(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 31 581 T2** 2006.06.14

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 010 997 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 31 581.2**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP98/01278**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 909 846.2**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 98/044368**
(86) PCT-Anmeldetag: **24.03.1998**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **08.10.1998**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.06.2000**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **14.09.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **14.06.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***G02B 6/12*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

11495197	**29.03.1997**	**JP**
4073698	**23.02.1998**	**JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
BE, CH, DE, DK, FR, GB, IT, LI, NL, SE

(73) Patentinhaber:
Autocloning Technology Ltd., Sendai, Miyagi, JP

(74) Vertreter:
Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim

(72) Erfinder:
KAWAKAMI, Shojiro, Sendai-shi, Miyagi-ken 984-0065, JP; SAKAKI, Hiroyuki, Yokohama-shi, Kanagawa-ken 244, JP; SHIRAISHI, Kazuo, Kitakatsushika-gun, Saitama-ken 340-0206, JP

(54) Bezeichnung: **DREIDIMENSIONALE PERIODISCHE STRUKTUR, IHR HERSTELLUNGSVERFAHREN UND VERFAHREN ZUR FILMHERSTELLUNG**

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

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

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen einer dreidimensionalen periodischen Struktur, welche eine im wesentlichen dreidimensionale periodische Brechungsindexverteilung aufweist, die zum Beispiel als ein Lichtwellenschaltungselement verwendet wird.

Stand der Technik

[0002] Eine Technik zum Herstellen einer dreidimensionalen periodischen Struktur, welche eine Periode von rund 1 μm oder weniger in einem Material aufweist, weist einen weiten Bereich einer möglichen Anwendung auf den Gebieten der optischen Technologien und der elektronischen Technologien auf. Ihr Herstellungsverfahren ist jedoch noch nicht entwickelt, und eine dreidimensionale periodische Struktur mit einer Periode von rund 1 μm oder weniger ist bis heute noch nicht realisiert worden. Unter den Techniken, welche untersucht worden sind, sind die nachfolgenden beiden die wesentlichen: (1) ein Verfahren, in welchem Löcher in drei Richtungen durch Trockenätzen gebildet werden, wie in der Fig. 54 gezeigt ist (E. Yablonovitch, „Photonic band-gap structures", J. Opt. Soc. Am. B, vol. 10, Nr. 2, Seiten 283–295, 1993); und (2) ein Verfahren, in welchem Substrate mit parallelen eckigen Stangen auf diesen entgegengesetzt zueinander positioniert und aneinander verklebt werden, eines der Substrate wird durch selektives Ätzen entfernt, und ein anderes Substrat wird wiederum entgegengesetzt positioniert und angeklebt, um den Vorgang zu wiederholen, wie in der Fig. 55 gezeigt ist, (S. Noda, N. Yamamoto, und A. Sasaki, „New realization method for threedimensional photonic crystal in optical wavelength region", Jpn. J. Appl. Phys., vol. 35, Seiten L909–L912, 1996). Bis heute sind diese beiden Ideen nicht in dem Fall realisiert worden, dass die Periode rund 1 μm oder weniger beträgt und die Anzahl von Perioden gleich 5 oder größer ist.

[0003] In dem oben genannten Verfahren (1) ist es nachteilig, dass das Herstellen von mehr als drei oder vier Perioden unmöglich ist. In dem oben genannten Verfahren (2) sind die Reproduzierbarkeit und die Produktivität gering, weil es auf handwerklichen Verfahren beruht, mit einer geringen Kontrollierbarkeit, wie zum Beispiel das selektive chemische Ätzen und das häufige Verkleben.

[0004] Die vorliegende Erfindung wurde fertiggestellt, um die oben beschriebenen Probleme der herkömmlichen Techniken zu lösen, und es ist eine Aufgabe, ein verbessertes Herstellungsverfahren für eine dreidimensionale Struktur zur Verfügung zu stellen, welche eine Periode von rund 1 μm oder weniger aufweist.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Um die oben beschriebene Aufgabe zu lösen, ist es notwendig, eine dreidimensionale periodische Struktur durch ein Verfahren zu realisieren, welches überlegen in der Zuverlässigkeit und in der Reproduzierbarkeit ist. Aus diesem Grund ist solch ein Verfahren effektiv, das wenigstens zwei Arten von Materialien aufeinander folgend und periodisch laminiert werden und Sputter-Ätzen (Kathodenzerstäubung) getrennt von der Filmbildung oder gleichzeitig mit dieser ausgeführt wird, im Hinblick auf wenigstens einen Teil der laminierten Schichten. Dieses Verfahren kann eine dreidimensionale periodische Struktur herstellen, welche eine Periode von rund 1 μm oder weniger aufweist.

