



19



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 688 165 A5

51 Int. Cl.⁶: G 02 B 006/12

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 02255/93

22 Anmeldungsdatum: 26.07.1993

24 Patent erteilt: 30.05.1997

45 Patentschrift
veröffentlicht: 30.05.1997

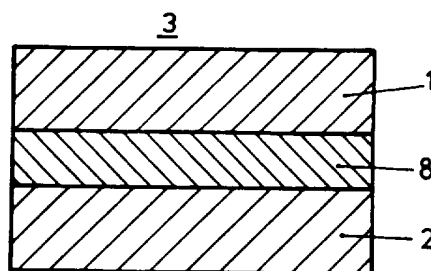
73 Inhaber:
Balzers Aktiengesellschaft, 9496 Balzers (LI)

72 Erfinder:
Edlinger, Johannes, Dr., Feldkirch (AT)
Rudigier, Helmut, Dr., Bad Ragaz (CH)

74 Vertreter:
Troesch Scheidegger Werner AG,
Siewerdstrasse 95, Postfach, 8050 Zürich (CH)

54 Verfahren zur Herstellung eines optischen Wellenleiters und darnach hergestellter optischer Wellenleiter.

57 Es wird ein Wellenleiter vorgeschlagen, der auf einem Substrat (2) aus einem Polymer aufgebaut ist. Hierzu wird zwischen Substrat (2) und Wellenleiterschicht (1) eine Zwischenschicht (8) vorgesehen aus einem anorganischen Material, welche verhindert, dass ein namhafter Energieanteil in das relativ hochabsorbierende Polymermaterial eindringt. Dadurch werden die Wellenleiterverluste minimiert.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 und einen optischen Wellenleiter nach demjenigen von Anspruch 6.

Für viele Anwendungen, z.B. Sensoren, integrierte Optiken etc., ist es erwünscht, planare Wellenleiter zur Verfügung zu haben. Wie in Fig. 1a dargestellt, umfasst ein solcher Wellenleiter in der einfachsten Form eine Wellenleiterschicht 1 mit Brechwert n_f auf einem Substrat 2 mit Brechwert n_s und ein Umgebungsmedium 3, dem sogenannten Deckmedium oder Cover, mit Brechwert n_c . Das Umgebungsmedium kann wiederum durch eine Schicht oder ein Schichtsystem gebildet sein, wie in Fig. 1b dargestellt. Es gilt $n_c < n_f$ und $n_s < n_f$.

Für viele Anwendungen muss mindestens eine dieser Schichten strukturiert werden. Um Licht überhaupt in den Wellenleiter einzukoppeln, besteht die wohl eleganteste Methode darin, gemäss Fig. 2a, den Wellenleiter mit einer Struktur 4 – Gitter – zu versehen und das Licht 5, z.B. eines Laserstrahles, über Beugung in die Wellenleiterschicht 1 einzukoppeln. Darin pflanzt sich, wenn Einkoppelwinkel, Gitterperiode und Wellenleiter-Schichtdicke entsprechend gewählt sind, das Licht 6 fort, mit einem bestimmten Fortpflanzungsmodus, und verlässt z.B. auf einer Stirnseite 7 den Wellenleiter.

Es spielt keine Rolle, ob das Gitter 4 an der Substratoberfläche oder in bzw. an der Wellenleiterschicht vorgesehen ist.

Im weiteren ist es oft erwünscht, den Wellenleiter als Ganzes räumlich zu strukturieren. In Fig. 1b ist ein Wellenleiter ohne räumliche Strukturierung dargestellt, in Fig. 3 und 4 sind strukturierte Streifenwellenleiter und in Fig. 5 ein vergrabener Streifenwellenleiter dargestellt. Die Fig. 6 und 7 zeigen rein beispielhaft komplexere räumliche Strukturierungen eines Wellenleiters in Aufsicht und geschnitten. Derartige strukturierte Wellenleiter werden beispielsweise in der Kommunikationstechnik oder der Sensorik verbreitet eingesetzt.

Da üblicherweise derartige Wellenleiter auf einem Glassubstrat aufgebaut sind, werden, als Strukturierungstechniken, photolithographische Methoden und nachfolgende Ätzmethode, ion milling, reaktives Ionenätzen, nasschemisches Ätzen etc. eingesetzt.

Derartige Strukturierungstechniken sind zeitaufwendig und teuer.

Zudem sind Wellenleiter auf Glassubstrat nur schwer formbar und bezüglich mechanischer Beanspruchungen, wie Schlagbeanspruchungen, empfindlich.

Die Wechselwirkung Substrat/Wellenleiterschicht/Umgebung, insbesondere aber Substrat/Wellenleiterschicht, welche hier relevant ist, bestimmt wesentlich die Wellenleitereigenschaft.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Wellenleiters vorzuschlagen, bei welchem

a) Strukturierung wesentlich einfacher und damit billiger ist und ermöglicht, optische Wellenleiter herzustellen, die gegebenenfalls

b) in Grenzen verformbar sind und/oder

c) weniger empfindlich auf mechanische Beanspruchungen sind und/oder

d) das ermöglicht ein Substrat flexibel mit unterschiedlichen Wellenleiterschichten und -materialien zu versehen.

Dies wird mit dem Verfahren eingangs genannter Art, durchgeführt nach dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 1, erreicht.

Insbesondere bei Verwendung eines Polymers, wie beispielsweise, und heute bevorzugt, eines Polymers, als Wellenleitersubstrat wird es sehr viel billiger, den Wellenleiter insbesondere als Ganzes, sei dies durch Prägen, Tiefziehen, Spritzgiessen und anderes, zu strukturieren und nachfolgend insbesondere die Beschichtung mit einem wellenleitenden Material vorzusehen. Dabei zeigt sich, dass das Aufbringen eines wellenleitenden Materials auf ein Substrat aus organischem Material, insbesondere aus einem Polymer, keineswegs trivial ist. Insbesondere wird beobachtet, dass die Verluste eines so gefertigten Wellenleiters, d.h. Wellenleiterschicht direkt auf dem Substrat, definiert als Intensitätsabfall bei einem gegebenen Mode und gegebener Wellenlänge über eine bestimmte Distanz, wesentlich höher sind, mindestens um einen Faktor 10, als wenn als Substratmaterial ein anorganisches Material, wie beispielsweise Glas, eingesetzt wird.

Unseres Wissens ist die angeschnittene Problematik im wesentlichen Neuland. Zwar gibt es Hinweise in der Literatur, beispielsweise in «Design of integrated optical couplers and interferometers suitable for low-cost mass production», R. E. Kunz und J. S. Gu, ECIO '93-Konferenz in Neuchâtel, dass integrierte Optiken aus strukturiertem Kunststoff billig gemacht werden könnten, jedoch vermögen solche Aussagen lediglich ein bestehendes Bedürfnis zu dokumentieren.

