



(19)

REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer: **AT 408 456 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 2195/99
(22) Anmeldetag: 28.12.1999
(42) Beginn der Patentdauer: 15.04.2001
(45) Ausgabetag: 27.12.2001

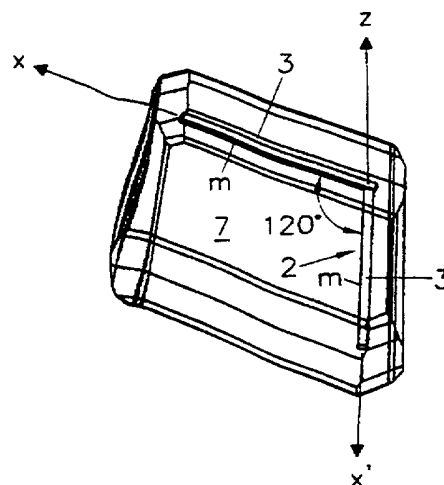
(51) Int. Cl.⁷: **C30B 29/14**
C30B 7/00

(73) Patentinhaber:
AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ, STEIERMARK (AT).
(72) Erfinder:
KREMLPETER PETER WALTER DR.
KAINBACH BEI GRAZ, STEIERMARK (AT).
WALLNÖFER WOLFGANG MAG. DR.
GRAZ, STEIERMARK (AT).
KRISPEL FERDINAND MAG.
WUNDSCHUH, STEIERMARK (AT).
THANNER HERBERT MAG.
GRAZ, STEIERMARK (AT).

(54) VERFAHREN ZUM ZÜCHTEN VON EINKRISTALLEN

(57) Zur Herstellung großer, qualitativ hochwertiger Kristalle aus einem Metallorthophosphat, im speziellen GaPO_4 oder AlPO_4 , aus einer Zuchtlösung unter Verwendung von Keimlingen, wird vorgeschlagen, einen Kristallkeim (2) zu verwenden, welcher zumindest zwei, stab- oder plättchenförmige, zueinander abgewinkelte Keimlingsschenkel (3) aufweist, welche Keimlingsschenkel (3) einen Hauptwachstumsbereich (7) aufspannen und im gezüchteten Einkristall außermittig angeordnet sind. Aufeinanderstoßende, für das Kristallwachstum ausgewählte Flächen zweier Keimlingsschenkel (3) schließen einen Winkel $< 180^\circ$ ein. Die Ausbeute des qualitativ hochwertigen Kristallbereichs wird dadurch erhöht.

Fig.4b



AT 408 456 B

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Züchten von Einkristallen aus Metallorthosphaten der kristallographischen Punktgruppe 32, insbesondere GaPO_4 oder AlPO_4 , aus einer Zuchtlösung unter Verwendung von Kristallkeimen mit für das beabsichtigte Kristallwachstum ausgewählten Flächen.

5 Derartige Kristalle sind piezoelektrisch und optisch einachsig, d.h. sie haben eine ausgezeichnete kristallographische Richtung, welche mit z bzw. c oder als optische Achse bezeichnet wird. Die kristallographischen Achsen x,y,z und Wachstumsflächen R,r,m und z derartiger Kristalle sind aus Fig. 1 ersichtlich. Normal zu den Mantelflächen m verlaufen drei symmetrieäquivalente y-Achsen (nur eine dargestellt) und normal auf y und z stehen die drei
 10 x-Achsen (nur eine dargestellt). Die x-Achsen sind polar, das heißt die + und - Richtung haben verschiedene physikalische Eigenschaften, wie z.B. Ätzverhalten oder Wachstumsgeschwindigkeiten. Der Einkristall GaPO_4 (Galliumorthosphosphat) hat gegenüber Quarz günstigere physikalische Eigenschaften. Besonders hervorzuheben sind der doppelt so große Piezoeffekt, die höhere Kopplungskonstante (interessant für Surface Acoustic Wave (SAW) Elemente) und das Fehlen des
 15 α - β Phasenübergangs bei 573°C , so dass das Material bis zu 900°C verwendet werden kann.

Für die Herstellung großer Stückzahlen von Sensoren oder Resonatoren auf Basis eines Metallorthosphosphats ist es wünschenswert die bereits vorhandenen Technologieeinrichtungen verwenden zu können. Die meisten lithographischen Anlagen (z.B. zur Aufbringung von SAW Schichten) sind für Halbleitermaterialien ausgelegt, wobei üblicherweise 3" Wafer oder größere verarbeitet werden. Um die Vorteile der neuen Kristalle technologisch und wirtschaftlich günstig nutzen zu können, sind deshalb große ungestörte Kristallbereiche nötig.