Funktionen

[0006] Wenn eine dreidimensionale periodische Struktur durch das oben genannte Mittel aufgebaut wird, ist es möglich, eine solche zu realisieren, welche eine Periode von rund 1 μm oder weniger aufweist, einfach und mit einer guten Reproduzierbarkeit. Zudem kann in die periodische Struktur ein Material mit einer nichtlinearen optischen Empfindlichkeit (Suzeptibilität) eingeführt werden, ein lichtemittierendes oder ein lichtverstärkendes Material, ein elektrooptisches Material, ein transparentes Objekt, ein elektrisch leitendes Material oder ähnliches. Zudem kann in die periodische Struktur ein Wellenleiter, ein Resonator, eine Zweigstelle, ein Koppler, ein Reflektor, ein Halbleiterlaser, ein optischer Detektor oder ähnliches eingebaut werden. Dementsprechend kann ein anwendungsbezogenes Teil oder eine Einrichtung durch ein Verfahren hergestellt werden, welches in der Zuverlässigkeit und der Wiederholbarkeit überlegen ist. Die vorliegende Erfindung ist gattungsbildend darin, dass sie aus einem allgemeinen Grundgedanken stammt und verschiedene Ausführungen umfasst, welche aus den folgenden Ausführungen offensichtlich sein werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0007] Die Fig. 1 ist eine beispielhafte Ansicht, welche eine dreidimensionale periodische Struktur zeigt, die dadurch hergestellt worden ist, dass das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0008] die Fig. 2 ist eine beispielhafte Ansicht, die ein Sputter-Verfahren zeigt;

[0009] die Fig. 3 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Vorspannungs-Sputterverfahren zeigt;

[0010] die Fig. 4 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Anwendungsbeispiel des herkömmlichen Vorspannungs-Sputterverfahrens zeigt;

[0011] die Fig. 5 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Anwendungsbeispiel des herkömmlichen Vorspannungs-Sputterverfahrens zeigt;

[0012] die Fig. 6 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Vakuum-Verdampfungsverfahren zeigt;

[0013] die Fig. 7 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Laserabtragungsverfahren zeigt;

[0014] die Fig. 8 ist eine beispielhafte Ansicht, welche die Winkelabhängigkeit der Ätzrate zeigt;

[0015] die Fig. 9 ist eine beispielhafte Ansicht, welche eine dreidimensionale periodische Struktur zeigt, die derart hergestellt worden ist, dass das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wurde;

[0016] die Fig. 10 ist eine beispielhafte Ansicht, welche einen Herstellungsmechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0017] die Fig. 11 ist eine beispielhafte Ansicht, welche einen Herstellungsmechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0018] die Fig. 12 ist eine beispielhafte Ansicht, welche einen Herstellungsmechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0019] die Fig. 13 ist eine beispielhafte Ansicht, welche einen Herstellungsmechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0020] die Fig. 14 ist eine beispielhafte Ansicht, welche einen Herstellungsmechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0021] die Fig. 15 ist eine beispielhafte Ansicht, welche einen Herstellungsmechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0022] die Fig. 16 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Substrat zeigt, das in einer Ausführung der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0023] die Fig. 17 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Substrat zeigt, das in einer Ausführung der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0024] die Fig. 18 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Substrat zeigt, das in einer Ausführung der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0025] die Fig. 19 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Substrat zeigt, das in einer Ausführung der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0026] die Fig. 20 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Substrat zeigt, das in einer Ausführung der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0027] die Fig. 21 ist eine beispielhafte Ansicht, welche einen Herstellungsmechanismus der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0028] die Fig. 22 ist eine Ansicht zum Erläutern der Merkmale einer dreidimensionalen periodischen Struktur;

[0029] die Fig. 23 ist eine beispielhafte Ansicht welche einen Brillouin-Bereich zeigt, dessen Struktur hexagonalsymmetrisch in der xy-Ebene und periodisch in der z-Richtung ist;