Selbstverständlich gehören aber zum Stande der Technik einerseits alle Strukturierungsverfahren für organische Materialien, insbesondere Polymere, andererseits Beschichtungsverfahren, wie CVD, PECVD, darunter Aufdampfen, Sputtern, ion plating etc. Dabei gehört auch das Beschichten von Kunststoffteilen, z.B. Brillengläser, Reflektoren etc., mit unterschiedlichsten Materialien zum Stande der Technik, z.B. auch durch Plasmopolymerisation.

Im weiteren sei auf die Theorie planarer Wellenleiter in «Integrated Optics: Theory and Technology», R. G. Hunsperger, Springer Series in Optical Sciences, Springer-Verlag 1984, hingewiesen.

Die Erfindung unter ihren verschiedenen Aspekten, mit bevorzugten Ausführungsbeispielen auch Gegenstand der weiteren Ansprüche, wird anschliessend anhand von Beispielen und Figuren erläutert.

Die bereits teilweise erläuterten Figuren zeigen dabei:

- Fig. 1a einen Querschnitt durch einen Wellenleiter herkömmlicher Bauart;
- Fig. 1b einen Wellenleiter in Darstellung gemäss Fig. 1a mit Cover-Schicht;
- Fig. 2 schematisch einen perspektivischen Ausschnitt eines Wellenleiters zur Erläuterung einer vorgesehenen Strukturierung in Wellenleiterschicht oder Substrat zur Lichteinkopplung;
- Fig. 3 und 4 je räumlich strukturiert, Wellenleiter in schematischer perspektivischer Ansicht;
- Fig. 5 in Darstellung gemäss den Fig. 3 oder 4, eine Strukturierung mit «vergrabenem» Wellenleiter;
- Fig. 6 und 7 je in Aufsicht und geschnitten, komplexer strukturierte Wellenleiter;
- Fig. 8 schematisch an einem asymmetrischen Wellenleiter beispielsweise auftretende Schwingungsmodes bzw. Energieverteilungen gemäss «Integrated Optics: Theory and Technology», Robert G. Hunsperger, Second Edition, Springer-Verlag 1984, S. 36;
- Fig. 9 in Querschnittsdarstellung einen erfindungsgemässen Wellenleiter;
- Fig. 10 eine schematische Darstellung einer Wellenleiterstruktur zur Definition seiner Absorption bzw. Dämpfung;
- Fig. 11a bis 11f über der Dickendimension aufgetragen, verschiedene mögliche Brechwertverläufe an erfindungsgemässen Wellenleitern;
- Fig. 12 über der Dickendimension einer erfindungsgemäss vorgesehenen Siliziumdioxid-Zwischenschicht, die relativen Verluste in dB am resultierenden erfindungsgemässen Wellenleiter und bei Schichtdicke 0 dessen Verluste ohne erfindungsgemäss vorgesehene Zwischenschicht.

In Fig. 8 ist zur Erläuterung der Erkenntnis, die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegt, die Modeverteilung an einem asymmetrischen Wellenleiter eingetragen, bestehend aus der Wellenleiterschicht 1, Substrat 2 und Cover 3. Daraus ist die Feldverteilung der beiden eingetragenen Modes ersichtlich. Man erkennt, dass sich das Feld bzw. die Lichtenergie nicht nur in der Wellenleiterschicht 1, sondern auch in den benachbarten Medien ausbreitet, nämlich in Cover und im Substrat. Der prozentuale Anteil der Energie, welcher ausserhalb der Wellenleiterschicht 1 anfällt, hängt u.a. von der Dicke der Wellenleiterschicht 1 ab, weiter von den Brechungswerten n_c , n_f , n_s , der Modenart (TE, TM) und der Modennummer ab. Bei dünnen Wellenleiterschichten ist der prozentual im Substrat anfallende Energieanteil grösser als bei dickeren Schichten. Dünne Schichten sind aber insbesondere für bestimmte Anwendungen in der Sensorik von überragendem Interesse.

In Fig. 10 sind beispielsweise aufeinanderliegende Schichten bzw. Phasen A bis D dargestellt. Die Verluste A (dV) in einem als Scheibe in Fig. 10 eingetragenen Volumenelement dV ist definiert als Volumenintegral der lokalen Lichtintensität $I(\vec{r})$ und eines allgemeinen Verlustkoeffizienten $\alpha(\vec{r})$ welcher u.a. die lokale Absorption und Streuung berücksichtigt.

Es ergibt sich mithin für die Verluste:

$$A(dV) = \int_{dV} I(\vec{r}) \alpha(\vec{r}) d\vec{r}$$

wobei $\vec{r}$ den Ortsvektor bezeichnet.

Daraus ist ersichtlich, rückblickend auf Fig. 8, dass die Gesamtverluste eines Wellenleiters gemäss Fig. 8 desto grösser werden, je grösser insbesondere die Verlustgrösse α im Substrat, insbesondere aber an der Grenzfläche Substrat/Wellenleiter, ist und je grösser der prozentuale Energieanteil ist, welcher insbesondere aber an der Grenzfläche Substrat/Wellenleiter verläuft.

Während Wellenleiterschichten auf Glas, z.B. auf Corning 7059, gesamthaft sehr niedrige Verluste bzw. eine geringe Absorption aufweisen, sind die Verluste derselben Wellenleiterschichten auf organischem Material als Substratmaterial, wie insbesondere auf Polymersubstraten, z.B. auf Polykarbonatsubstraten, mindestens um einen Faktor 10 grösser, abhängig von der Dicke der Wellenleiterschicht 1 und mithin des prozentualen Anteils Energie, der im Substratmaterial, insbesondere aber an der Grenzfläche Substrat/Wellenleiter, verläuft.

Dabei ist die vorab angesprochene Erhöhung der Verluste nicht nur eine Folge der jeweils spezifisch angewandten Beschichtungsverfahren, sondern auch eine Folge der gemäss Fig. 8 erläuterten Wechselwirkung von Substratmaterial und Wellenleiterschichten.

In Fig. 9 ist der Aufbau eines erfindungsgemässen Wellenleiters dargestellt. Er umfasst ein Substrat 2 aus organischem Material, insbesondere aus einem Polymer, wie beispielsweise Polykarbonat. Die Wellenleiterschicht 1 ist vom Substrat 2 durch mindestens eine Zwischenschicht 8 getrennt.

Erfindungsgemäss wird mit der Zwischenschicht 8, gegebenenfalls einem Zwischenschichtsystem 8,

erreicht, dass Lichtintensität I im Wellenleiter dort klein ist, wo der allgemeine Verlustkoeffizient α gross ist, womit die Verluste minimalisiert werden. Dies wird durch entsprechende Auslegung des Brechwertprofils am Wellenleiter normal zu dessen Oberfläche erreicht.