Das Fehlen von natürlichen Keimlingen hat zu verschiedenen Zuchtverfahren geführt, um möglichst große Einkristalle zu erhalten. Dabei wirkt erschwerend, dass die y-Flächen bzw. m-Flächen und die großen Rhomboederflächen (R-Flächen) das Wachstum begrenzen (siehe Fig. 1), so dass
 25 nur Keimlinge mit entsprechend großer y-Dimension brauchbare Zuchtergebnisse liefern. In Richtung der kristallographischen x-Achsen dagegen erfolgt das Wachstum verhältnismäßig schnell. Die Terminologie bezüglich Richtungen und Flächen in den Metallorthosphosphaten ist in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst. Die Richtungen werden in Form von Flächennormalen (gekennzeichnet durch die Bravais-Miller Indizierung für die entsprechende Fläche) in eckigen Klammern angegeben.

Tab. 1: Bezeichnung von Kristallrichtungen in Metallorthosphosphaten der Punktgruppe 32

Achse	Richtung
x (a_1)	$[2\ 1\ \bar{1}\ 0]$
y	$[0\ 1\ \bar{1}\ 0]$
z (c)	$[0\ 0\ 0\ 1]$

Tab. 2: Bezeichnung von Flächen und dazugehörige Bravais-Miller Indizes in Metallorthosphosphaten der Punktgruppe 32

Flächenname	Bravais-Miller Index
x	$\{\bar{2}\ \bar{1}\ \bar{1}\ 0\}$
y (m)	$\{0\ 1\ \bar{1}\ 0\}$
z	$\{0\ 0\ 0\ 1\}$
r	$\{0\ 1\ \bar{1}\ \bar{1}\}$
R	$\{0\ 1\ \bar{1}\ 1\}$
120	$\{\bar{1}\ \bar{2}\ \bar{3}\ 0\}$
123	$\{\bar{1}\ \bar{2}\ \bar{3}\ \bar{3}\}$

Die logische Folgerung aus den oben genannten Wachstumskriterien ist ein gerader Keimling 1 mit möglichst großer Abmessung in y-Richtung, von wo sich der x-Flügel ausbilden kann (siehe Fig. 2, in welcher auch die symmetrieäquivalenten Achsen y' , y'' und x' , x'' eingetragen sind). Bei den künstlich hergestellten Metallorthophosphaten ist man bei Verwendung von Spontankristallen, auch bei mehreren aufeinanderfolgenden Wachstumszyklen, wegen der äußerst niedrigen Wachstumsrate in y-Richtung, auf recht kleine Abmessungen beschränkt.

Mit Hilfe des in der AT-B 398 255 geoffenbarten Hydrothermalzuchtverfahrens ist es möglich die längeren y-Stäbe von Quarz als Keimlinge für die Herstellung von Metallorthophosphaten (Epitaxie auf Quarz) zu verwenden. Dadurch können beachtliche Dimensionen in x- und y-Richtung erreicht werden. Bei der Epitaxie auf Quarz treten während der hydrothermalen Zucht Probleme in Form von Wachstumsstörungen auf. Neben den Brasilzwillingen sind die Hauptstörungen im Quarzkeimling selbst zu sehen, der als Fremdkörper mitten im gewachsenen Kristall liegt. Diese Situation wird in Fig. 3 dargestellt, wo in Blickrichtung der y-Achse einzelne Kristallbereiche abgegrenzt sind. Im "direkten z-Bereich" 4 treten Einschlüsse, Versetzungsbüschel und infolge von mechanischen Spannungen Risse auf. Jedoch hat sich überraschenderweise gezeigt, dass der "indirekte z-Bereich" 5 hervorragende Kristallqualität besitzt. Im "direkten x-Bereich" 6 treten meist Störungen in Form von Zuchtlösungseinschlüssen auf. Je nach Wachstumsbedingungen können Teilbereiche daraus jedoch ebenfalls für Applikationen verwendet werden. Die Grenze zwischen gestörtem und ungestörtem Bereich des direkten x-Wachstums wird durch die sogenannten 123 Flächen gebildet. Diese besitzen die Flächenindizes $\{1\ 2\ \bar{3}\ 3\}$. Ab diesem Bereich können Kristalle ohne direkten gestörten x-Bereich gezüchtet werden.

