. Typisch wird der eingebrachte Rillenhalbwinkelfehler weniger als ±20 Bogenminuten und oft weniger als ±5 Bogenminuten-betragen.

[0098] Alle zitierten Patente und Patentanmeldungen einschließlich der im Hintergrund der Erfindung offebarten, sind hiermit durch Bezugnahme aufgenommen. Die vorliegende Erfindung ist nun mit Bezug auf mehrere Ausführungsformen beschrieben worden. Es ist für Fachleute ersichtlich, daß viele Änderungen an den beschriebenen Ausführungsformen vorgenommen werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Somit sollte der Bereich der vorliegenden Erfindung nicht durch die hierin beschriebenen bevorzugten Strukturen und Verfahren beschränkt sein, sondern vielmehr durch den weiten Schutzbereich der nachfolgenden Ansprüche.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung mehrerer Plättchen (**10,110,210**) zur Verwendung in einem Formwerkzeug, das bei der Herstellung retroreflektierender

Würfelecken-Gegenstände verwendbar ist, wobei jedes Plättchen eine erste und zweite Hauptfläche (**12, 14, 112, 114, 212, 214**) hat, die sich gegenüberliegen und dazwischen eine erste Bezugsebene (**24, 124, 224**) definieren, wobei jedes Plättchen ferner eine Bearbeitungsfläche (**16, 116, 216**) aufweist, die die erste und zweite Hauptfläche verbindet, wobei die Bearbeitungsfläche eine zweite Bezugsebene (**26, 126, 226**) definiert, die im wesentlichen parallel zur Bearbeitungsfläche und senkrecht zur ersten Bezugsebene und zu einer dritten Bezugsebene (**28**) ist, die senkrecht zur ersten Bezugsebene und zur zweiten Bezugsebene ist, aufweisend:

Orientieren mehrerer Plättchen, so daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen parallel zueinander und in einem ersten Winkel bezüglich einer festen Bezugsachse (**82, 182, 282**) angeordnet sind; und

Bilden mindestens zweier Rillensätze (**30, 46, 130, 138, 146, 230, 238, 246**), wobei jeder Rillensatz mindestens zwei parallele Rillen in der Bearbeitungsfläche der Plättchen aufweist, wobei die mindestens zwei Rillensätze erste, zweite und dritte Rillenflächen bilden, die sich im wesentlichen orthogonal schneiden, um mehrere Würfeleckenelemente (**60, 70, 160, 170, 260, 270**) zu bilden, die sich an den mehreren Plättchen befinden, wobei sich jedes der Würfeleckenelemente im wesentlichen an einem der mehreren Plättchen befindet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Bildung mindestens zweier Rillensätze aufweist: Bildung eines ersten Rillensatzes, der mindestens zwei parallele benachbarte V-förmige Rillen in der Bearbeitungsfläche jedes Plättchens aufweist, wobei die benachbarten Rillen eine erste Rillenfläche und eine zweite Rillenfläche definieren, die sich im wesentlichen orthogonal schneiden, um eine erste Bezugskante an jedem jeweiligen Plättchen zu bilden; und

Bildung eines zweiten Rillensatzes, der mindestens eine Rille in den Bearbeitungsflächen der mehreren Plättchen aufweist, wobei jede Rille in dem zweiten Rillensatz eine dritte Rillenfläche definiert, die sich im wesentlichen orthogonal mit der ersten und zweiten Rillenfläche schneidet, um mehrere erste Würfeleckenelemente zu bilden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die benachbarten ersten und zweiten Hauptflächen eine im wesentlichen planare Grenzfläche aufweisen.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Orientierung der mehreren Plättchen, so daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen parallel zueinander sind und in einem ersten Winkel relativ zu einer festen Bezugsachse angeordnet sind, Zusammenstellen der mehreren Plättchen in einer Spannvorrichtung aufweist, die eine Basisebene definiert.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Schritt

der Bildung der Rillensätze Bildung mindestens eines der Rillensätze parallel zur Basisebene aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Schritt der Bildung der Rillensätze Bildung mindestens eines der Rillensätze in einem spitzen Winkel relativ zur Basisebene aufweist.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Bildung der Rillensätze Variieren des Abstands zwischen benachbarten Rillen in unterschiedlichen Tiefen in der Bearbeitungsfläche der Plättchen aufweist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Bildung der Rillensätze Abtragen von Abschnitten jedes der mehregen Plättchen unmittelbar an der Bearbeitungsfläche der mehreren Plättchen unter Verwendung einer Materialabtragungstechnik aufweist.

9. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit dem Schritt der Orientierung der mehreren Plättchen in einem zweiten Winkel relativ zur festen Bezugsachse vor der Bildung mindestens eines der Rillensätze.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Bildung der Rillensätze einen Bearbeitungsvorgang aufweist, der aus der Gruppe von Bearbeitungsvorgängen ausgewählt ist, die aus Liniieren, Schlagfräsen, Schleifen und Fräsen besteht.

11. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die mehreren Plättchen vor Bildung des zweiten Rillensatzes so orientiert werden, daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen parallel zueinander und in einem zweiten Winkel relativ zur festen Bezugsachse angeordnet sind.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei der Schritt der Orientierung der mehreren Plättchen, so daß ihre jeweiligen ersten Bezugsebenen parallel zueinander und in einem zweiten Winkel relativ zur festen Bezugsachse angeordnet sind, ein Drehen von mehreren Plättchen um 180° um eine zur zweiten Bezugsebene senkrechte Achse aufweist.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die optischen Achsen der Würfeleckenelemente im allgemeinen parallel sind.

14. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Bildung mindestens zweier Rillensätze aufweist: Bildung eines ersten Rillensatzes, der mindestens zwei parallele benachbarte V-förmige Rillen in der Bearbeitungsfläche der Plättchen aufweist, wobei die benachbarten Rillen die erste und zweite Rillenfläche definieren, die eine erste Bezugskante bilden; Bildung eines zweiten Rillensatzes, der mindestens zwei parallele benachbarte V-förmige Rillen in der

Bearbeitungsfläche der Plättchen aufweist, wobei die benachbarten Rillen eine vierte Rillenfläche und eine fünfte Rillenfläche definieren, die sich im wesentlichen orthogonal schneiden, um eine zweite Bezugskante zu bilden; und

Bildung eines dritten Rillensatzes, der mindestens eine Rille in der Bearbeitungsfläche der Plättchen aufweist, wobei die Rille die dritte Rillenfläche und eine sechste Rillenfläche definiert, wobei die erste, zweite und dritte Rillenfläche mindestens eine erste Würfelecke definieren, die in einer ersten Orientierung angeordnet ist, und sich die sechste Rillenfläche im wesentlichen orthogonal mit der vierten und fünften Rillenfläche schneidet, um mindestens eine zweite Würfelecke zu bilden, die in einer zweiten Orientierung angeordnet ist, die sich von der ersten Orientierung unterscheidet.

15. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Bildung mindestens zweier Rillensätze aufweist: Bildung eines ersten Rillensatzes, der mindestens eine Vförmige Rille in der Bearbeitungsfläche der Plättchen aufweist, wobei die Rille die erste Rillenfläche und eine vierte Rillenfläche definiert, die sich schneiden, um einen ersten Rillenvertex zu definieren;

Bildung eines zweiten Rillensatzes, der mindestens eine V-förmige Rille in der Bearbeitungsfläche der Plättchen aufweist, wobei die Rille die zweite Rillenfläche und eine fünfto Rillenfläche definiert, die sich schneiden, um einen zweiten Rillenvertex zu definieren, wobei sich die erste und zweite Rillenfläche schneiden, um eine erste Bezugskante zu definieren; und

Bildung eines dritten Rillensatzes, der mindestens eine V-förmige Rille in der Bearbeitungsfläche der Plättchen aufweist, wobei die Rille die dritte Rillenfläche und eine sechste Rillenfläche definiert, die sich schneiden, um einen dritten Rillenvertex zu definieren, wobei die erste, zweite und dritte Rillenfläche mindestens eine Würfelecke bilden, die in einer ersten Orientierung angeordnet ist.

16. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit dem Schritt der Replikation der Bearbeitungsfläche des Formwerkzeugs, um eine Negativkopie der mehreren Würfelekenelemente zu bilden, die für eine Verwendung als Formwerkzeug für retroreflektierende Gegenstände geeignet ist.

17. Verfahren nach Anspruch 1 ferner mit Replikation der Bearbeitungsfläche des Formwerkzeugs direkt oder indirekt in einem optisch durchlässigen Material, um eine retroreflektierende Bahn zu bilden.

18. Formwerkzeug, das eine Negativkopie der mehreren, gemäß dem Verfahren von Anspruch 1 hergestellten Würfelekenelemente aufweist.

19. Retroreflektierender Gegenstand, der aus

dem die Negativkopie bildenden Formwerkzeug gemäß Anspruch 18 gebildet ist.

20. Verfahren zur Herstellung mehrerer Plättchen (**10,110**) zur Verwendung in einem Formwerkzeug, das zur Herstellung retroreflektierender Würfelecken-Gegenstände verwendbar ist, wobei jedes Plättchen eine erste und zweite Hauptfläche (**12,14,112,114**) hat, die sich gegenüberliegen und dazwischen eine erste Bezugsebene (**24,124**) definieren, wobei jedes Plättchen ferner eine Bearbeitungsfläche (**16,116**) aufweist, die die erste und zweite Hauptfläche verbindet, wobei die Bearbeitungsfläche eine zweite Bezugsebene (**26,126**) definiert, die im wesentlichen parallel zur Bearbeitungsfläche und senkrecht zur ersten Bezugsebene und zu einer dritten Bezugsebene (**28**) ist, die senkrecht zur ersten Bezugsebene und zur zweiten Bezugsebene ist, aufweisend:

Zusammenstellen mehrerer Plättchen in einer geeigneten Spannvorrichtung, wobei die Spannvorrichtung eine Basisebene (**80,180**) definiert;

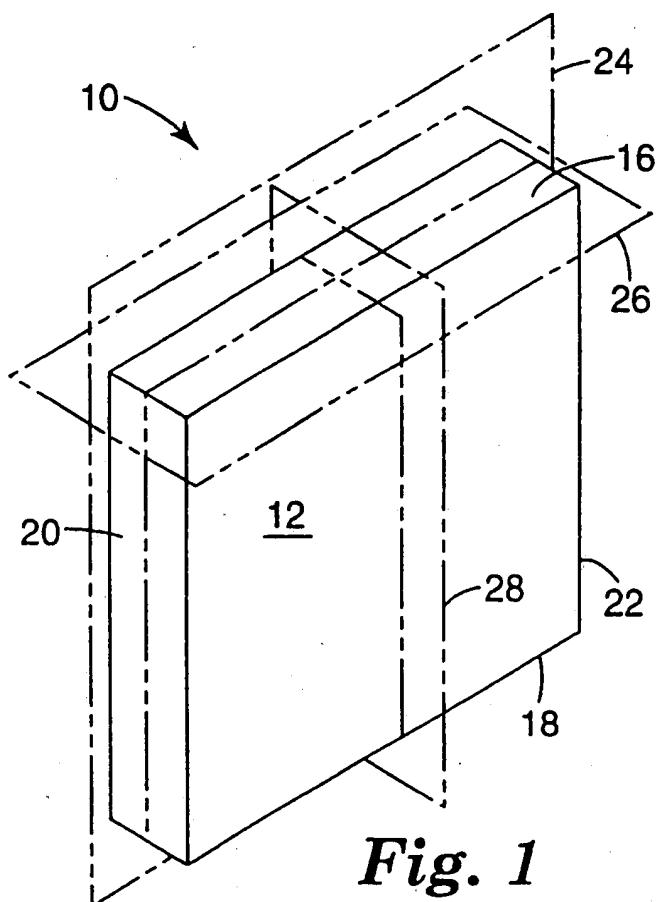
Orientieren der mehreren Plättchen in der Spannvorrichtung, so daß ihre jeweiligen Bezugsebenen parallel zueinander und in einem ersten Winkel ( $\Theta_1, \beta_1, \beta_2$ ) relativ zu einer zur Basisebene lotrechten Bezugssachse (**82,182**) angeordnet sind;

Ausarbeiten eines ersten Rillensatzes (**30,130,138**), der mehrere benachbarte V-förmige Rillen in die Bearbeitungsfläche jedes Plättchens aufweist, wobei die benachbarten Rillen eine erste Rillenfläche und eine zweite Rillenfläche definieren, die sich im wesentlichen orthogonal schneiden, um eine erste Bezugskante an jedem jeweiligen Plättchen zu bilden; und