5 Materialien

1. Materialien für die Wellenleiterschicht 1:

Insbesondere für den Wellenlängenbereich 400 nm bis 1000 nm werden bevorzugt eingesetzt:
 10 TiO_2 , Ta_2O_5 , ZrO_2 , Al_2O_3 , $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$, HfO_2 , Y_2O_3 , Nb_2O_5 , Siliziumnitrid, Oxinitrid, wie SiO_xNy , HfO_xNy , AlO_xNy , TiO_xNy , TaO_xNy sowie MgF_2 , CaF_2 .
 Für Wellenlängen > 1000 nm kommen bevorzugterweise auch Silizium, SiO_x , Ge, GaAs, GaAlAs in Frage.

15 2. Substrat:

Organische Materialien, dabei insbesondere Polymere, wie Polykarbonat, PVC, Polymethylmetacrylat (PMMA), PET.

20 3. Material der mindestens einen, vorzugsweise der einen Zwischenschicht 8:

Anorganische dielektrische Materialien, insbesondere Oxyde, Nitride, Karbide und deren Mischformen, wie insbesondere SiO_2 , Si_3N_4 , allgemeiner SiO_xNy , und Mischmaterialien, insbesondere mit SiO_2 -Anteil, Si_3N_4 -Anteil oder, genereller, SiO_xNy -Anteil.

25 4. Cover:

Alle bekannten Techniken mit freiliegender Wellenleiterschicht oder mit Cover-Schicht beschichteter Wellenleiterschicht.

30 Verarbeitungstechniken:

1. Aufbringen der Wellenleiterschicht

Hierzu werden vorzugsweise Vakuumbeschichtungsverfahren eingesetzt, insbesondere reaktive PVD-Verfahren, insbesondere reaktives Aufdampfen, Sputterbeschichten, Ionenplattieren. Die eingesetzten Plasmen werden DC- oder AC-gespiesen, darunter fallen niederfrequente HF- und Mikrowellenplasmen und DC+AC-Mischformen.

Unter Berücksichtigung, dass die mindestens eine Wellenleiterschicht 1 auf das erfindungsgemäss eingesetzte Substratmaterial aufzubringen ist, werden bevorzugterweise Beschichtungsverfahren eingesetzt, bei denen die Substrattemperatur geringer ist als die Erweichungstemperatur des verwendeten Substratmaterials, insbesondere $< 100^\circ\text{C}$ ist, bevorzugterweise $< 60^\circ\text{C}$ ist.

2. Aufbringen der mindestens einen Zwischenschicht:

Es werden dieselben Verfahren wie zum Aufbringen der Wellenleiterschicht eingesetzt, mit denselben Einschränkungen betreffs Substrattemperaturführung. Zusätzlich kann Plasmapolymersation eingesetzt werden, wenn beispielsweise ein Silizium enthaltendes Monomer für die Schichtabscheidung verwendet wird.

50 3. Substrat:

Das Substrat aus organischem Material, weitaus bevorzugterweise aus einem Polymer, wird mittels eines für die Kunststoffverarbeitung bekannten Verfahrens geformt. Dazu zählen insbesondere Prägen, Tiefziehen, Spritzgiessen, Blasrecken (für PET-Kunststoff).

55 Nebst der optischen Funktion, nämlich in Substratmaterial oder Grenzfläche Substrat/Schicht mit hoher Absorption optimal geringe Lichtintensität zu realisieren, wirkt die erfindungsgemäss eingesetzte Zwischenschicht oder eine Schicht des erfindungsgemäss eingesetzten Zwischenschichtsystems als Haftvermittlungsschicht zwischen Substrat einerseits und darüberliegenden Schichten. Es ist durchaus möglich, der Wellenleiterschicht zugewandt, eine erste Zwischenschicht vorzusehen, welche vornehmlich die angestrebte optische Isolationswirkung realisiert, und das Haftungsproblem mittels einer weiteren Zwischenschicht, am Substrat anliegend, zu lösen.

Die Verluste an einem erfindungsgemässen Wellenleiter sind in derselben Grössenordnung wie die Verluste an herkömmlichen Wellenleitern aus Glassubstrat, sind insbesondere kleiner als 100 dB/cm, bevorzugterweise kleiner als 50 dB/cm, insbesondere gar kleiner als 10 dB/cm.

65 Im weiteren ist von ausserordentlicher Wichtigkeit, dass durch erfindungsgemässes Vorsehen der

Zwischenschicht 8 gemäss Fig. 9 die Eigenschaften der Wellenleiterschicht 1 von denjenigen des Substrates 2 entkoppelt werden. Damit wird die Möglichkeit geschaffen und erfindungsgemäss genutzt, an einem Substrat gegebenen Materials je nach Einsatzzweck (Wellenlänge, Mode) unterschiedliche Wellenleiterschicht-Materialien einzusetzen, ohne dass die entsprechend ändernden Wechselwirkungen zwischen Wellenleiterschicht-Material und Substratmaterial in wesentlichem Masse zu berücksichtigen wären.

Dies erlaubt auch, als Substratmaterial insbesondere Polymermaterialien auszuwählen, die anderen als optischen Kriterien genügen sollen.

Wie erkenntlich wurde, können die insbesondere in den Fig. 2, 3, 4 bis 7 beispielhaft dargestellten Strukturierungen mit dem erfindungsgemäss vorgesehenen Substratmaterial einfach vorgenommen werden, die Aufrechterhaltung der von der Verwendung von Glassubstrat her bekannten guten optischen Eigenschaften wird durch erfindungsgemässes Vorsehen der Zwischenschicht sichergestellt.

In den Fig. 11a bis 11f sind über der Dickenausdehnung z des erfindungsgemässen Wellenleiters bevorzugte Brechwertprofile dargestellt. Dabei bedeutet die Indizierung «ZS»: «Zwischenschicht», die Indizierung «S»: «Substrat» und die Indizierung «F»: «Wellenleiterschicht».

Bezüglich der Festlegung des Brechwertes bzw. des Brechwertverlaufes über die erfindungsgemäss vorgesehene Zwischenschicht, entsprechend ihrer Dickenausdehnung dz_s , sind, wie aus diesen Figuren ersichtlich, verschiedene Varianten möglich. In den meisten Fällen wird der Brechwert der Zwischenschicht tiefer gewählt als derjenige n_F der Wellenleiterschicht. Wie aus den Fig. 11b, 11d, 11e und 11f ersichtlich, ist es ohne weiteres möglich, den Verlauf des Brechwertes insbesondere in der Zwischenschicht bzw. dem Zwischenschichtssystem mit einem Gradienten auszubilden. Diese Variante ist dann vorzugsweise zu wählen, wenn die Zwischenschicht mit Plasmapolymerisation aufgebracht wird.