Mit Hilfe anderer bekannter Verfahren wurde versucht durch gerades Aneinanderreihen von mehreren Keimlingen die y-Dimension zu vergrößern, wie beispielsweise in der EP-A 0 123 809, gemäß welcher die für das beabsichtigte Kristallwachstum ausgewählten Flächen (z-Flächen) in einer Ebene angeordnet sind und die einzelnen Plättchen einen sechseckigen Querschnitt aufweisen. Weiters wird in der EP-B1 0 515 288 ein Verfahren zur hydrothermalen Zucht aus mittels Impfkristallen zusammengesetzten plättchenförmigen Kristallkeimen beschrieben, welche auf einem ebenen Basiselement angeordnet sind.

Langsam wachsende Flächen als Keimlinge zu verwenden wurde zwar versucht, jedoch konnten dadurch nur die langsamen Wachstumsgeschwindigkeiten bestätigt werden. So war man bisher der Ansicht, dass mit geraden y-Stäben den schnell wachsenden x-Flächen der maximale Raum zum Wachstum angeboten wird und dadurch die größtmögliche Ausbeute erzielt werden kann.

Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren zur Herstellung großer qualitativ hochwertiger Kristalle aus Metallorthophosphaten vorzuschlagen, wobei Wachstumsstörungen weitgehend vermieden werden sollen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass ein Kristallkeim mit zumindest zwei, stab- oder plättchenförmigen, zueinander abgewinkelten Keimlingsschenkeln verwendet wird, welche Keimlingsschenkel einen Hauptwachstumsbereich aufspannen und im gezüchteten Einkristall außermittig angeordnet sind. Es hat sich überraschenderweise gezeigt, dass eigentlich langsam wachsende Flächen wesentlich schneller gezüchtet werden können, wenn zwei aufeinanderstoßende, für das Kristallwachstum ausgewählte kristallographische Flächen einen Winkel $< 180^\circ$ zueinander bilden,

Mit dem neuen Verfahren ist es möglich, ebenso große Kristalle wie mit den bisherigen, geraden Keimlingen zu züchten, jedoch wird der Kristallkeim an den Rand des Hauptwachstumsbereiches versetzt, so dass eine durchgehende Nutzung der Wachstumszone (z.B. indirekter z-Bereich) ermöglicht wird. Die verwendbare Fläche, beispielsweise in der x-y Ebene, kann dadurch verdoppelt werden, so dass zum Beispiel 3" Wafer aus Metallorthophosphat-Kristallen gewonnen werden können. Erreicht wird dies durch eine neue Ausbildung bzw. Anordnung der Keimlinge.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass der Kristallkeim monolithisch, unter Ausbildung der zumindest zwei Keimlingsschenkel, aus einem Einkristall gewonnen wird oder dass der Kristallkeim aus einzelnen stab- oder plättchenförmigen Einkristallelementen zusammengesetzt wird, deren kristallographischen Achsen zueinander parallel ausgerichtet sind. Beste Ergebnisse werden dann erzielt, wenn die Ausrichtung der Achsen möglichst exakt erfolgt, es sind allerdings auch

Abweichungen von 2° bis 3° zulässig.

Unterschiedliche Keimlingsgeometrien können im Sinne der Erfindung durch einen Schnitt aus einem Einkristallstück, oder durch Zusammensetzen einzelner Kristallelemente (sogenanntes "Splicing") erreicht werden. Beim Splicing-Verfahren muß auf eine möglichst genaue Ausrichtung der Keimlingsschenkel untereinander geachtet werden, wobei diese Orientierung während des Wachstumsstartes beibehalten werden muß.

Die besten Ergebnisse sind dann erzielbar, wenn die Keimlinge monolithisch, das heißt aus einem einzigen Kristallstück gewonnen werden können. Dabei fallen Probleme der mechanischen Stabilität bzw. der Anordnung gänzlich weg und auch die relative Orientierung zwischen den Keimlingsschenkeln ist automatisch gegeben. Kleine absolute Orientierungsfehler (d.h. kleine Rotationen der abgewinkelten Keimlinge) in der Ordnung von Winkelgraden haben praktisch keinen Einfluss auf die Qualität des Wachstums.

