



19 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 100 51 885 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
C 30 B 13/30

21 Aktenzeichen: 100 51 885.0
22 Anmeldetag: 19. 10. 2000
43 Offenlegungstag: 2. 5. 2002

DE 100 51 885 A 1

71 Anmelder:
Wacker Siltronic Gesellschaft für
Halbleitermaterialien AG, 84489 Burghausen, DE
74 Vertreter:
Rimböck, K., Dr., 81737 München

72 Erfinder:
Ammon, Wilfried von, Dr., Hochburg, AT; Virbulis,
Janis, Dr., 84489 Burghausen, DE; Muiznieks,
Andris, Dr., Riga, LV; Raming, Georg, 30451
Hannover, DE

56 Entgegenhaltungen:
DD 2 63 310 A
C.W. Lan et al.:Modulating dopant segregation in
float-zone silicon growth in magnetic fields
using rotation. In: Journal of Crystal Growth 180,
1997, S. 381-387;
Sendenkov, A.S. et al.:Automatic polaron Facility
for space experiments as the russian. Poton sate-
llite. In: Eur. Space Agency SP-454 (Vol. 2) Jan.
2000, S. 1030-1037;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- 54 Verfahren zum Ziehen eines Einkristalls durch Zonenziehen
- 57 Verfahren zum Ziehen eines Einkristalls durch Zonenziehen, bei dem eine mit einer Induktionsspule erzeugte Schmelze mindestens einem rotierenden Magnetfeld ausgesetzt und zum Erstarren gebracht wird, und der beim Erstarren der Schmelze entstehende Einkristall gedreht wird, wobei die Drehrichtungen des Einkristalls und des Magnetfelds gegensinnig sind.

DE 100 51 885 A 1

[0001] Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Ziehen eines Einkristalls durch Zonenziehen, bei dem eine mit einer Induktionsspule erzeugte Schmelze mindestens einem rotierenden Magnetfeld ausgesetzt und zum Erstarren gebracht wird, und der beim Erstarren der Schmelze entstehende Einkristall gedreht wird.

[0002] Die Anwendung eines rotierenden Magnetfeldes beim Zonenziehen ist beispielsweise in der DD-263 310 A1 beschrieben. Allerdings zielt das in dieser Druckschrift vorgeschlagene Verfahren auf die Vereinheitlichung der Diffusionsrandschichtdicke ab, während die vorliegende Erfindung die Aufgabe löst, eine möglichst homogene Verteilung von Dotierstoffen in der Schmelze und im Einkristall zu erreichen.

[0003] Bisher wurde versucht, die Homogenisierung der Dotierstoffverteilung durch Variation der Kristalldrehung, durch Verschiebung der Induktionsspule relativ zur Kristallachse und durch Änderung der Form der Induktionsspule zu erzielen. Nachteilig an diesen Maßnahmen ist, daß sie oft zur Erhöhung der Versetzungsrate und zur Verringerung der Prozeßstabilität führen.

[0004] Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Ziehen eines Einkristalls durch Zonenziehen, bei dem eine mit einer Induktionsspule erzeugte Schmelze mindestens einem rotierenden Magnetfeld ausgesetzt und zum Erstarren gebracht wird, und der beim Erstarren der Schmelze entstehende Einkristall gedreht wird, das dadurch gekennzeichnet ist, daß der Einkristall und das Magnetfeld mit gegensinniger Drehrichtung gedreht werden.

[0005] Die Beschreibung der Erfindung umfaßt auch Figuren. Figur. 1 zeigt eine Anordnung, die zur Durchführung des Verfahrens geeignet ist. Die Fig. 2 bis 5 geben die in Simulationsrechnungen berechneten Strömungsverhältnisse in der Schmelze wieder, wobei jeweils nur eine von zwei symmetrischen Hälften eines Schnitts durch die Schmelze dargestellt ist. Die Fig. 6 bis 8 machen die Wirkung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf die radiale Widerstandsverteilung und damit auf die Verteilung von Dotierstoffen deutlich.