[0030] die Fig. 24 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist, wobei ein Kreis mit der gestrichelten Linie bedeutet, dass ein rundes Loch, welches durch die ausgezogene Linie gezeigt ist, an dem Ort nicht existiert, an welchem es ursprünglich existieren sollte;

[0031] die Fig. 25 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0032] die Fig. 26 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0033] die Fig. 27 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0034] die Fig. 28 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0035] die Fig. 29 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0036] die Fig. 30 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0037] die Fig. 31 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0038] die Fig. 32 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0039] die Fig. 33 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0040] die Fig. 34 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0041] die Fig. 35 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0042] die Fig. 36 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0043] die Fig. 37 ist eine beispielhafte Ansicht, welche eine selektive Laminierung zeigt, die in einer Ausführung der Erfindung verwendet wird, wobei T eine Spitze bezeichnet und V ein Tal bezeichnet;

[0044] die Fig. 38 ist eine beispielhafte Ansicht, welche das selektive Ätzen zeigt, das in einer Ausführung der vorliegenden Erfindung verwendet wird, durch welches ein Profil einer ausgezogenen Linie zu einer Form einer gestrichelten Linie geändert wird;

[0045] die Fig. 39 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein selektives Ätzen zeigt, das in einer Ausführung der vorliegenden Erfindung verwendet wird, durch welches ein Profil einer ausgezogenen Linie zu einer Form einer gestrichelten Linie geändert wird;

[0046] die Fig. 40 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0047] die Fig. 41 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0048] die Fig. 42 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0049] die Fig. 43 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist, in welcher Ellipsen ein Inselfilmmetall bezeichnen und über eine gekrümmte Oberfläche punktweise angeordnet sind;

[0050] die Fig. 44 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0051] die Fig. 45 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0052] die Fig. 46 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0053] die Fig. 47 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0054] die Fig. 48 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist, in welcher ein Verfahren des Einfügens eines Funktionsmaterials F in eine Schnittstelle von A und B (das heißt 1 und 2) das Verfahren (b) ist, und ein Verfahren des Herstellens von A oder B von F das Verfahren (c) ist;

[0055] die Fig. 49 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0056] die Fig. 50 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Herstellungsverfahren gemäß der Erfindung zeigt;

[0057] die Fig. 51 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0058] die Fig. 52 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0059] die Fig. 53 zeigt eine beispielhafte Ansicht, welche ein Beispiel zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt worden ist;

[0060] die Fig. 54 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Verfahren zur Herstellung einer dreidimensionalen periodischen Struktur zeigt, das nicht in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ist; und

[0061] die Fig. 55 ist eine beispielhafte Ansicht, welche ein Verfahren zur Herstellung einer dreidimensionalen periodischen Struktur zeigt, das nicht in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ist.

Bezugszeichenliste

1 Material A (zum Beispiel SiO_2);
2 Material B (zum Beispiel Si);
3 Substrat;
4 Vakuumkammer;
5 Target;
6 Abgleichungsschaltung;
7 Hochfrequente Leistungsquelle
8 Substratelektrode
9 Dielektrikum
10 Metall
11 Verdampfungsquelle

12 Laser
13 Quellenmaterial
14 gasförmiges Ion
15 Materialteilchen
16 Material, welches den Brechungsindex n_1 aufweist
17 Material, welches den Brechungsindex n_2 ($n_1 \geq n_2$) aufweist
18 Resist zur Lithographie
19 Si
20 SiO_2
21 Metall A (zum Beispiel Al oder ähnliches)
22 Metall B (zum Beispiel Pt, Ni, W, Ti oder ähnliches)
23 Funktionseinheit
24 dreidimensionale photonische Bandlückenstruktur
25 $LiNbO_3$
26 Er-dotiertes SiO_2
27 Aktivbereich
28 Ausgabe-Wellenleiter
29 Substrat der Gruppe III–V Halbleiter
30 epitaktische Schicht
31 GaAs
32 AlGaAs

Beste Art, die Erfindung auszuführen

[Ausführung 1]

[0062] Zuerst werden aus den Verfahren zur Dünnfilmbildung und den Ätzverfahren solche, auf welche in der vorliegenden Erfindung Bezug genommen wird und einige, welche bei der vorliegenden Erfindung angewendet werden können, im Umriss beschrieben werden.