Dabei sind in Fig. 11f zwei Möglichkeiten dargestellt, gemäss welchen der Brechwert der Zwischenschicht, vom Brechwert des Substratmaterials n_s ausgehend, ansteigt oder abfällt. Im weiteren ist dort dargestellt, dass auch im Interface-Bereich zwischen Zwischenschicht und Wellenleiterschicht ein Brechwertgradient realisiert werden kann, z.B. durch eine Diffusionszone. Die Dicke der Zwischenschicht wird bevorzugterweise so dimensioniert, dass nur noch ein vernachlässigbarer Anteil der Lichtenergie I in die verlustreiche Zone Substrat/Wellenleiter-Grenzschicht gelangt.

Bei direktem Aufbringen einer Schicht aus anorganischem Material, nämlich Wellenleiterschicht-Material, auf ein organisches Substratmaterial, insbesondere ein Polymermaterial, kommt es mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Reaktionen zwischen Komponenten des Polymers und jenen der aufgetragenen Wellenleiterschicht. Diese Reaktion führt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Übergangsphase hoher Absorption. Dies, wenn Wellenleiter direkt auf Polymersubstrat aufgebracht würde.

Erfindungsgemäss ergibt sich aber wegen der Ähnlichkeit zwischen dem anorganischen Zwischenschichtmaterial und dem Wellenleiterschicht-Material eine solche Grenzflächenreaktion in viel geringerem Masse, und eine allfällige Grenzflächenreaktion zwischen Zwischenschichtmaterial und Substratmaterial führt nur zu geringen Verlusten, weil mit der Zwischenschicht sichergestellt ist, dass an diese Grenzfläche nur geringe Lichtenergieanteile überhaupt zu Verlusten führen.

Somit wird mit der erfindungsgemäss vorgesehenen Zwischenschicht die angesprochene Grenzflächenreaktion an der Substratoberfläche nicht unterdrückt, sondern es wird zwischen Substrat und Wellenleiterschicht praktisch ein Glaszwischensubstrat simuliert. Ungewollte Oberflächenrauheiten am erfindungsgemäss eingesetzten Substrat werden bis zu einem gewissen Masse durch Vorsehen der erfindungsgemässen Zwischenschicht ausgeglichen, in Abhängigkeit der Beschichtungsparameter.

Unter den nachfolgenden Bedingungen wurde ein Wellenleiter mit dem Brechwertprofil grundsätzlich gemäss Fig. 11c realisiert. Als Substratmaterial wurde Polykarbonat eingesetzt mit einem Brechwert $n_s = 1.538$. Als Zwischenschichtmaterial wurde SiO_2 eingesetzt und als Material der Wellenleiterschicht TiO_2 . Der Wellenleiter wurde nicht abgedeckt, sondern als Deckmedium wirkt Luft.

Prozessparameter für TiO_2 -Wellenleiter auf PC7-Substrat mit SiO_2 -Zwischenschicht:

Beschichtungsverfahren Zwischenschicht:

Sputterbeschichten mit Plasmaerzeugung ab einer DC-Quelle, deren Ausgang getaktet kurzzeitig von der Plasmaentladungsstrecke abgetrennt und letztere kurzzeitig kurzgeschlossen wird.

Target:

	Target:	Ak525; SiS23379
5	Magnetron:	MC-525
	Distanz zwischen Target und Substrat:	70 mm
	DC-Quelle:	10 kW
10	Vakuumkammer:	BAK-760 S
	Argondruck:	pAr = 4E-3 mbar
	eingestellte Entladeleistung:	P = 6 kW
	DC-Spannung im metallischen Mode:	U _{sb} = -695 V
15	DC-Spannung im Übergangsmodus:	U _{sb} = -595 V
	Argonfluss:	qAr = 58.8 sccm
	O ₂ -Fluss:	qO ₂ = 47 sccm
20	SiO ₂ -Schichtdicke:	variierend gemäss Fig. 12
	Sputterrate:	R = 0.28 nm/s

Erstellung der Wellenleiterschicht:

25 Mittels Sputtern, wie für die Erstellung der Zwischenschicht.

	Target:	Ak525; Ti92-421/1
30	Magnetron:	MC-525
	Distanz Target/Zwischenschichtbeschichtetes Substrat:	70 mm
	DC-Quelle:	10 kW
	Vakuumkammer:	BAK-760 S
35	Argondruck:	pAr = 4E-3 mbar
	Plasmaentladeleistung:	P = 6 kW
	DC-Spannung im metallischen Mode:	U _{sb} = -531 V
40	DC-Spannung im Übergangsmodus:	U _{sb} = -534 V
	Argonfluss:	qAr = 57.4 sccm
	Sauerstofffluss:	qO ₂ = 17 sccm
45	Dicke der TiO ₂ -Wellenleiterschicht:	95 nm
	Sputterrate:	R = 0.069 nm/s

Am resultierenden Wellenleiter wurden Verluste von ca. 8 dB/cm im TM-Mode und bei einer Wellenlänge von 633 nm ermittelt, bei einer Dicke d SiO₂ von 20 nm.

50 In Fig. 12 sind über der Dicke d der SiO₂-Zwischenschicht die relativen Verluste in dB abgetragen. Bereits bei einer Zwischenschichtdicke von 5 nm ist eine Verbesserung von ca. einem Faktor 2 zu erreichen. Daraus wird deutlich, dass bei verschwindender Zwischenschicht die Verluste um ca. einen Faktor 4 zunehmen, verglichen mit den Verlusten bei Vorhandensein einer Zwischenschicht von 10 nm. Deshalb wird auch vorgeschlagen, bevorzugterweise die Zwischenschicht erfindungsgemäss mit einer Dicke
55 ≥ 10 nm vorzusehen, dabei, wie ohne weiteres ersichtlich, möglichst dünn, um die Fertigungskosten zu minimalisieren, d.h. bevorzugterweise von ca. 10 nm.

Patentansprüche

- 60 1. Verfahren zur Herstellung eines optischen Wellenleiters, folgende Schritte umfassend:
a) Formen eines Substrates aus organischem Material;
b) Aufbringen mindestens einer Zwischenschicht durch ein Vakuumbeschichtungsverfahren;
c) Aufbringen einer Wellenleiterschicht mittels einem reaktiven PVD-Verfahren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es das Formen, Prägen, Tiefziehen
65 oder Spritzen eines Substrates aus einem Polymer, vorzugsweise aus Polycarbonat, umfasst und/oder

an einem Substrat mit bereits aufgebracht, mindestens einen oder einer weiteren Zwischenschicht, als Haftvermittlungsschicht zum Substrat, vorgenommen wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischenschicht durch ein PECVD-, ein reaktives PVD-Verfahren oder Plasmapolymerisation hergestellt wird und dabei vorzugsweise mindestens eine Zwischenschicht aus anorganischem Material abgelegt wird, vorzugsweise mit SiO_2 oder/und Si_3N_4 .