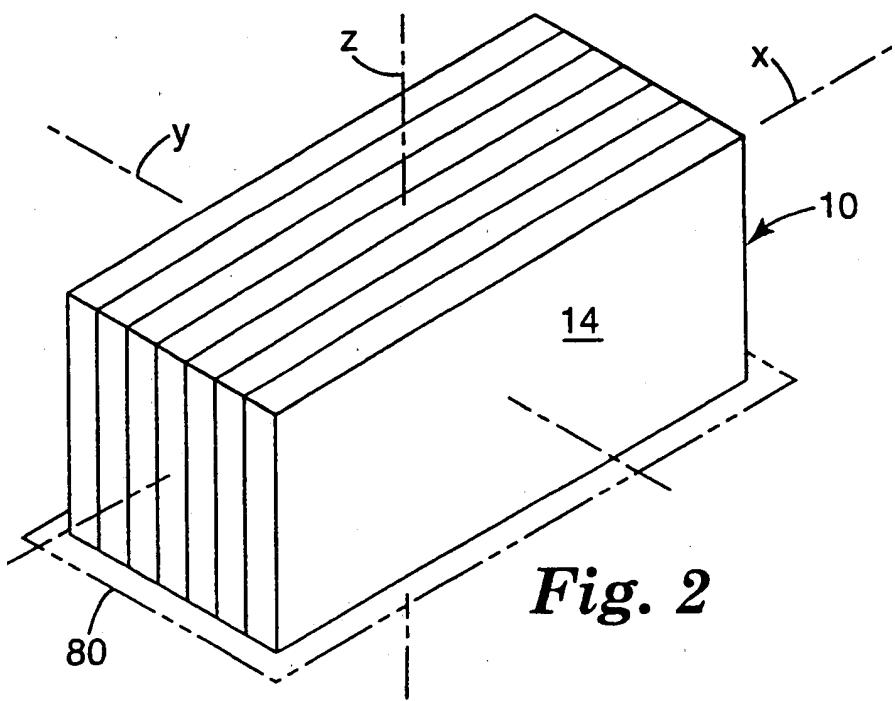
Ausarbeiten eines zweiten Rillensatzes (**46,146**), der mindestens eine Rille in die Bearbeitungsflächen der mehreren Plättchen aufweist, wobei jede Rille des zweiten Rillensatzes eine dritte Rillenfläche definiert, die sich mit der ersten Bezugsebene in einem Winkel ( $\beta_1, \beta_2$ ), der gleich dem ersten Winkel ist, schneidet, um mehrere Würfelekenelemente (**60,70,160,170**) an den Bearbeitungsflächen der mehreren Plättchen zu bilden, wobei sich jedes der mehreren Würfelekenelemente im wesentlichen an einem der mehreren Plättchen befindet.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