[0063] Die Fig. 2 ist eine schematische Ansicht, welche ein übliches hochfrequentes Sputtersystem zeigt. Innerhalb einer Vakuumkammer **4** sind ein Target **5**, welches eine Bezugsquelle aus Quellenmaterial für den Dünnfilm ist, und ein Substrat **3**, welches entgegengesetzt zu dem Target **5** angeordnet ist, angeordnet. Das Target **5** ist an eine hochfrequente Leistungsquelle **7** über eine Impedanzabgleichungsschaltung **6** angeschlossen. In den Innenraum der Vakuumkammer **4** wird ein Gas eingeleitet, welches ein Inertgas (zum Beispiel Ar-Gas) als seine Hauptkomponente beinhaltet und zum Beispiel durch Hinzufügen von Stickstoff-Gas zu dem Ar-Gas erzielt wird. Dann wird eine hochfrequente Leistung der Targetelektrode zugeführt, um Plasma zu erzeugen. Weil das Target **5** im zeitlichen Durchschnitt auf einem negativen Potential liegt (Selbstvorspannungseffekt), sind positiv geladene gasförmige Ionen einfallend auf das Target **5**, wobei sie eine hohe Energie aufweisen (Pfeile mit ausgezogenen Linien), um das Targetmaterial zu zerstäuben. Die Teilchen des zerstäubten Materials erreichen das Substrat **3** und haften an diesem an (die Pfeile mit der gestrichelten Linie), um einen Film auf dem Substrat auszubilden.

[0064] Die Fig. 3 zeigt einen Umriss eines Sputtersystems mit Vorspannung (bias sputtering system). Im Vergleich zu dem System der Fig. 2 ist diesem eine Substratelektrode **8** hinzugefügt, welche über eine Abgleichungsschaltung an eine hochfrequente Leistungsquelle **7** angeschlossen ist. Durch Zuführen einer hochfrequenten Leistung zu der Substratelektrode **8** werden die gasförmigen Ionen dazu gebracht, dass sie auf die Oberfläche des Substrats **3** einfallen (die Pfeile mit der ausgezogenen Linie), ähnlich zu dem Fall des Targets **5**, und somit ist es möglich, Teilchen aus der Oberfläche des Substrats **3** heraus zu zerstäuben. Durch Variieren der hochfrequenten Leistung, welche zugeführt werden soll, der Art und des Druckes des Gases, die Form der Substratelektrode und ähnliches ist es möglich, die Quantität und die Energie der auftreffenden Ionen und die Wirkung des Sputtern (der Kathodenzerstäubung) zu steuern.

[0065] Herkömmlich ist das Sputter-Verfahren mit Vorspannung als Dünnfilmbildungsverfahren (Metallisierung) zum Ausbilden von Elektroden und von Leitungsführungen in LSI verwendet worden. Zum Beispiel wird es verwendet, wie in der Fig. 5 gezeigt ist, zum Einbetten einer Metallfilmleitung **10** in einem Dielektrikum **9**, um eine obere Oberfläche zu ebenen, oder, wie in der Fig. 4 gezeigt ist, zum Auffüllen eines Raumes zwischen zwei Leitungen **10**, um keinen hohlen Bereich zu erzeugen. Auf der anderen Seite ist es eine vollständig neue Technik, Sputtern (Aufdampfung) mit Vorspannung oder Sputter-Atzen (Kathodenzerstäuben) zum Ausbilden des Films, welcher unten beschrieben wird, zu verwenden.

[0066] Die Fig. 6 stellt das Konzept des Verfahrens der Vakuumverdampfung dar. Aus einer Verdampfungsquelle **11**, welche einem Widerstandsheizen oder einem Elektronenstrahlheizen unterzogen wird, dringt Quellenmaterial heraus in ein Vakuum und erreicht ein Substrat **3** und haftet an diesem an. Die Fig. 7 stellt das Konzept der Laserabtragung dar. Eine Strahlung eines gepulsten Hochleistungslasers aus einem Laser **12** wird derart ausgeführt, dass sie auf das Quellenmaterial **13** einfällt, so dass ein Teil des Quellenmaterials unmittelbar erhitzt wird und herausdringt, um ein Substrat **3** zu erreichen und an diesem anzuhaften.