[0006] Die in Fig. 1 dargestellte Anordnung umfaßt einen Einkristall 4, der über eine Schmelze 3 mit einem polykristallinen Vorratsstab 1 verbunden ist. Die Schmelze wird von einer Induktionsspule 2 erzeugt. Beim Absenken des Einkristalls erstarrt ein Teil der Schmelze, wobei das Volumen des Einkristalls zunimmt. Gleichzeitig bewirkt die Induktionsspule, daß Material des Vorratsstabs geschmolzen wird und auf diese Weise das Volumen der Schmelze vergrößert. Erfindungsgemäß ist mindestens ein mehrpoliger Magnet 5 vorzusehen, beispielsweise ein Drehstromelektromotor mit mehrpoligem Stator, der ein gegensinnig zur Drehrichtung des Einkristalls rotierendes Magnetfeld erzeugt. In der Figur sind die Feldlinien 6 des Magnetfelds durch Pfeile dargestellt.

[0007] Die Dotierstoffverteilung im Einkristall wird durch die Strömungsverhältnisse in der Schmelze und durch Randschicht-Diffusion beeinflusst. Die Strömung in der Schmelze, die durch die thermischen, Marangoni- und elektromagnetischen Kräfte erzeugt wird, hat insbesondere bei Einkristallen mit großen Durchmessern eine typische Zwei-Wirbelstruktur, die in Fig. 2 dargestellt ist. Im zentralen Wirbel 10, der Kontakt mit einem polykristallinen Vorratsstab hat, ist die Dotierstoffkonzentration kleiner als in einem äußeren Wirbel 20. Solange diese Konzentrationsunterschiede in den beiden Wirbeln vorhanden sind, bleibt eine Vergleichmäßigung der Diffusionsrandschichtdicke bezüglich einer radialen Dotierstoffhomogenisierung wirkungs-

los.

[0008] Die Erfinder fanden heraus, daß es mit dem beanspruchten Verfahren gelingt, die typische Zwei-Wirbelstruktur der Schmelze mit einer im Zentrum der Schmelze nach unten gerichteten Strömung zu verändern und daß sich dadurch die radiale Homogenität der Dotierstoffverteilung deutlich verbessern läßt.

[0009] Die Zwei-Wirbelstruktur wird mit Hilfe einer erzwungenen Konvektion geändert. Am besten geeignet ist eine Volumenkraft, die im gesamten Schmelzvolumen wirkt. Darüber hinaus ist anzustreben, daß die Strömung im Zentrum der Schmelze nach oben (zum Vorratsstab) gerichtet ist, weil andernfalls die Schmelze direkt vom Vorratsstab nach unten (zum Einkristall) getragen wird. Erfindungsgemäß gelingt dies durch Anwendung von mindestens einem rotierenden Magnetfeld, das im Unterschied zum Verfahren, das in der DD-263 310 A1 beschrieben ist, gegensinnig zur Drehrichtung des Einkristalls rotieren muß. Falls der Einkristall einer Wechselrotation (periodischer Wechsel der Drehrichtung) unterliegt, was erfindungsgemäß auch möglich ist, ist die zeitlich gemittelte Kristallrotation zur Definition der Kristalldrehrichtung maßgebend. Ohne das gegenläufige Drehen von Magnetfeld und Einkristall verläuft die Strömungsrichtung im Schmelzenzentrum nach unten. Die dotierstoffarme Schmelze wird direkt zum Zentrum des Einkristalls geführt und damit die Homogenität des radialen Dotierstoffeinbaus deutlich verschlechtert. Darüber hinaus wird die ohnehin bestehende Versetzungsgefahr durch un-aufgeschmolzene Teilchen, die vom Vorratsstab direkt zum Einkristall gelangen, weiter erhöht.

[0010] Das gegensinnig zur Einkristall-Drehung rotierende Magnetfeld bewirkt in der Schmelze eine Volumenkraft in azimuthaler Richtung. Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird diese Volumenkraft genutzt, um in der Schmelze durch erzwungene Konvektion einen einzigen Wirbel zu erzeugen, mit einer Strömung, die im Zentrum der Schmelze nach oben verläuft. Diese zum Vorratsstab gerichtete Strömung im Zentrum der Schmelze bewirkt, daß vom Vorratsstab kommende, nicht-aufgeschmolzene Partikel und dotierstoffarme Schmelzenbereiche nicht direkt zum Einkristall transportiert, sondern zuvor in die Schmelze gut eingemischt werden. Die Partikel gewinnen dadurch ausreichend Zeit, um vollständig aufzuschmelzen. Um die bevorzugte Änderung von der Zwei-Wirbelstruktur in die Ein-Wirbelstruktur zu erreichen, muß die Feldstärke des Magnetfelds an die vorhandenen Prozeßbedingungen angepaßt werden. Die optimale Feldstärke ist von anderen Prozeßparametern abhängig, wie der Frequenz des Magnetfelds, dem Durchmesser und der Drehgeschwindigkeit des Einkristalls, der Ziehgeschwindigkeit und der Form der verwendeten Induktionsspule. Sie ist deshalb durch Testversuche zu ermitteln. Versuche der Erfinder haben ergeben, daß das Verfahren vorzugsweise zum Ziehen von Einkristallen aus Silicium eingesetzt wird, die einen Durchmesser von mindestens 3" (76,2 mm) haben, wobei der Einkristall vorzugsweise mit Feldstärken von 0.1 bis 20 mT, besonders bevorzugt von 1 bis 5 mT gezogen wird. Die Frequenz des rotierenden Magnetfelds liegt vorzugsweise bei 10 bis 1000 Hz, besonders bevorzugt bei 50 bis 500 Hz.