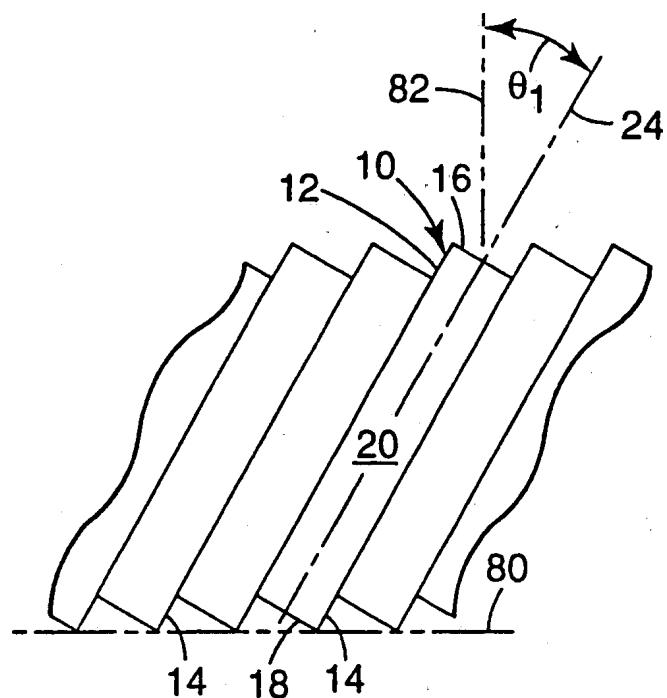
Anhängende Zeichnungen



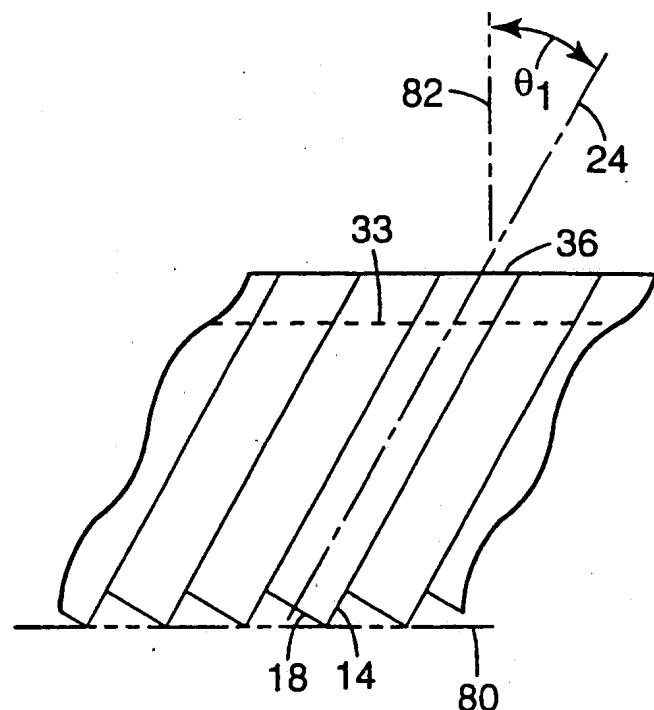
**Fig. 1**



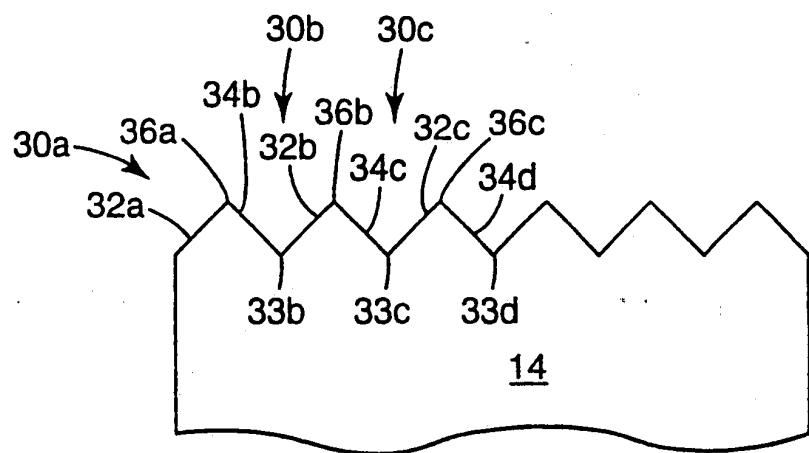
**Fig. 2**



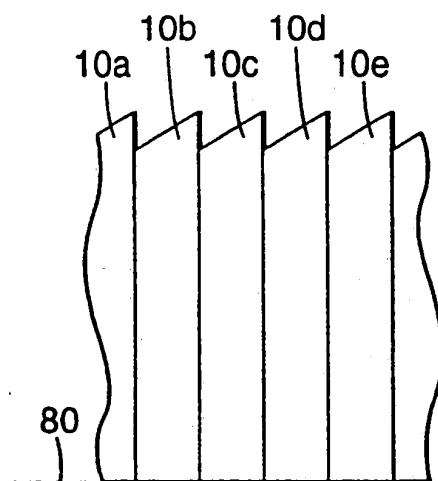
*Fig. 3*



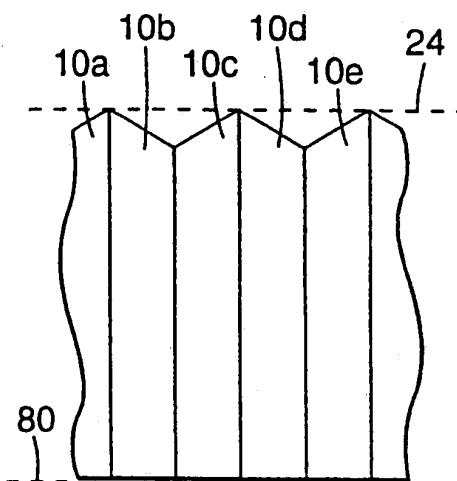
*Fig. 4*



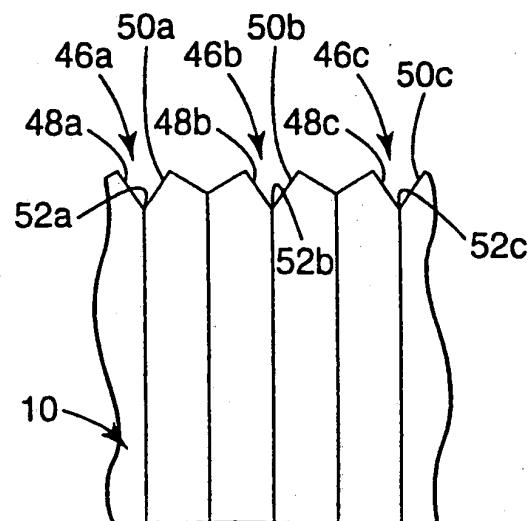
*Fig. 5*