Erfindungsgemäß ist weiters vorgesehen, dass der Kristallkeim aus einem zum aufzuzüchtenden Einkristall homöotypen Kristallmaterial besteht. Insbesondere kommt dabei GaPO_4 , AlPO_4 , FePO_4 , GaAsO_4 , AlAsO_4 , SiO_2 und GeO_2 zur Anwendung. Mit Hilfe der Epitaxie wird eine dünne Schicht des gewünschten Kristallmaterials aufgebracht. Dieser Prozeß muß allerdings zweistufig durchgeführt werden. Der Vorteil der epitaktischen Methode liegt z.B. in den Quarzkeimlingen, die kostengünstig in wesentlich größeren Dimensionen vorliegen als die Keimlinge auf Basis von Metallorthophosphaten.

Bei einem Kristallkeim aus stabförmigen Keimlingsschenkeln ist es von Vorteil, wenn die Hauptachsen der Keimlingsschenkel eine Ebene aufspannen, die senkrecht zur kristallographischen z-Achse steht.

Die Erfindung wird anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen Fig. 1 die dreidimensionale Darstellung eines Metallorthophosphat-Kristalles mit den kristallographischen Achsen sowie den Wachstumsflächen, Fig. 2 einen stabförmigen Kristallkeim, dessen Hauptachse in der kristallographischen y-Achse liegt mit den sich ausbildenden Wachstumsflächen, Fig. 3 unterschiedliche Kristallbereiche eines Metallorthophosphat-Kristalles (Blickrichtung von y), Fig. 4a in zweidimensionaler und Fig. 4b in dreidimensionaler Darstellung die erfindungsgemäße Anordnung zweier Keimlingsschenkel (x-Stäbe) im Winkel von 120°, Fig. 5 in dreidimensionaler Darstellung die Anordnung eines x- und eines y-Stabes in einem Winkel von 90°, Fig. 6 die Anordnung dreier y-Stäbe jeweils im Winkel von 120°, Fig. 7 die Anordnung eines y- und zweier x-Stäbe unter einem Winkel von 90° in dreidimensionaler Darstellung, Fig. 8 die Anordnung zweier Keimlingsschenkel mit $\{1\ 2\ \bar{3}\ 0\}$ -Flächen, welche einen Winkel von 158° einschließen, sowie Fig. 9 die Anordnung zweier plättchenförmiger Keimlingsschenkel in einer 120°-Geometrie.

Allgemein ist zu sagen dass die Keimlingsflächen der Schenkel nicht mit den kristallographischen Flächen identisch sein müssen. Insbesondere können zur Richtung der Keimlingsschenkel tautozonale Flächen verwendet werden. Tautozonale Flächen sind alle Flächen deren Normalvektoren in einer Ebene liegen. Der Normalvektor dieser Ebene wird wie die Kristallrichtungen in Tabelle 1 durch das Zonensymbol angegeben. Zum Beispiel enthält die zur y-Achse $[0\ 1\ \bar{1}\ 0]$ tautozonale Flächenschar die x $\{2\ \bar{1}\ \bar{1}\ 0\}$ und die z-Fläche $\{0\ 0\ 0\ 1\}$, sowie alle dazwischen liegenden Flächen $\{2\ \bar{1}\ \bar{1}\ t\}$, wobei t eine beliebige ganze Zahl sein kann. Geht t gegen unendlich so ergibt sich die z-Fläche. In der Abb. 8 beispielsweise ist zwar die $\{1\ 2\ \bar{3}\ 3\}$ -Fläche die ausgewählte Wachstumsfläche, jedoch wird aus herstellungstechnologischen Gründen (Sägen) die $\{1\ 2\ \bar{3}\ 0\}$ -Fläche als Keimlingsfläche verwendet. Die Keimlingsflächen selbst müssen auch nicht eben sein, wie es bei gesägten Flächen ja auch gar nicht möglich ist, sondern können Unebenheiten bis in den mm Bereich aufweisen.

Die kristallographischen Gegebenheiten bei Metallorthophosphatkristallen der Punktgruppe 32 wurden bereits eingangs anhand der Fig. 1 bis 3 näher erläutert.

Die Fig. 4a bis 9 erläutern das erfindungsgemäße Verfahren anhand der Anordnung bzw. Ausbildung zweier oder dreier Keimlingsschenkel in einer 90°, 120° oder 158°-Geometrie. Bei den in den Fig. 4a bis 8 dargestellten stabförmigen Keimlingsschenkel, deren Hauptachse die kristallographische x-Achse ist (sogenannte x-Stäbe) bzw. deren Hauptachse die kristallographische y-Achse ist (y-Stäbe), ist eine Anordnung in der x-y Ebene vorteilhaft, da so Kristallbereiche mit hoher Qualität entstehen.