[0011] Durch eine gleichzeitige Anwendung von zwei rotierenden Magnetfeldern mit unterschiedlichen Frequenzen und zeitlich veränderlichen Amplituden kann man die Durchmischung der Schmelze und die radiale Homogenisierung von Dotierstoffen noch weiter verbessern, und zwar unabhängig vom Vorliegen einer Ein-Wirbelstruktur oder einer Zwei-Wirbelstruktur in der Schmelze. Felder mit verschiedenen Frequenzen haben unterschiedliche Eindringtie-

fen in der Schmelze und wirken demzufolge auf unterschiedliche Schmelzgebiete.

[0012] Wenn nur ein Wirbel in der Schmelze existiert, der durch die Anwendung eines rotierenden Magnetfelds gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erzeugt worden ist, kann durch die Anpassung der Feldstärke und/oder der Frequenz eines der beiden Magnetfelder auf die Strömungsverhältnisse in der Wirbelstruktur weiter Einfluß genommen und die Dotierstoffverteilung noch genauer eingestellt werden.

[0013] Wenn eine Zwei-Wirbelstruktur in der Schmelze vorliegt, können die zwei rotierenden Felder mit unterschiedlichen Frequenzen und/oder unterschiedlichen Amplituden an der Schmelze angelegt werden, derart, daß der innere Teil der Schmelze gegensinnig zum äußeren Teil der Schmelze rotiert. Durch zeitliche Variation der Amplituden und/oder der Frequenzen läßt sich der Umkehrpunkt des Geschwindigkeitsfeldes zeitlich verändern und somit die Durchmischung der Schmelze radial steuern. Dadurch werden Unterschiede in der Dotierstoffkonzentration zwischen beiden Wirbel ausgeglichen.

Beispiele

[0014] Um den Einfluß des rotierenden Magnetfelds auf die Strömung und die Dotierstoffverteilung in der Schmelze zu demonstrieren, wurden Simulationsrechnungen durchgeführt. Zuerst wurde die Form der Schmelzzone berechnet. Anschließend wurde die Strömung in der Schmelze und die Dotierstoffverteilung an der Erstarrungsfront zeitabhängig berechnet. Bei der Simulation wurde die Finite-Elemente-Methode angewendet. Den Berechnungen lagen als Randbedingungen ein Kristalldurchmesser von 4" (101,6 mm), eine Kristallrotation von 5 U/min und eine Frequenz des rotierenden Magnetfeldes von 50 Hz zugrunde. Die Rotationsrichtung des Magnetfeldes war gegensinnig zur Kristallrotation gerichtet angenommen. Ergebnisse der Rechnungen sind in den Fig. 2 bis 8 dargestellt. In den Fig. 2 bis 5 ist die Stromfunktion der Strömung in einer meridionalen (r, z) Ebene dargestellt. Die Linien der Stromfunktion sind parallel zur Strömungsrichtung und zwischen zwei Linien fließt der gleiche Massenstrom durch. Die Pfeile zeigen die Richtung der Strömung an. In Fig. 2 ist die Strömung ohne rotierendes Magnetfeld gezeigt. Man erkennt eine Zwei-Wirbelstruktur mit einem zentralen Wirbel 10 und einem äußeren Wirbel 20. In Fig. 3 beträgt die Induktion des Magnetfelds 1 mT und der Einfluß auf die Strömung ist gering. In Abb. 4 beträgt die Induktion 2 mT und der äußere, zum Zentrum der Schmelze gerichtete Wirbel ist größer geworden. In Abb. 5 beträgt die Induktion 3,5 mT und eine Ein-Wirbelstruktur ist entstanden.