[0067] Ferner wird das Sputter-Ätzen (die Kathodenzerstäubung), welches eine Rolle des Ausbildens eines Films in der vorliegenden Erfindung spielt, nun beschrieben werden. Eine andere Art der Filmausbildung kann gleichzeitig mit dem Sputter-Ätzen ausgeführt werden. Zum Beispiel bezieht sich das Vorspannungs-Sputtern (Bias Sputtering) auf ein simultanes Verfahren, in welchem die Filmbildung durch das Sputtern gleichzeitig mit dem Sputter-Ätzen fortschreitet.

[0068] In dem System der Fig. 3 wird durch Anlegen der hochfrequenten Leistung nur an die Substratelektrode **8**, ohne diese an das Target **5** anzulegen, Sputter-Ätzen im Einzelbetrieb, bei welchem die Filmbildung nicht fortschreitet, realisiert. Wie oben beschrieben worden ist, hat dieses Sputter-Ätzen eine Funktion des Ausformens eines Films, und, wenn es ausgeführt wird, nachdem ein Film derart gebildet wurde, dass er einige Dickengrade aufweist, kann es den Film in eine gewünschte Form formen.

[0069] Auf der anderen Seite, durch Anlegen der hochfrequenten Leistungsquelle **7** an das Target **5**, während die hochfrequente Leistungsquelle **7** auch an die Substratelektrode **8** angelegt wird, ist es möglich, beides zu bewirken, das Fortschreiten der Filmbildung und des Sputter-Ätzens gleichzeitig. Es ist nämlich möglich, zu veranlassen, dass das Sputtern mit Vorspannung fortschreitet.

[0070] Hierbei variiert eine Beziehung zwischen der Leistung oder der Frequenz der hochfrequenten Leistungsquelle **7**, welche an die Substratelektrode **8** angelegt wird, oder der Leistung oder der Frequenz der hochfrequenten Leistungsquelle **7**, welche an das Target **5** angelegt wird, und der geformte Film oder die Form des Films, welche durch das Sputter-Ätzen geformt wurde, entsprechend dem Gasdruck, welcher in die Vakuumkammer **4** eingeleitet wird, und des Materials des Films, so dass es schwierig ist, die Beziehung im allgemeinen zu bestimmen. Durch Erzielen der Beziehung durch Experimente oder ähnliches in jedem spezifischen Zustand kann ein Fachmann jedoch leicht die oben beschriebenen Techniken ausführen.

[0071] Bei dem Sputter-Ätzen wird eine Rate, mit welcher eine Oberfläche, die geätzt wird, sich in der Richtung der Senkrechten zurückbewegt, als eine Funktion der Neigung θ der Oberfläche definiert und wird Ätzrate genannt. Für viele Materialien weist eine Ätzrate E (θ) eine Eigenschaft auf, wie sie in der Fig. 8 gezeigt ist. Sie wird nämlich maximal auf einem Winkel θ_m zwischen 0° und 90°, und, indem sie dies zu einem Umkehrpunkt macht, fällt sie monoton ab in beide Richtungen, links und rechts. Dieses Sputter-Ätzen kann zudem vor oder nach der oben genannten Filmbildung durch Sputtern, Vakuumverdampfung oder Laserabtragung ausgeführt werden.