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Wellenleiterschicht durch Ionenplattieren hergestellt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufbringen der Zwischenschicht und das Aufbringen der Wellenleiterschicht bei Temperaturen des Substrates von höchstens 100°C , vorzugsweise von höchstens 60°C erfolgt.

6. Optischer Wellenleiter, hergestellt nach dem Verfahren gemäss Anspruch 1 mit mindestens einer Wellenleiterschicht auf einem Substrat, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat, mindestens der Wellenleiterschicht zugewandt, aus organischem Material besteht und zwischen Substrat und Wellenleiterschicht mindestens eine Zwischenschicht vorgesehen ist, welche mindestens bei einem gegebenen Ausbreitungsmodus und mindestens bei einer gegebenen Wellenlänge die durch die Grenzfläche Substrat/Schicht bewirkte Dämpfung der Wellenausbreitung reduziert.

7. Optischer Wellenleiter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das organische Material ein Polymer ist, vorzugsweise Polycarbonat, und/oder der Brechwert der Zwischenschicht oder einer direkt an der Wellenleiterschicht anliegenden Zwischenschicht kleiner ist als der der Wellenleiterschicht.

8. Optischer Wellenleiter nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine oder eine weitere Zwischenschicht als Haftvermittlungsschicht zum Substrat wirkt.

9. Optischer Wellenleiter nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine oder eine weitere an die Wellenleiterschicht substratseitig anliegende Zwischenschicht eine geringere Dämpfung der Wellenausbreitung aufweist als weitere substratseitig gelegene Zwischenschichten oder das Substrat selbst.

10. Optischer Wellenleiter nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass er räumlich strukturiert ist, vorzugsweise das Substrat geprägt, tiefgezogen oder gespritzt ist.

11. Optischer Wellenleiter nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass seine Dämpfung mindestens um einen Faktor 3 geringer ist als ohne die mindestens eine Zwischenschicht.

12. Optischer Wellenleiter nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Wellenleiterschicht-Material, insbesondere für Wellenlängen von 400 nm bis 1000 nm, mindestens eines der folgenden Materialien umfasst:

TiO_2 , Ta_2O_5 , ZrO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 - TiO_2 , HfO_2 , Y_2O_3 , Nb_2O_5 , Siliziumnitrid, Oxinitrid, wie SiO_xN_y , HfO_xN_y , AlO_xN_y , TiO_xN_y , TaO_xN_y , sowie MgF_2 , CaF_2 ,

und vorzugsweise für Wellenlängen > 1000 nm mindestens eines der Materialien

Silizium, SiO_x , Ge, GaAs, GaAlAs.

13. Optischer Wellenleiter nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass seine Dämpfung in der gleichen Grössenordnung liegt wie bei einem Wellenleiter gleichen Wellenleiterschicht-Materials auf Glassubstrat, vorzugsweise kleiner als 100 dB/cm, vorzugsweise kleiner als 50 dB/cm, vorzugsweise gar kleiner als 10 dB/cm ist.

14. Optischer Wellenleiter nach einem der Ansprüche 6 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Zwischenschicht aus einem anorganischen Material besteht, vorzugsweise aus einem Material mit Siliziumoxid, wie aus SiO_2 , oder einer SiO_2 , TiO_2 -Mischung oder aus einem Material, das Si_3N_4 enthält, wie aus Si_3N_4 selbst, oder einer Mischung mit Si_3N_4 besteht, wobei diese eine Dicke von mindestens 5 nm aufweist, vorzugsweise eine Dicke von mindestens 10 nm.