[0015] Die Fig. 6 bis 8 zeigen dimensionslose (normierte) Widerstandsverteilungen an der Erstarrungsfront zu unterschiedlichen Zeitmomenten. Der Widerstand ist umgekehrt proportional zur Dotierstoffkonzentration. In Fig. 6 beträgt die Induktion des Magnetfelds 0 mT, in Fig. 7 ist der Wert der Induktion 1 mT und in Fig. 8 sind es 3 mT. Die Fig. 6 bis 8 belegen, daß die radiale Widerstandsverteilung mit zunehmender Feldstärke des rotierenden Magnetfelds homogener wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ziehen eines Einkristalls durch Zonenziehen, bei dem eine mit einer Induktionsspule erzeugte Schmelze mindestens einem rotierenden Magnetfeld ausgesetzt und zum Erstarren gebracht wird, und der beim Erstarren der Schmelze entstehende Ein-

kristall gedreht wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Einkristall und das Magnetfeld mit gegensinniger Drehrichtung gedreht werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Einkristall mit einem Durchmesser von mindestens 3" (76,2 mm) gezogen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Feldstärke des Magnetfelds im Bereich von 0,1 bis 20 mT liegt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz des Magnetfelds im Bereich von 10 bis 1000 Hz liegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Schmelze einem weiteren, rotierenden Magnetfeld ausgesetzt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetfelder derart an die Schmelze angelegt werden, daß ein inneres Gebiet der Schmelze gegensinnig zu einem äußeren Gebiet der Schmelze rotiert, wobei eine Vermischungszone zwischen dem äußeren Bereich und dem inneren Bereich entsteht.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Vermischungszone durch Variation von Amplituden und/oder Frequenzen der Magnetfelder radial verschoben wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die radiale Position der Vermischungszone zeitlich variiert wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