Da der zu züchtende Kristall trigonal ist, das heißt eine dreizählige Achse (=z =optische Achse)

besitzt, treten bei einer Drehung von 120° um z alle Flächen wieder auf (siehe Fig. 1, Fig.2). Die schnell wachsenden x-Flächen und die langsam wachsenden y- bzw. m-Flächen stehen normal aufeinander.

Im Sinne der Erfindung bieten sich somit z.B. folgende Möglichkeiten für die Anordnung der Keimlingsschenkel 3 des Kristallkeimes 2 an, wobei sich die Ausführungsvarianten auf die in der Tabelle 2 angeführten kristallographischen Flächen beziehen und auch dazu tautozonale Flächen geeignet sind:

- aufeinander stoßende $\{0\ 1\ \bar{1}\ 0\}$ -Flächen (y-Flächen bzw. m-Flächen) zweier Keimlingsschenkel schließen einen Winkel von 120° ein,
- aufeinander stoßende $\{2\ \bar{1}\ \bar{1}\ 0\}$ -Flächen (x-Flächen) zweier Keimlingsschenkel schließen einen Winkel von 120° ein,
- aufeinander stoßende $\{1\ 2\ \bar{3}\ 0\}$ -Flächen (120-Flächen) zweier Keimlingsschenkel schließen einen Winkel von 158° ein,
- eine $\{2\ \bar{1}\ \bar{1}\ 0\}$ -Fläche (x-Fläche) eines Keimlingsschenkels schließt mit der $\{0\ 1\ \bar{1}\ 0\}$ -Fläche (y-Fläche) eines benachbarten zweiten Keimlingsschenkels einen Winkel von 90° ein,
- die $\{2\ \bar{1}\ \bar{1}\ 0\}$ -Flächen (x-Flächen) dreier Keimlingsschenkel sind trog- oder wannenförmig angeordnet, wobei jeweils zwei aufeinander stoßende $\{2\ \bar{1}\ \bar{1}\ 0\}$ -Flächen (x-Flächen) einen Winkel von 120° einschließen,
- die $\{0\ 1\ \bar{1}\ 0\}$ -Flächen (y-Flächen) dreier Keimlingsschenkel sind trog- oder wannenförmig angeordnet, wobei jeweils zwei aufeinander stoßende $\{0\ 1\ \bar{1}\ 0\}$ -Flächen (y-Flächen) einen Winkel von 120° einschließen,
- an die $\{2\ \bar{1}\ \bar{1}\ 0\}$ -Fläche (x-Fläche) eines Basisschenkels schließen an beiden Seiten jeweils die $\{0\ 1\ \bar{1}\ 0\}$ -Fläche (y-Flächen) eines weiteren Keimlingsschenkels unter Einschluß eines Winkels von 90° an.

Alle Winkelangaben weisen einen Toleranzbereich von 2° bis 3° auf.

Als eine günstige Anordnung im Sinne der Erfindung hat sich, wie in Fig. 4a, 4b skizziert, eine 120° Anordnung zweier Keimlingsschenkel 3 erwiesen. Die Hauptschenkelflächen sind dabei z- bzw. y-Flächen. Diese Keimlingsschenkel werden als x-Stäbe bezeichnet aufgrund der ausgezeichneten Längendimension in die x- bzw. x'-Richtung. Das Wachstum findet bevorzugt auf der Keimlingsinnenseite im Hauptwachstumsbereich 7 statt, da nur hier der Winkel zwischen den Wachstumsflächen kleiner als 180° ist.

Bei allen Ausführungsvarianten erfolgt das Kristallwachstum bevorzugt in den von den abgewinkelten Keimlingsschenkeln 3 des Kristallkeimes 2 aufgespannten Hauptwachstumsbereich 7, wodurch der Kristallkeim 2 bzw. die Keimlingsschenkel 3 im gezüchteten Einkristall außermittig angeordnet sind (Fig. 4a bis Fig. 9).