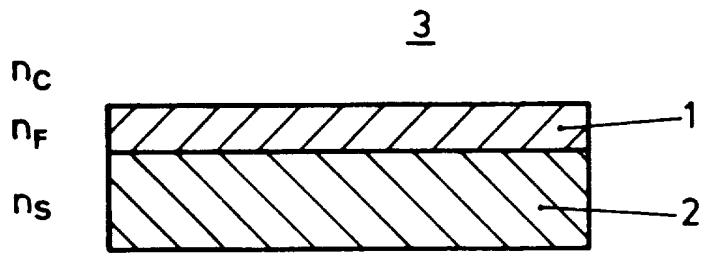


FIG. 1a

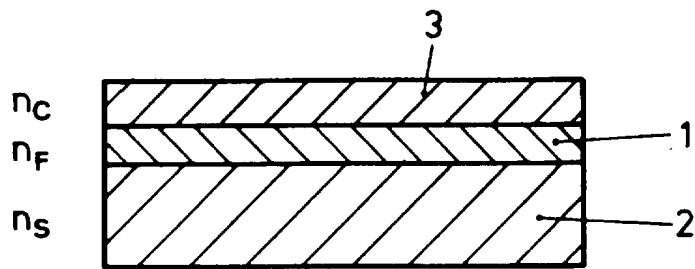


FIG. 1b

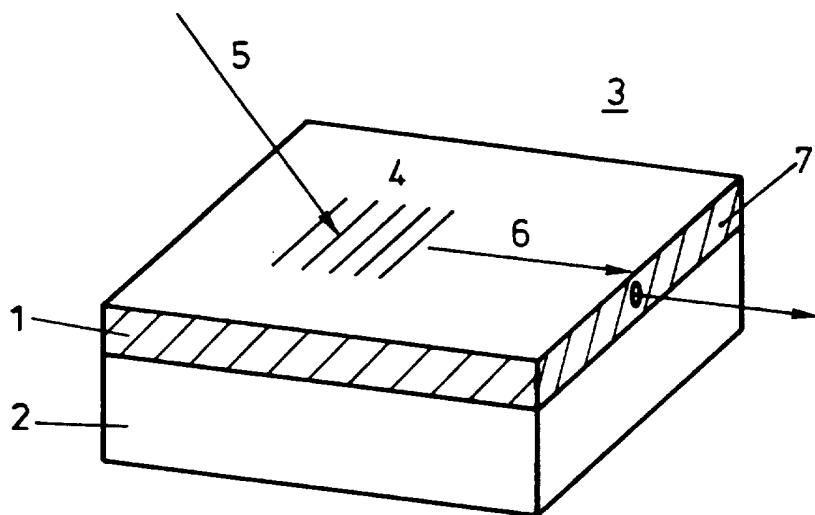


FIG. 2

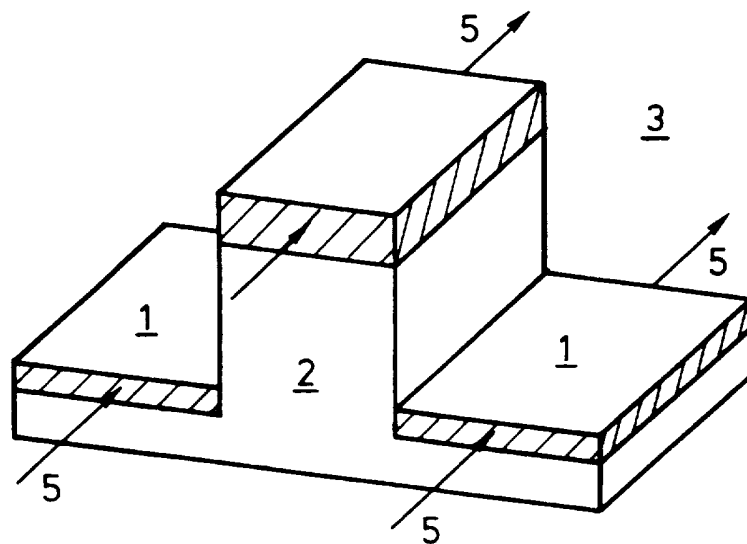


FIG. 3

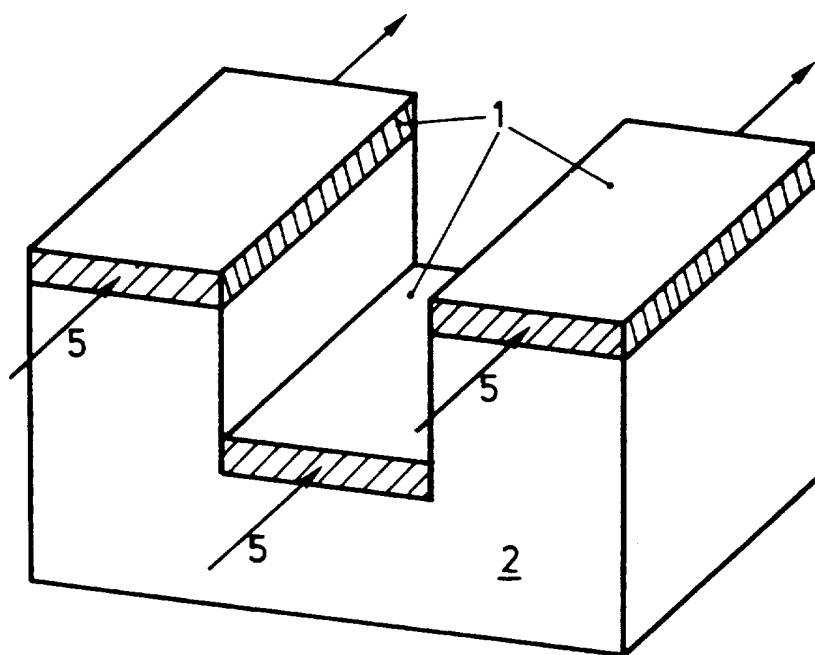


FIG. 4

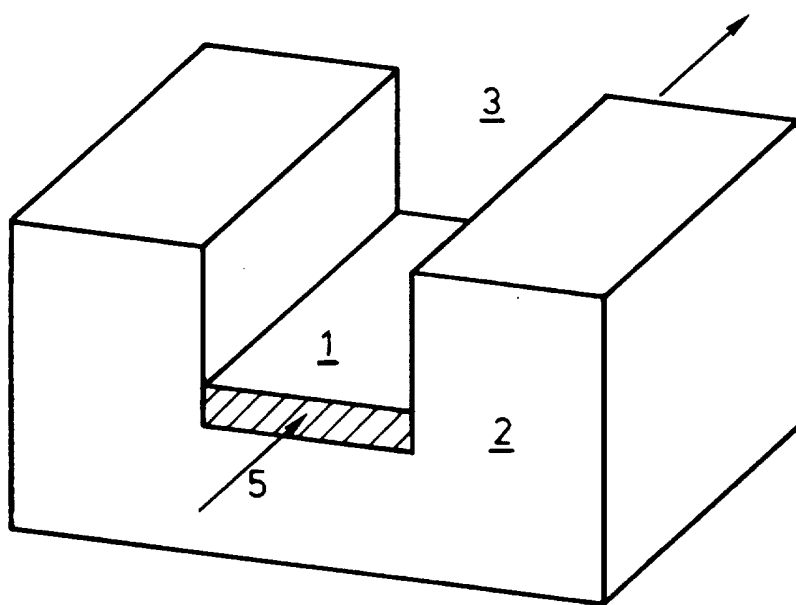


FIG. 5