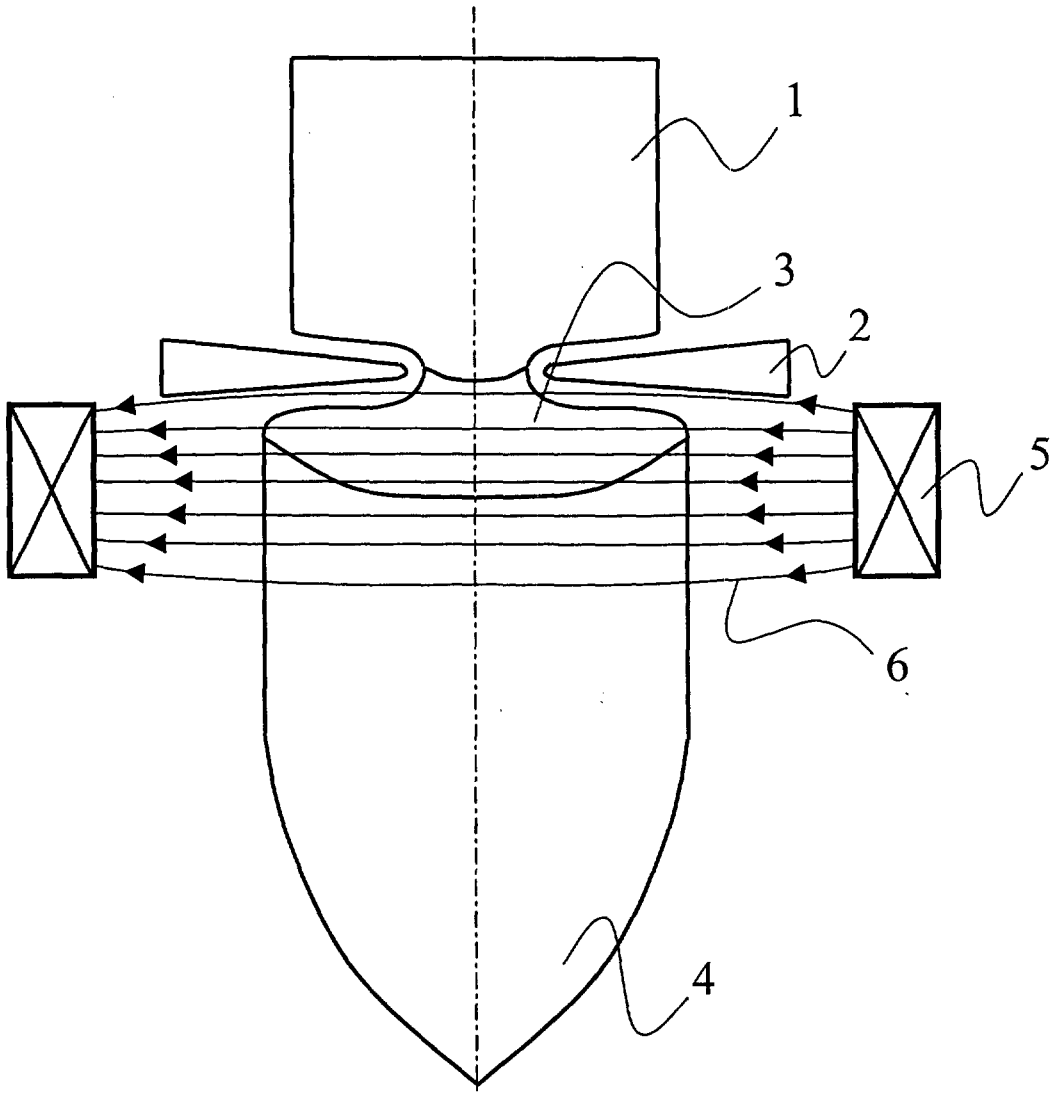


Fig. 1

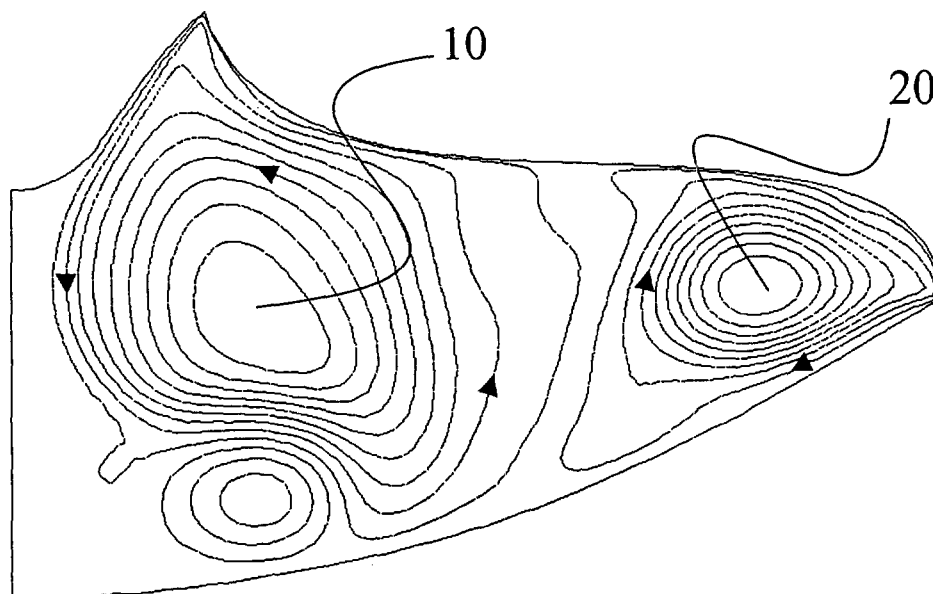


Fig. 2