[0072] Ein Beispiel des Formens einer dreidimensionalen periodischen Struktur wird nun beschrieben werden. Periodische Linien oder Öffnungen werden aus einem Substrat aus Quarzglas durch die Elektronenstrahllithographie und durch das Trockenätzen ausgebildet. Zum Beispiel wird ein Durchmesser von jeder Öffnung derart ausgeführt, dass er 0,2 µm beträgt, und die Öffnungen sind in einer Form eines hexagonalen Gitters angeordnet, so dass ein Intervall zwischen den Mitten der Öffnungen gleich 0,5 µm wird. Oder ein Film kann auf einem Substrat ausgebildet werden, und ein Feld von Öffnungen kann auf diesem Film geformt werden. In diesem Fall wird der Begriff „Substrat" in der Art verwendet, dass er den Film umfasst. Auf ihm werden Si und SiO_2 mittels des Hochfrequenz-Sputterns abgeschieden. Für einen Teil der laminierten Schichten von SiO_2 aus den laminierten Schichten heraus werden Ätzwirkungen von Ionen, die durch die Hochfrequenz ionisiert werden und auf der Oberfläche des Substrates aufschlagen, das heißt durch Sputter-Ätzen, und das Laminieren durch das Hochfrequenz-Sputtern derart ausgeführt, dass sie gleichzeitig fortschreiten. Ein Beispiel einer Filmbildung wird beschrieben werden. Zur SiO_2 Filmbildung beträgt die hochfrequente Leistung, die an dem Target angelegt wird, 400 W, die Ar-Strömungsgeschwindigkeit 72 sccm, die H_2-Strömungsgeschwindigkeit 8 sccm und der Gasdruck 2,0 mTorr, wohingegen eine Vorspannungsleistung (die hochfrequente Leistung, die an die Substratelektrode zum Sputter-Ätzen angelegt wird) von 60 W während der Filmbildungszeit für jede Schicht angelegt wird. Auf der anderen Seite beträgt bei der Si-Filmbildung die hochfrequente Leistung, die an das Target angelegt wird, 400 W, die Ar-Strömungsgeschwindigkeit 76 sccm, die H_2-Strömungsgeschwindigkeit 4 sccm und der Gasdruck 3,6 mTorr, wohingegen keine Vorspannungsleistung angelegt wird. In beiden Fällen beträgt die Filmdicke 0,2 µm. Weil die Formgebungswirkung des Sputter-Ätzens verwendet wird, geht die zweidimensionale periodische Form auf dem Substrat nicht verloren, sogar wenn Si und SiO_2 in vielen Durchläufen

laminiert werden. Durch Verwenden eines Abstoßungskraftmikroskops ist verifiziert worden, dass eine periodische Struktur auf einer Oberfläche sogar dann stabil ist, wenn eine Laminierung (Schichtbildung) in mehreren zehnfachen Durchläufen ausgeführt wird. Wie in der Fig. 1 gezeigt ist (und im Detail in der Fig. 9) wird innen eine dreidimensionale und hochgradig periodische Struktur ausgebildet.

[0073] Der Mechanismus des Ausbildens dieser periodischen Struktur wird wie folgt betrachtet. Beim Sputtern, werden, wenn Teilchen des Filmmaterials diffusiv auf ein Substrat einfallen, dessen Querschnitt in einer durchgezogenen Linie in der Fig. 10 gezeigt ist, das heißt, wenn sie mit einem ähnlichen Bereich von Einfallwinkeln einfallen, Biegungen (Knicke) in den unteren Bereichen der abgeschiedenen Filme produziert, wie in den Fig. 10 oder Fig. 11 gezeigt ist. In den Figuren zeigen die feinen Linien die Verfahren der Filmbildung in zeitlichen Abfolgen. Wenn ein Sputter-Ätzen diesem Effekt überlagert wird, entwickelt sich eine Oberfläche mit einer bestimmten Neigung an einem Schulterbereich aufgrund der Winkelempfindlichkeit, was eine Form bildet, wie sie in der Fig. 12 gezeigt ist, oder eine Form, wie sie in der Fig. 13 gezeigt ist.

[0074] Bei der Filmbildung gibt es zusätzlich zu dem Einfluss der Teilchen, welche direkt aus dem Raum aufschlagen (die primäre Wirkung) einen Einfluss von Quellenmaterial oder von Ätzgas, welches durch andere Bereiche des Films einfällt (Sekundärwirkung). In anderen Worten, wie in der Fig. 14 gezeigt ist, gleichzeitig mit der gewöhnlichen Filmbildung oder dem Sputter-Ätzen gibt es eine Wirkung, dass ein Teil des Materials oder des Films aufgrund des Rückstoßes der Moleküle zum Zeitpunkt der Filmbildung oder aufgrund des Herausspringens durch das Sputter-Ätzen wieder anhaftet. Dieser Effekt ist in zurückgesetzten Bereichen mehr als in vorspringenden Bereichen der zurückgesetzten oder vorspringenden Form bemerkbar, und dementsprechend werden die Formen im unteren Bereich der gebildeten ausgesparten Bereiche schmaler als in den Fig. 12 und Fig. 13 und werden zu solchen Formen, die in der Fig. 15 gezeigt sind. Die Menge der erneuten Anhaftung ergibt sich mehr oder weniger in Übereinstimmung mit der Tiefe oder der Untiefe der Öffnungen oder Kerben, und dementsprechend, wenn die Schichtbildung fortfährt, werden die Tiefen und Formen der Aussparungen automatisch derart eingestellt, dass sie eine bleibende Tiefe und Form aufweisen. Ferner ist es möglich, eine Oberfläche oder einen Film zu ebnen, welche/welcher zurückversetzte oder vorspringende Muster auf sich aufweist, durch Verwenden des Sputter-Ätzens (wenn notwendig) und von einer Abscheidung, bei welcher Teilchen diffusiv einfallen, wie bei der gewöhnlichen Sputter-Abscheidung. Selbstverständlich kann ein Substrat mit periodischen Vorsprüngen versehen werden, wie in der Fig. 16 gezeigt ist, ohne dass es auf die periodischen Aussparungen beschränkt ist.