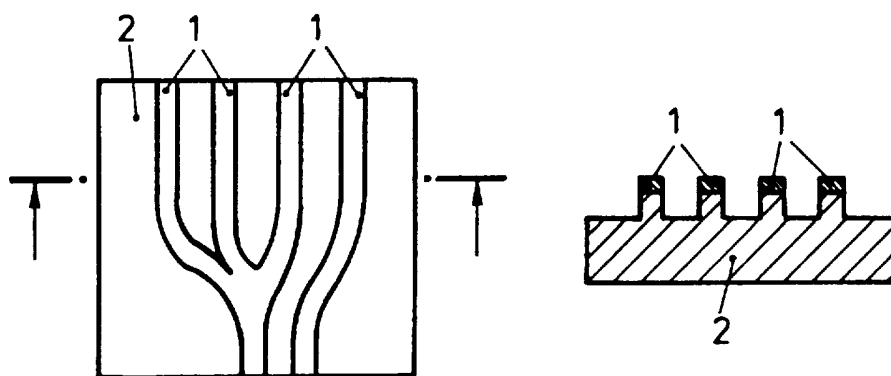


FIG. 6

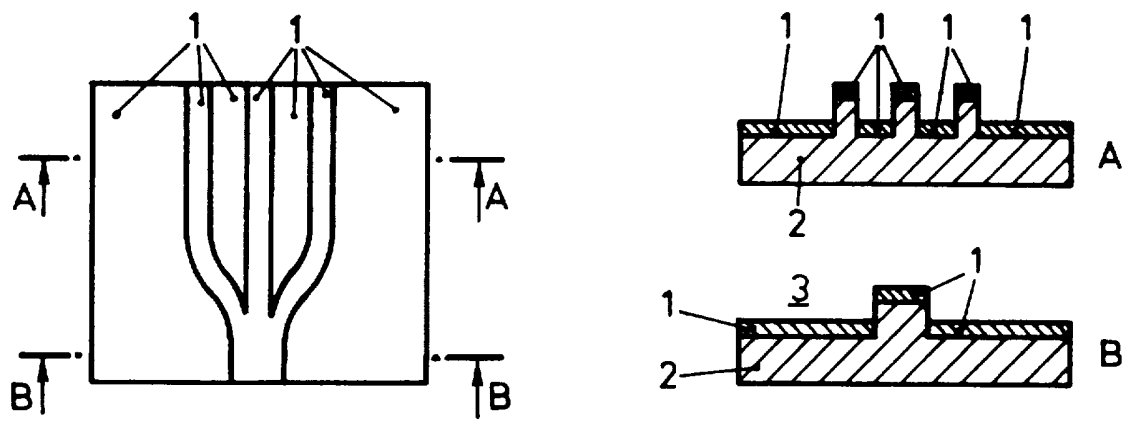


FIG. 7

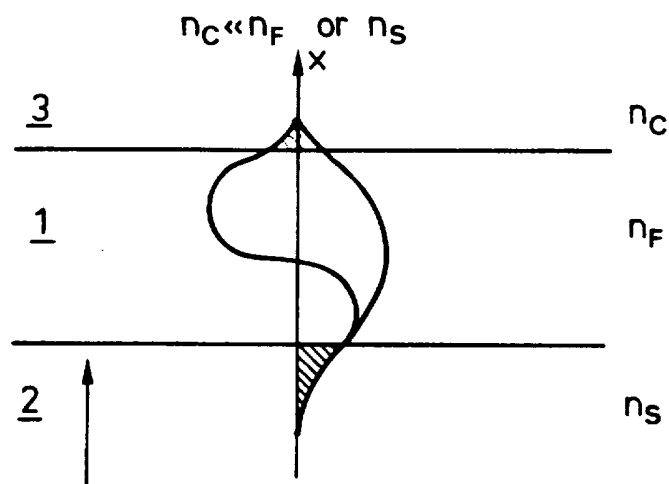


FIG. 8

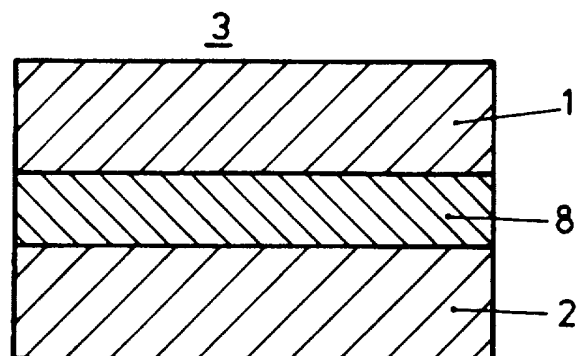


FIG. 9

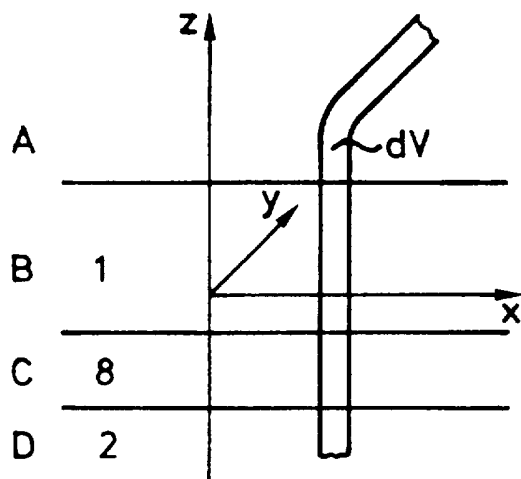


FIG.10

$$A(dV) = \int_{dV} I(\vec{r}) \cdot \vec{r} d\vec{r}$$

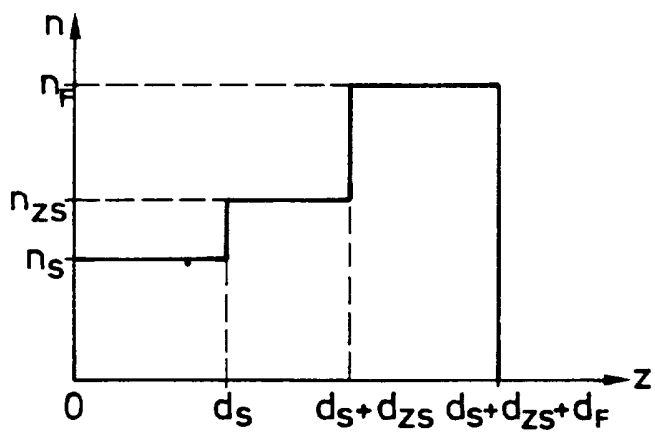