Eine andere Ausführungsform geht von rechtwinkligen Keimlingsschenkeln aus. Dabei wird die schnell wachsende x-Fläche des Basisschenkels (y-Stab) durch einen oder zwei x-Stäbe, die normal auf den Basisschenkel stehen, seitlich ergänzt (Fig. 5 zeigt die Ausführung mit einem x-Stab und dem y-Stab als Basis, Fig. 7 einen y-Stab und zwei x-Stäbe).

Eine dreischenkellige Ausführungsform mit 120° Winkeln ist in Fig. 6 dargestellt. Die Anordnung besteht aus drei, trog- oder wannenförmig angeordneten y-Stäben. Das Wachstum erfolgt wiederum hauptsächlich nach innen.

In einem weiteren Beispiel werden $\{1\ 2\ \bar{3}\ 0\}$ -Flächen als Keimlingsschenkel verwendet (Fig. 8). Der Gewinn an Kristallvolumen ist dabei zwar geringer als jener der bisher ausgeführten Formen, aber es kann dabei eine Reduktion der Einschlüsse im direkten x-Bereich erwartet werden.

Fig. 9 zeigt einen Kristallkeim 2, welcher zwei plättchenförmige Keimlingsschenkel 3 aufweist. Diese können entweder normal zu y bzw. y' oder zu x bzw. x' stehen, in beiden Fällen schließen die Keimlingsschenkel einen Winkel von 120° ein.

Die Dicke der Keimlinge in z-Richtung beträgt bei stabförmigen Keimlingen ca. 2 mm, kann aber auch größer (bei plättchenförmigen Keimlingsschenkeln) gewählt werden.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zum Züchten von Einkristallen aus Metallorthosphosphaten der kristallographi-

schen Punktgruppe 32, insbesondere GaPO_4 oder AlPO_4 , aus einer Zuchtlösung unter Verwendung von Kristallkeimen, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Kristallkeim (2) mit zumindest zwei, stab- oder plättchenförmigen, zueinander abgewinkelten Keimlingsschenkeln (3) verwendet wird, welche Keimlingsschenkel (3) einen Hauptwachstumsbereich (7) aufspannen und im gezüchteten Einkristall außermittig angeordnet sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kristallkeim (2) monolithisch, unter Ausbildung der zumindest zwei Keimlingsschenkel (3) aus einem Einkristall gewonnen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kristallkeim (2) aus einzelnen stab- oder plättchenförmigen Einkristallelementen zusammengesetzt wird, deren kristallographischen Achsen zueinander parallel ausgerichtet sind.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kristallkeim (2) aus stabförmigen Keimlingsschenkeln (3) besteht, deren Hauptachsen eine Ebene aufspannen, die senkrecht zur kristallographischen z-Achse steht.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den Kristallkeim (2) ein zum aufzuzüchtenden Einkristall homöotypes Kristallmaterial, vorzugsweise GaPO_4 , AlPO_4 , FePO_4 , GaAsO_4 , AlAsO_4 , SiO_2 und GeO_2 , verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass drei Keimlingsschenkel (3) mit $\{2 \bar{1} \bar{1} 0\}$ -Flächen oder drei Keimlingsschenkel (3) mit $\{0 1 \bar{1} 0\}$ -Flächen trog- oder wannenförmig angeordnet werden, so dass jeweils zwei aufeinander stoßende $\{2 \bar{1} \bar{1} 0\}$ -Flächen bzw. $\{0 1 \bar{1} 0\}$ -Flächen einen Winkel von 120° einschließen.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Keimlingsschenkel (3) derart ausgerichtet werden, dass die den Hauptwachstumsbereich (7) aufspannenden $\{0 1 \bar{1} 0\}$ -Flächen zweier Keimlingsschenkel (3) einen Winkel von 120° einschließen.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Keimlingsschenkel (3) derart ausgerichtet werden, dass die den Hauptwachstumsbereich (7) aufspannenden $\{2 \bar{1} \bar{1} 0\}$ -Flächen zweier Keimlingsschenkel (3) einen Winkel von 120° einschließen.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine $\{2 \bar{1} \bar{1} 0\}$ -Fläche eines Keimlingsschenkels (3) mit einer $\{0 1 \bar{1} 0\}$ -Fläche eines benachbarten zweiten Keimlingsschenkels (3) den Hauptwachstumsbereich (7) aufspannen und einen Winkel von 90° einschließen.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass drei Keimlingsschenkel (3) verwendet werden, wobei an die $\{2 \bar{1} \bar{1} 0\}$ -Fläche eines Basischenkels an beiden Seiten jeweils die $\{0 1 \bar{1} 0\}$ -Fläche eines weiteren Keimlingsschenkels (3) unter Einschluss eines Winkels von 90° stößt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Keimlingsschenkel (3) derart ausgerichtet werden, dass die den Hauptwachstumsbereich (7) aufspannenden $\{1 2 \bar{3} 0\}$ -Flächen zweier Keimlingsschenkel (3) einen Winkel von 158° einschließen.