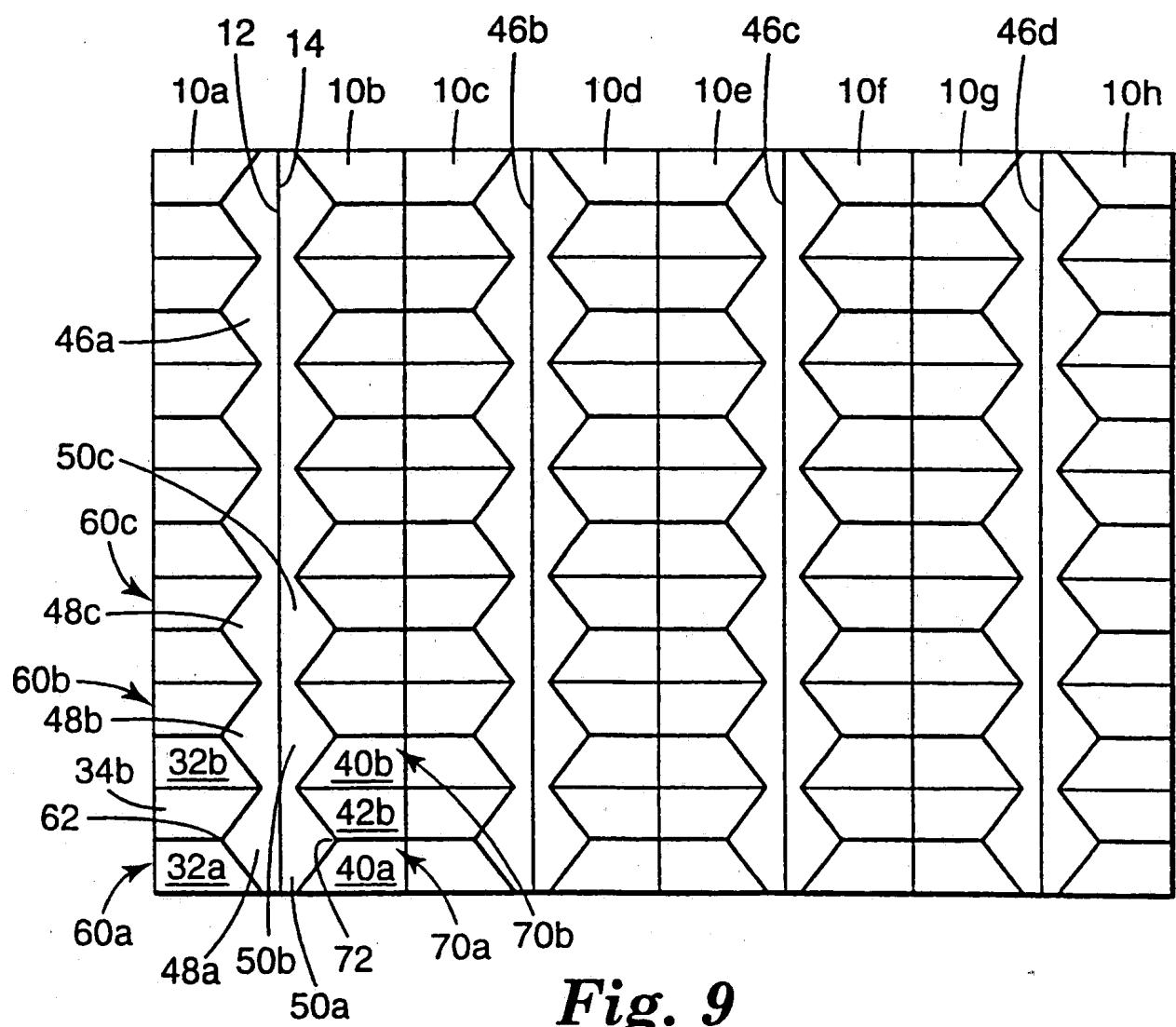
*Fig. 6*

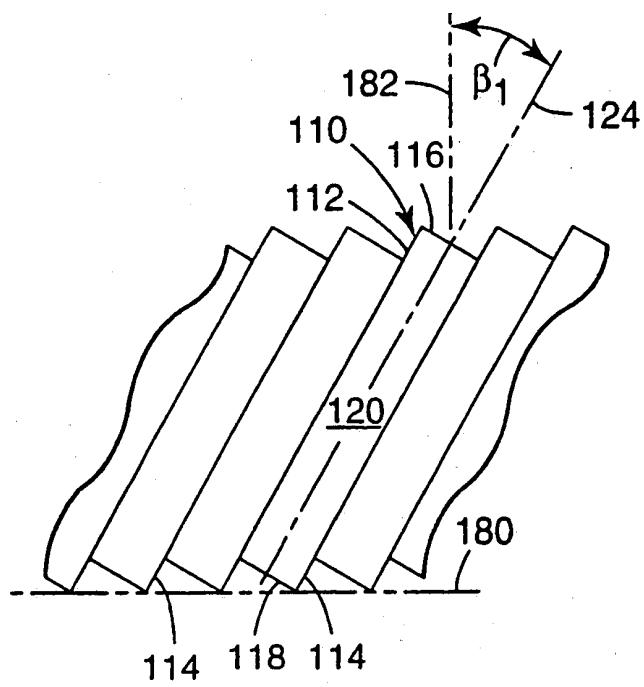


*Fig. 7*

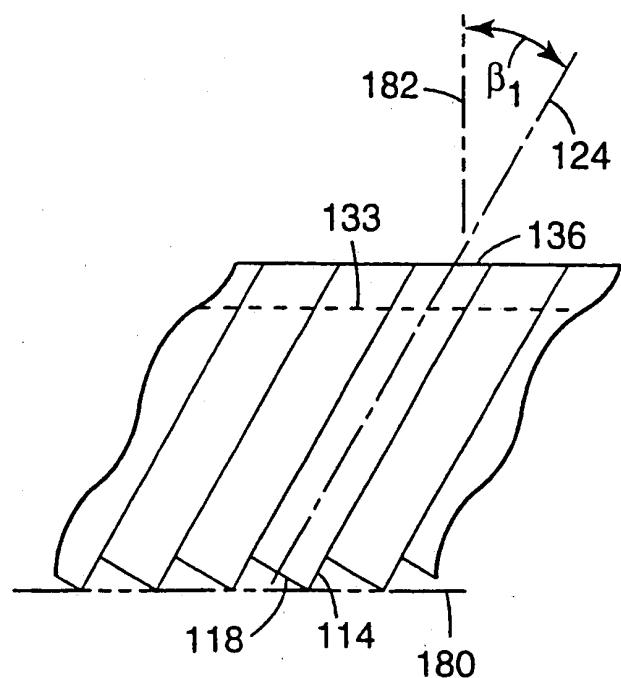


*Fig. 8*

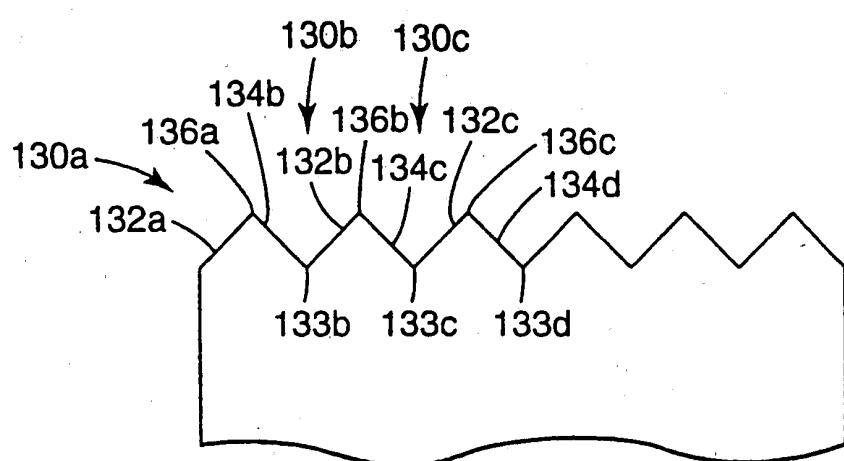




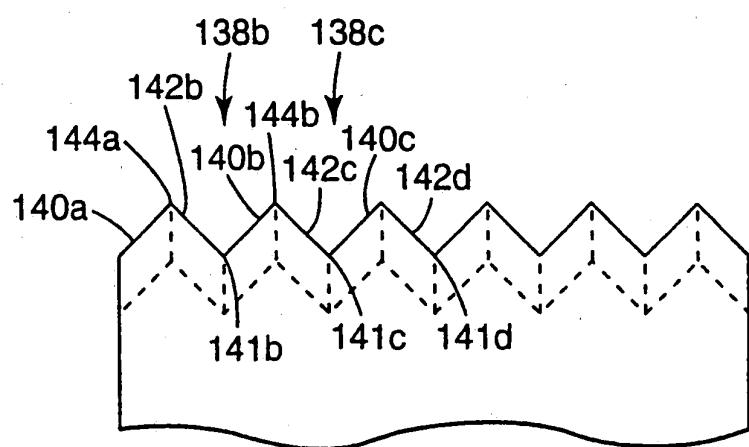
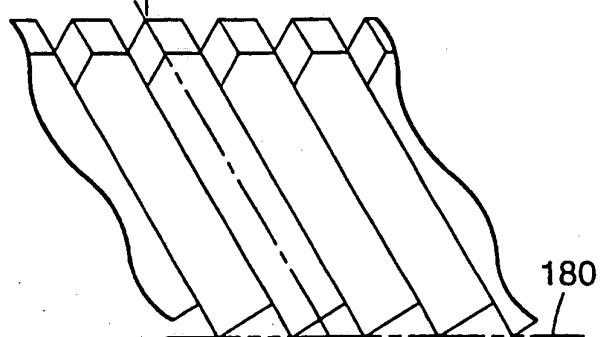
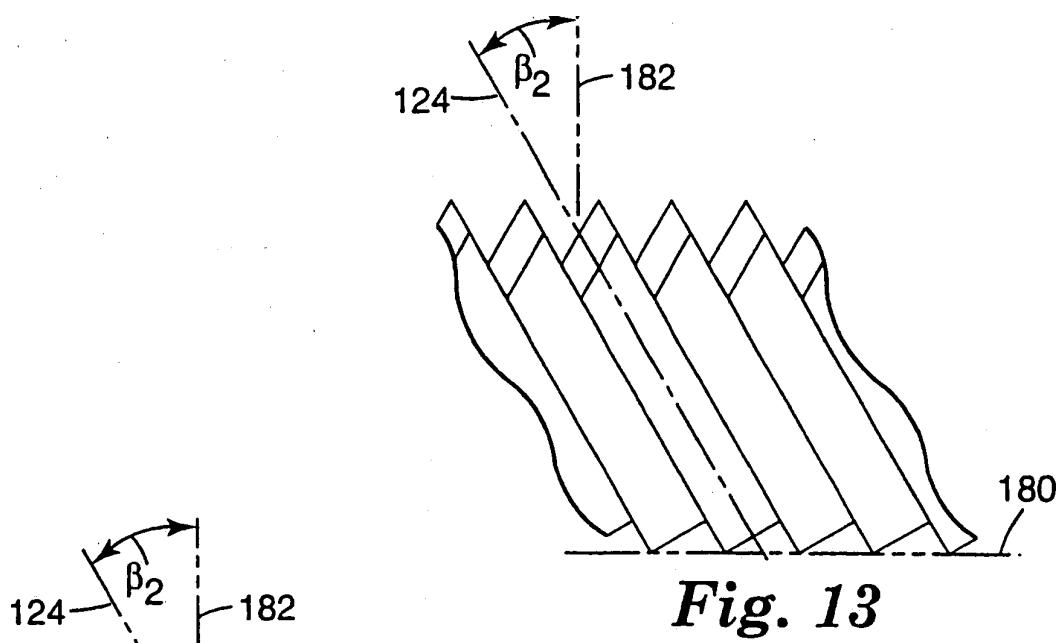
**Fig. 10**