[0075] Bei einem Substrat, welches periodisch angeordnete Öffnungen/Kerben aufweist, wie in den Fig. 17, Fig. 18 und Fig. 19 gezeigt ist, oder bei einem Substrat, welches nicht periodisch angeordnete Öffnungen/Kerben aufweist, wie in der Fig. 20 gezeigt ist, ist es möglich, die Böden der Öffnungen/Kerben derart zu formen, dass sie scharf sind, durch gleichzeitiges Ausführen von Sputter-Ätzen und Abscheidung, wobei die Teilchen diffusiv einfallen, wie zum Beispiel die herkömmliche Sputter-Abscheidung, auf dem Substrat. Zudem ist es durch Ausführen eines Abscheidungsverfahrens, in welchem Teilchen diffusiv einfallen, wie zum Beispiel der gewöhnlichen Sputter-Abscheidung auf dem oben genannten Substrat oder auf einem Film, der auf dem Substrat ausgebildet ist, um Positionen der zurückgesetzten und vorstehenden Muster des Substrats beizubehalten, möglich, Hohlräume in Formen der Öffnungen oder Kerben auf der Innenseite auszubilden, wie in der Fig. 21 gezeigt ist, während ein Film auf der Oberfläche ausgebildet wird, so dass Öffnungen/Kerben hergestellt werden, welche mit den Positionen der zurückversetzten und hervorstehenden Mustern auf dem Substrat zusammenfallen, wie in derselben Figur gezeigt ist. Diese zwei Verfahren (das heißt das Formen der scharfen Böden und das Ausbilden der Hohlräume) können individuell oder in Kombination in jeglicher Reihenfolge ausgeführt werden. Ferner ist es möglich, eine Oberfläche eines Films zu ebenen, welcher zurückversetzte und hervorstehende Muster aufweist, durch Verwenden von Sputter-Ätzen (wenn notwendig) und Abscheidung, wobei Teilchen diffusiv einfallen, so wie die herkömmliche Sputter-Abscheidung. Dies weist einen sehr weiteren Bereich der Anwendung auf.

[0076] Hier wird nun ein Verfahren des Herstellens einer anderen Struktur beschrieben werden. In der Struktur, welche mit Bezugnahme auf die Fig. 1 beschrieben worden ist, weisen zwei Arten von Materialien Dicken eines selben Ausmaßes auf. Auf einer ausgesparten oder vorstehenden Oberfläche einer einzigen Hauptkomponente (Host), die eine Struktur ausbildet, kann jedoch, wie unten beschrieben wird, eine andere Art eines Funktionsmaterials (Guest) derart laminiert werden, dass es viel dünner ist als der Host, und diese Schichtbildung kann periodisch wiederholt werden. Der Host weist nämlich, angenommen, dass der Guest nicht eingeführt wird, eine gleichförmige Struktur auf. In anderen Worten ist es möglich, eine Struktur herzustellen, in welcher die dreidimensionale periodische Struktur von dem Guest in das gleichförmige Host-Material eingebettet wird. Ferner ist es möglich, auf ähnliche Weise eine dreidimensionale periodische Struktur des Host-Guest-Typs auszubilden, in welcher der Host selber eine periodische Struktur ist, die aus zwei oder meh-

reren Filmmaterialien besteht, die dicker als der Guest sind. Bezugnehmend auf die Fig. 1 gibt es, wenn alle Formen der Oberflächen des Materials A und des Materials B dieselben sind, kein Problem. Sogar wenn die Oberfläche von A sich nicht mit der Oberfläche von B deckt, wird die Periodizität beibehalten, wenn in den verschiedenen Schichten die As dieselbe Form aufweisen und die Bs dieselbe Form aufweisen.