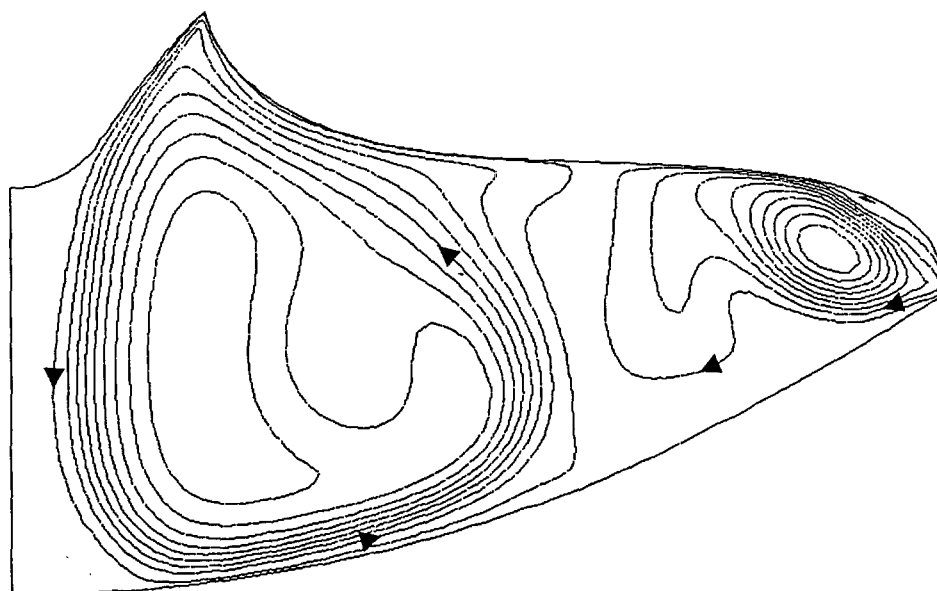


Fig. 3

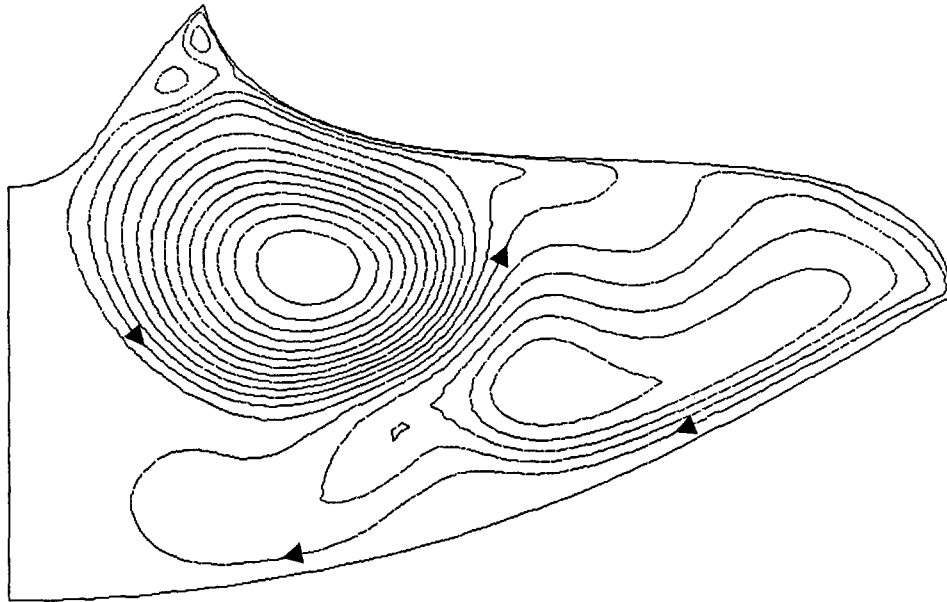


Fig. 4