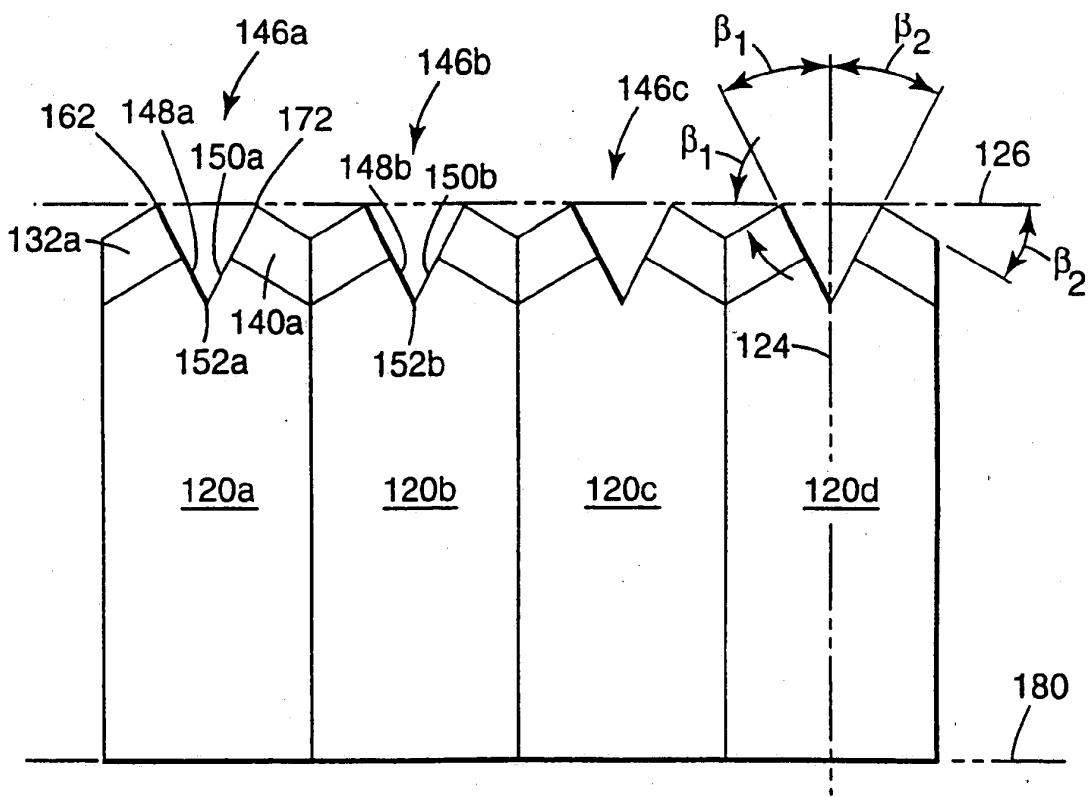


**Fig. 11**

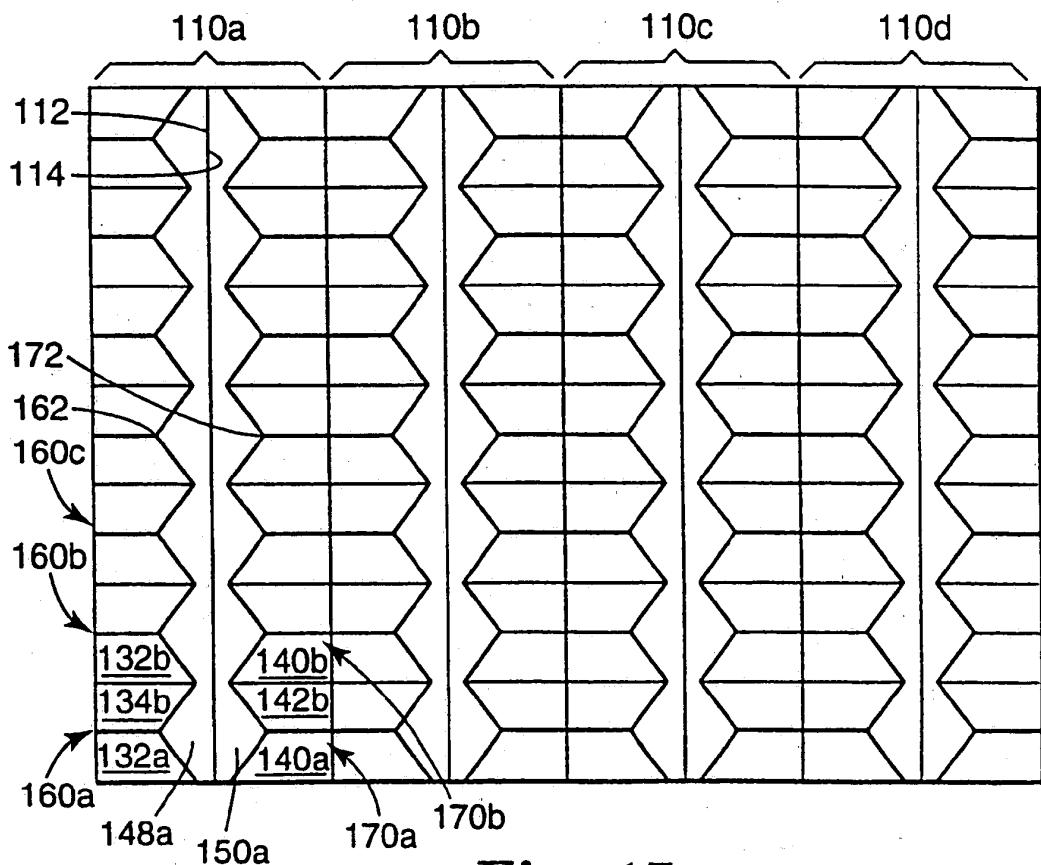


**Fig. 12**

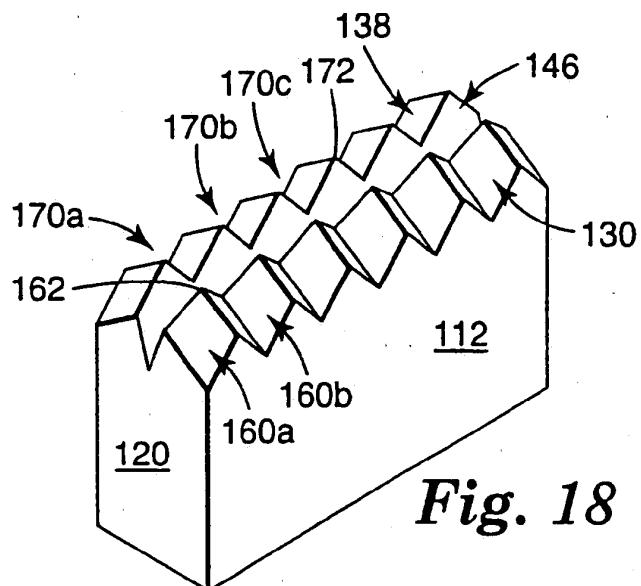




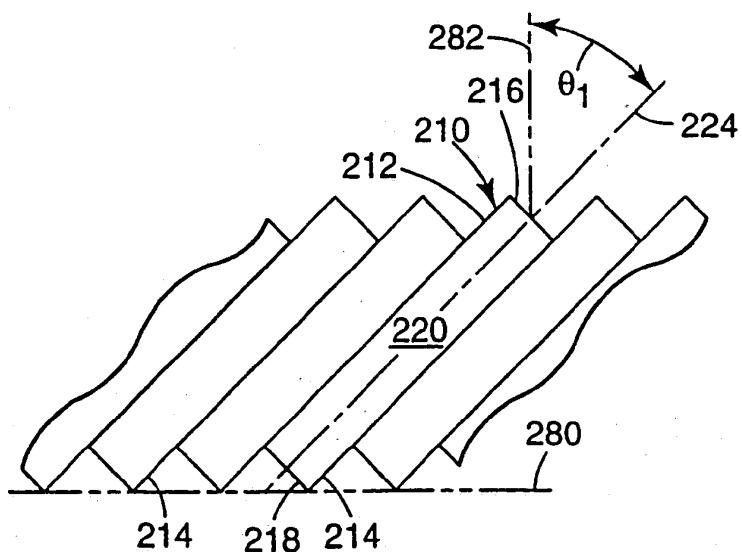
**Fig. 16**



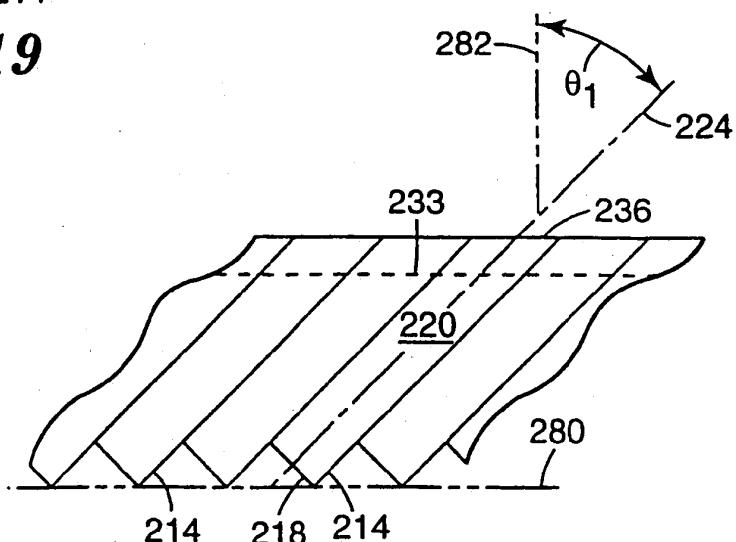