HIEZU 4 BLATT ZEICHNUNGEN

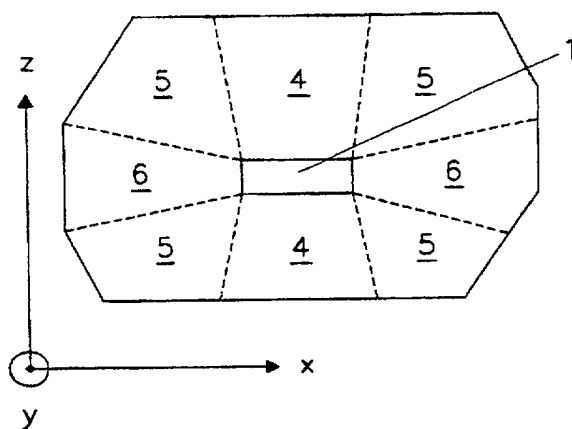


Fig. 3

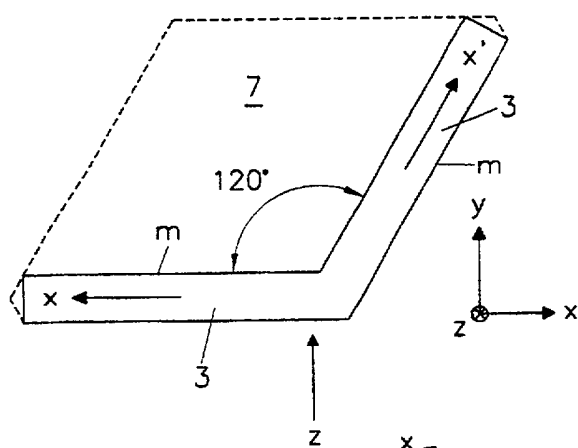
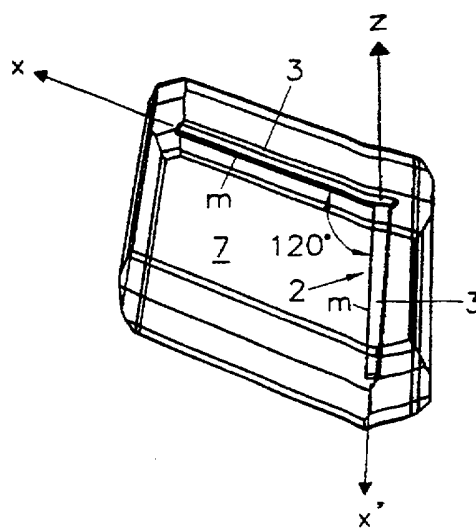