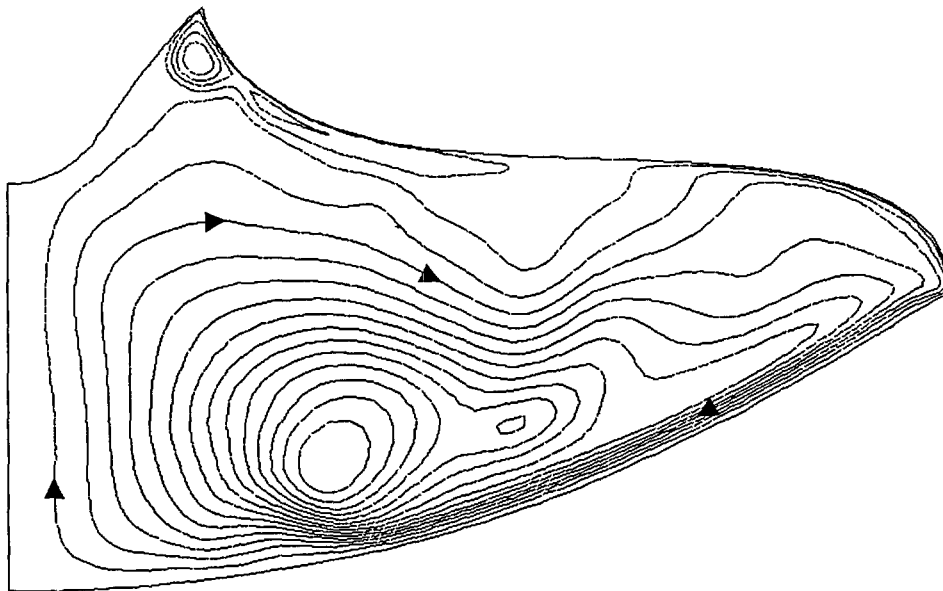


Fig. 5

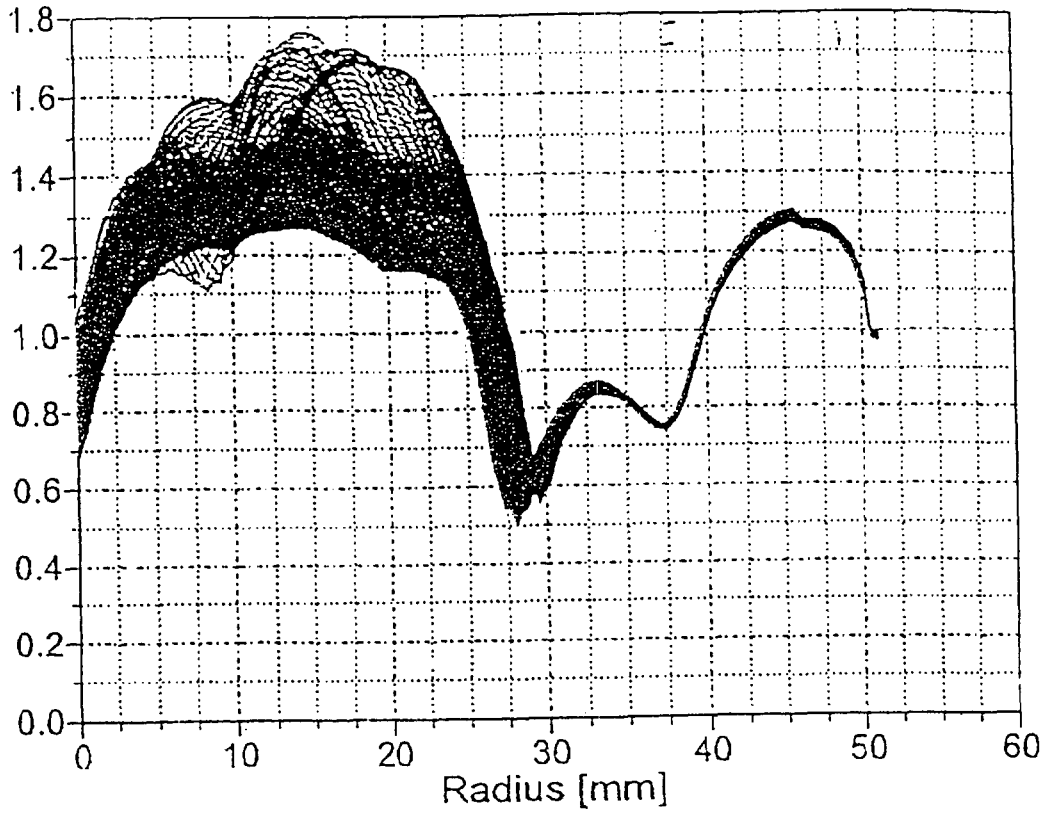


Fig. 6