**Fig. 17**



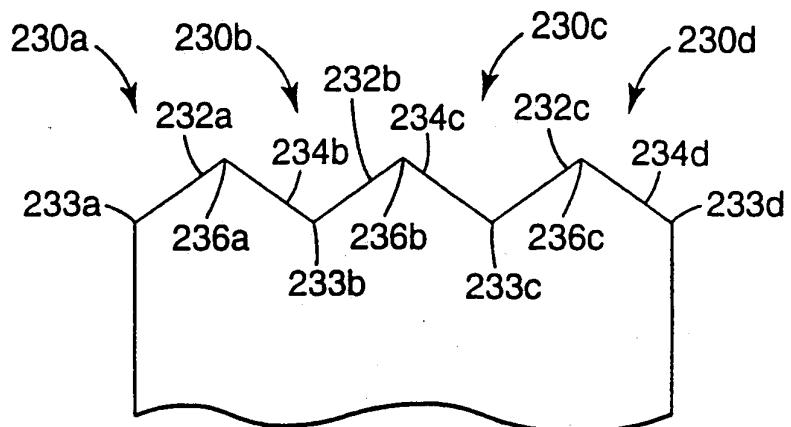
*Fig. 18*



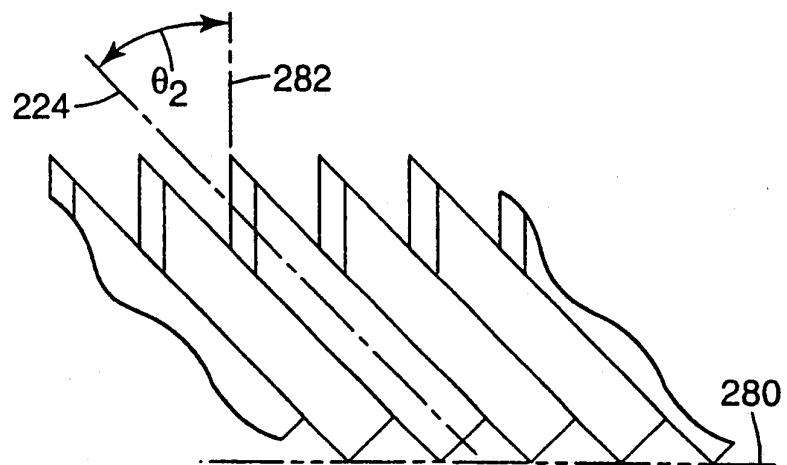
*Fig. 19*



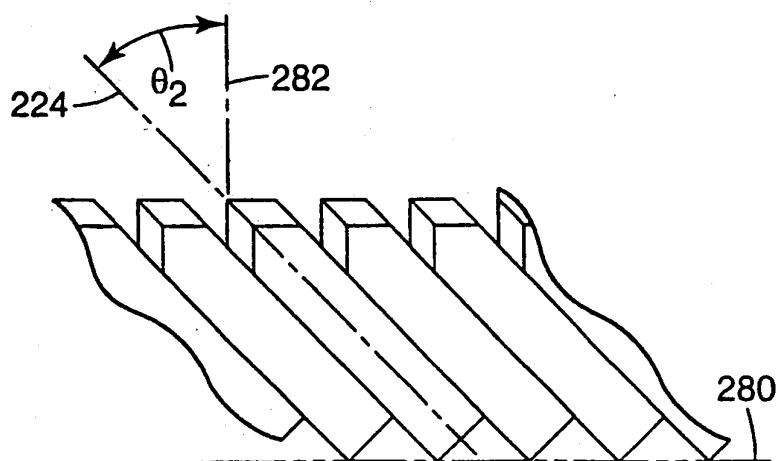
*Fig. 20*



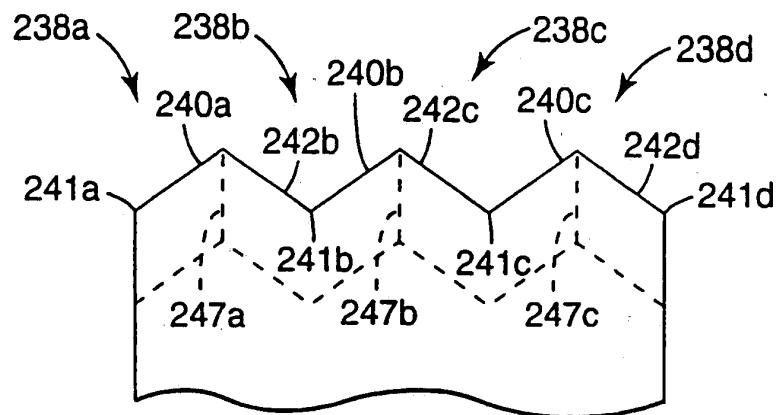