FIG. 11a

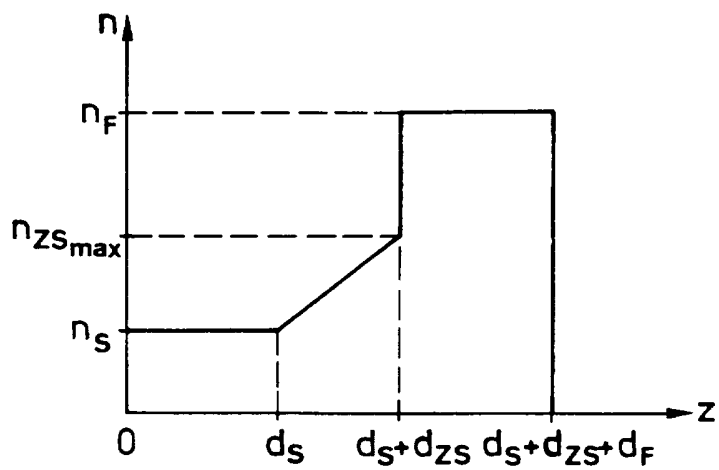


FIG.11b

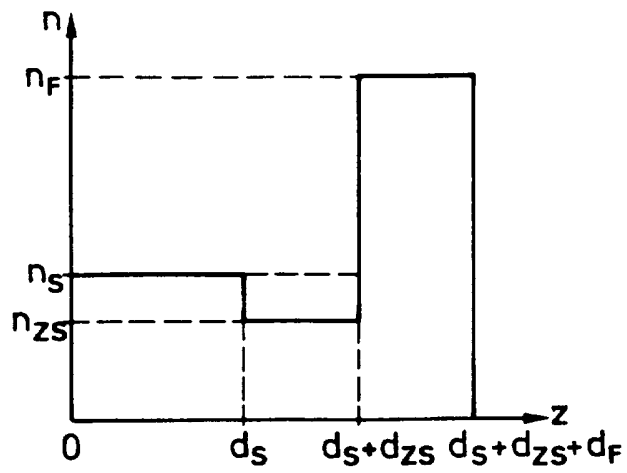


FIG. 11c

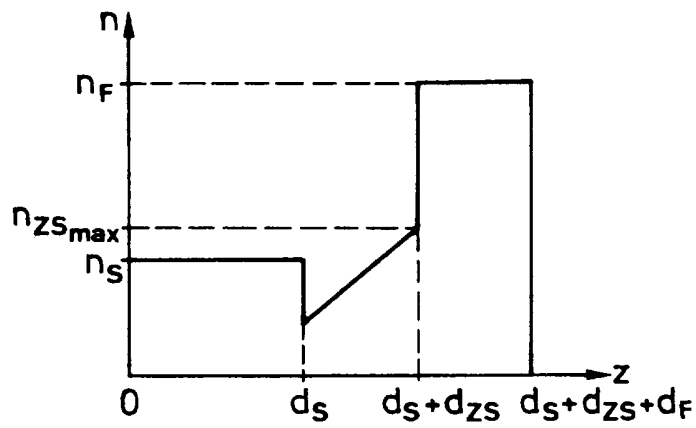


FIG. 11d

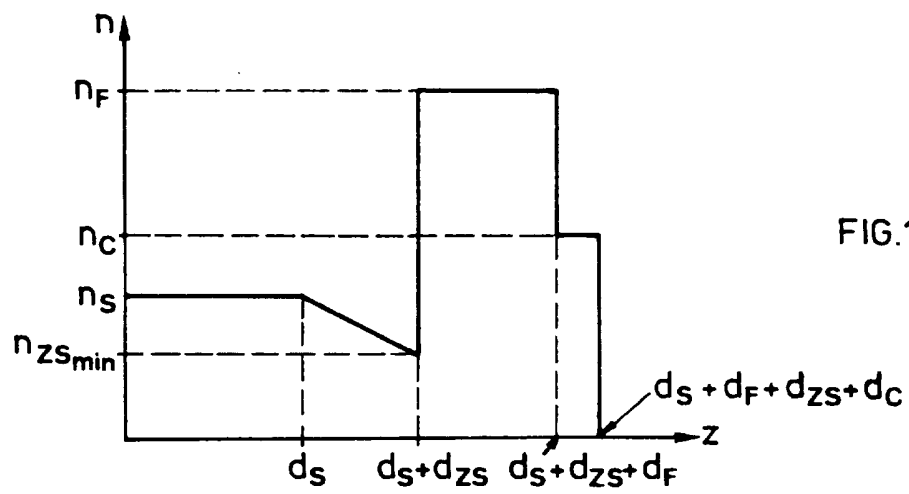


FIG. 11e

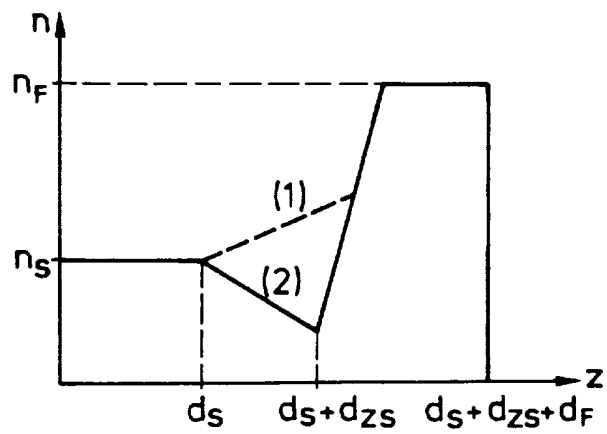


FIG. 11f

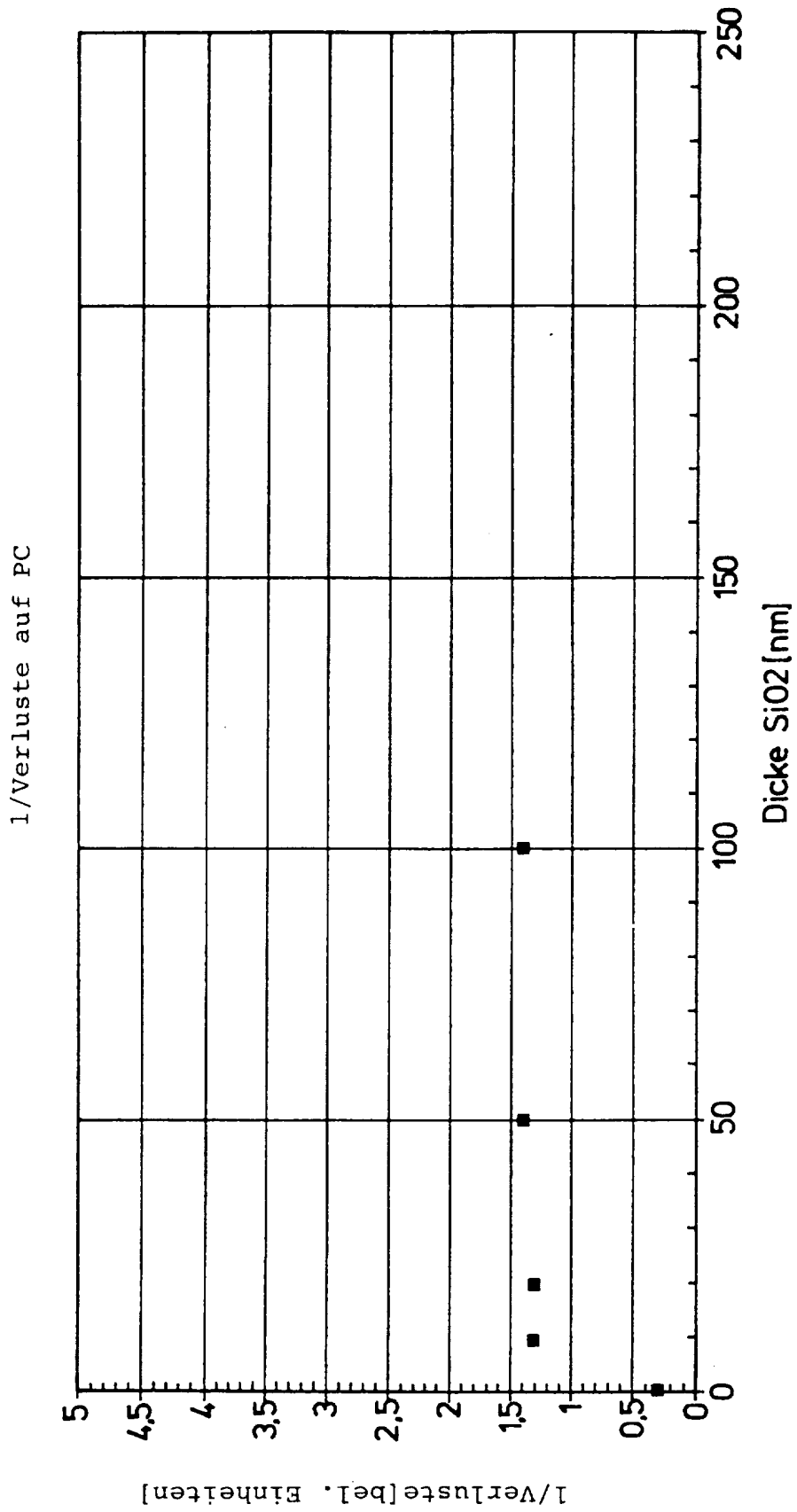


FIG.12