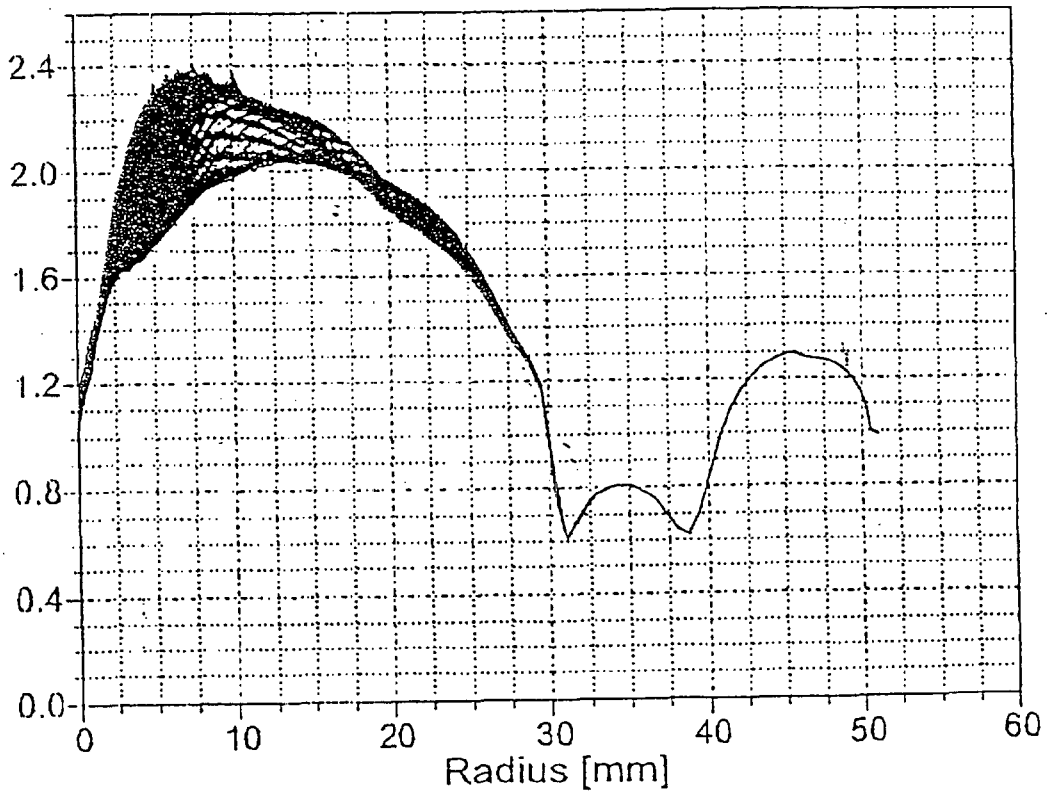


Fig. 7

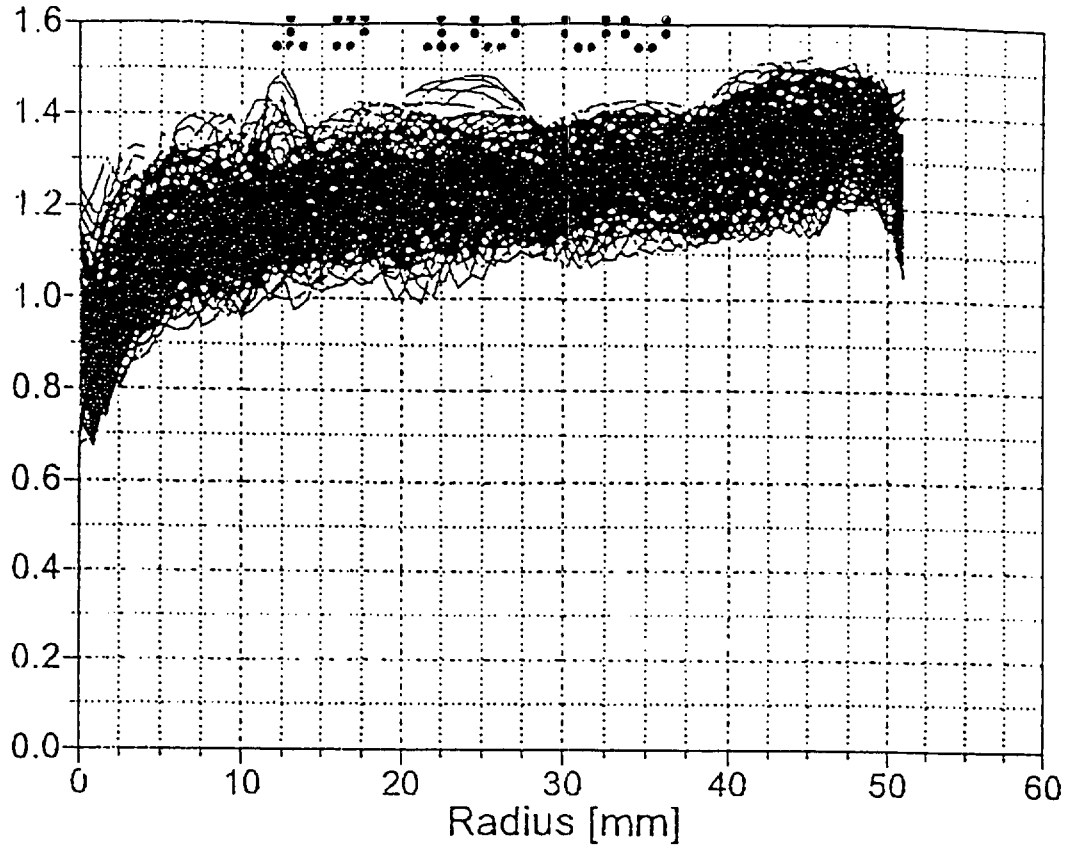


Fig. 8