Fig. 4a

Fig. 4b



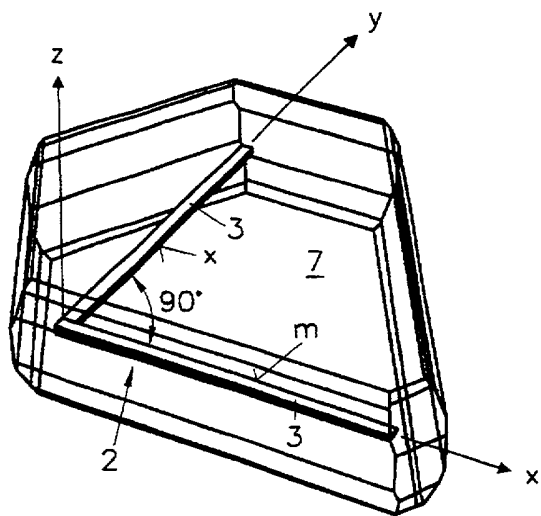


Fig. 5

Fig. 6

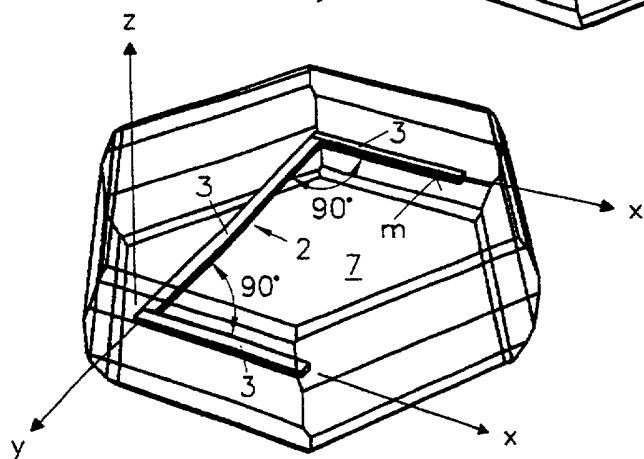
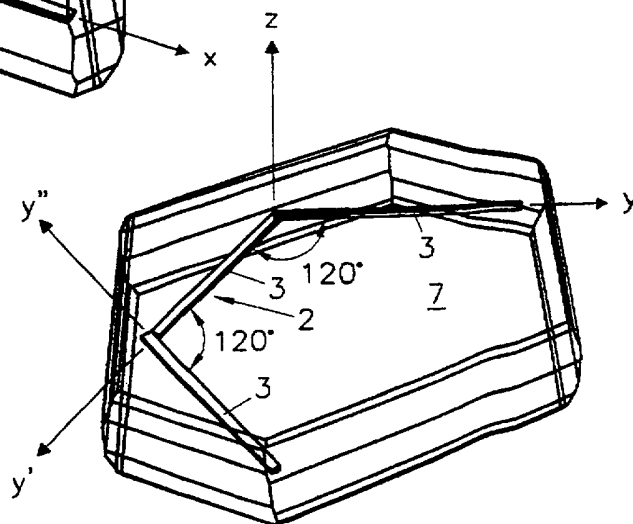


Fig. 7

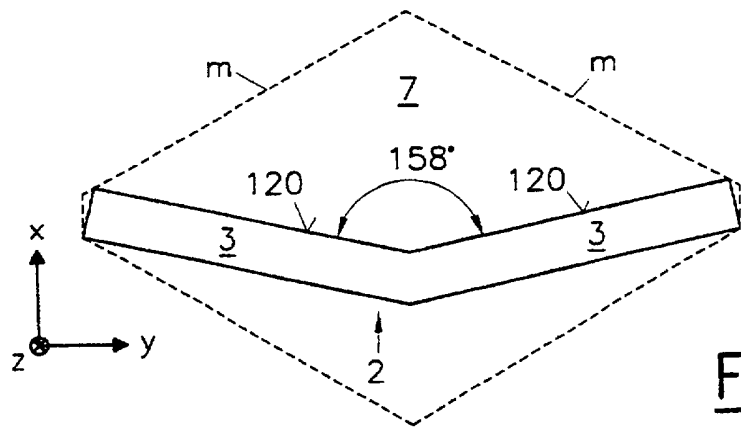


Fig.8

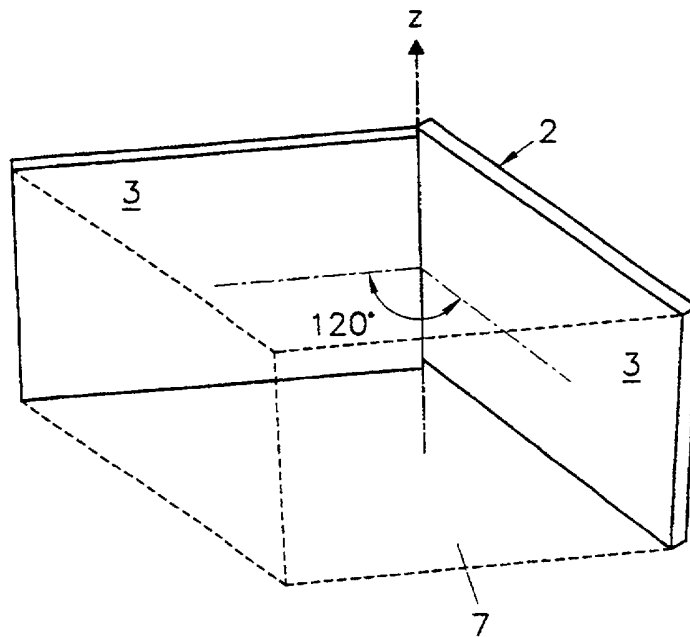


Fig.9