*Fig. 21*



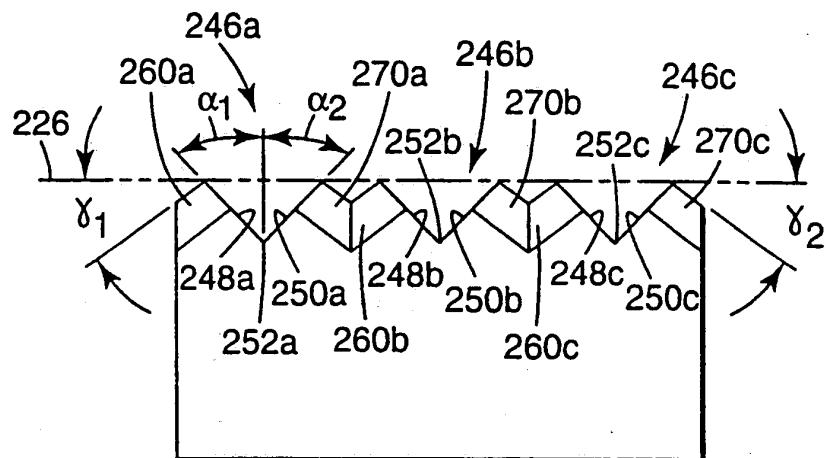
*Fig. 22*



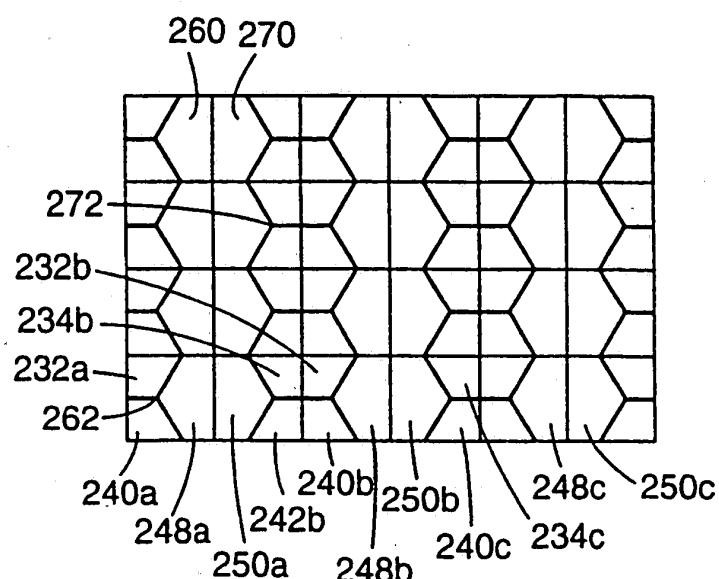
*Fig. 23*



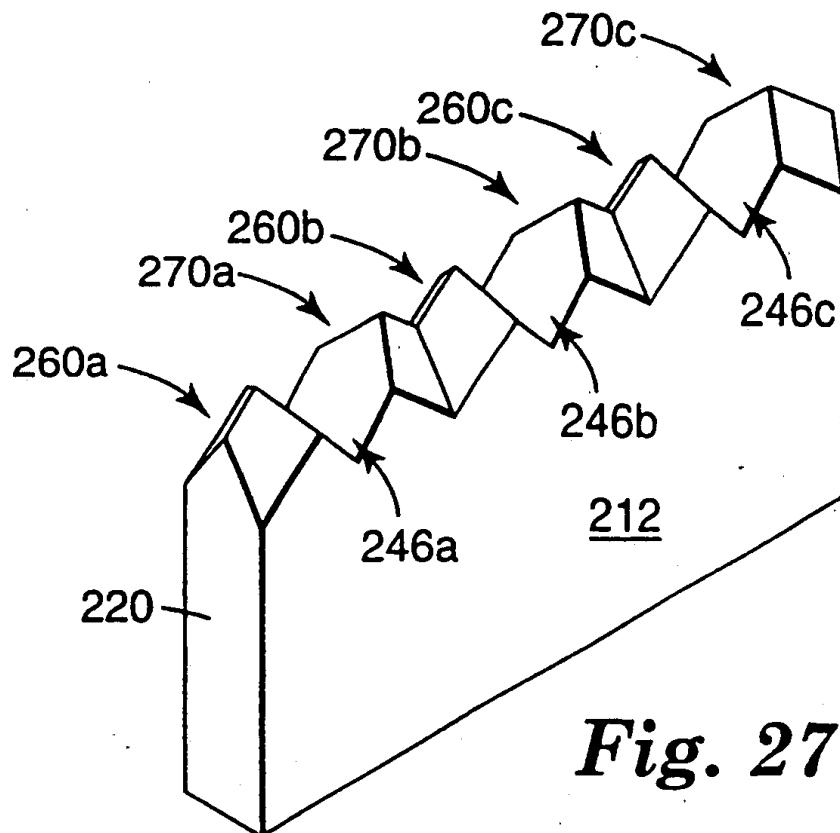
*Fig. 24*



*Fig. 25*



*Fig. 26*



*Fig. 27*