[Ausführung 2]

[0077] Mit Bezug auf eine dreidimensionale periodische Struktur, welche einen transparenten Körper umfasst und eine Periode von rund einer Hälfte einer Lichtwellenlänge innerhalb des Mediums aufweist, wurde der Effekt einer Photonischen Bandlücke theoretisch vorhergesagt, und die Theorie ist durch einen Modellversuch des Mikrowellenbandes (zum Beispiel ein Band mit einer Wellenlänge von 3 cm) verifiziert worden. Um die dreidimensionale periodische Struktur zu erklären, ist ein Konzept der dreidimensionalen periodischen Struktur in der Fig. 22 gezeigt. Die dreidimensionale periodische Struktur besteht aus transparenten Körpern, 16, 17 der Dicken d_1, d_2 und mit den Brechungsindizes n_1, n_2 ($n_1 \geq n_2$), und die Struktur weist Perioden von $x_1 + x_2$, $y_1 + y_2$ und $z_1 + z_2$ in jeweils den Richtungen von x, y und z auf. Zum Zwecke der Vereinfachung wird angenommen, dass beides, $x_1 + x_2$ und $y_1 + y_2$ wesentlich größer als $z_1 + z_2$ ist (z_1, z_2 weist dieselbe Bedeutung wie d_1, d_2 auf), und eine Gleichung:

$$n_1 d_1 = n_2 d_2$$

wird erfüllt. Wie aus dieser Beschreibung offensichtlich ist, umfasst die dreidimensionale periodische Struktur mit Bezug auf eine Funktion eine eindimensionale periodische Struktur und eine zweidimensionale periodische Struktur. Dies gilt nicht nur für die vorliegende Ausführung, sondern für die gesamte vorliegende Anmeldung. Eine Welle, welche sich in der Richtung von z ausbreitet, weist eine Eigenschaft auf, die in dem folgenden beschrieben wird. In einem Bereich der Lichtwellenlängenkonzentration auf einer bestimmten Freiraumwellenlänge λ_0:

$$\lambda_1 < \lambda < \lambda_u,$$

nimmt eine Lichtwelle, die sich in der Richtung von +z ausbreitet, in ihrer Amplitude exponentiell ab, wenn sie fortschreitet, und kann sich dementsprechend nicht ausbreiten. Dies ist ähnlich zu der Richtung von –z. Die Bedingung, welche durch λ_0 erfüllt wird, ist:

$$\lambda_0/4 = n_1 d_1 \ (= n_2 d_2)$$

und $1/\lambda_1$ und $1/\lambda_u$ werden durch die folgenden Gleichungen erzielt:

$$1/\lambda_1 = (4/\pi\lambda_0)(\tan^{-1}(n_1/n_2)^{1/2})$$

$$1/\lambda_u = (4/\pi\lambda_0)(\tan^{-1}(n_2/n_1)^{1/2})$$

[0078] Wenn n_2/n_1 nahe bei 1 liegt, ergibt sich die folgende Gleichung:

$$(\lambda_u - \lambda_1)/\lambda_0 \sim (4/\pi)((n_1/n_2)^{-1}),$$

wobei (λ_0 nahezu auf dem Zentrum von λ_u und λ_1 liegt).

[0079] Dieses Phänomen wird Bragg-Cutoff (Bragg-Grenze) genannt. Die Zentrumswellenlänge (center wavelength) in der Grenze (Cutoff) ist proportional zu der Länge der Periode. Die Breite des Wellenlängenbandes, in welchem die Grenze (Cutoff) auftritt, nähert sich 0 an, wenn n_1 und n_2 nahezu zusammenfallen, und die Breite wird zu einem beträchtlichen Teil von λ_0, wenn n_1/n_2 groß wird. Dementsprechend wird Licht, dessen Wellenlänge etwas von der sogenannten Bragg-Wellenlänge λ_0 abweicht, ebenso abgetrennt, wenn das Verhältnis n_1/n_2 ausreichend groß ist. Nun wird angenommen, dass die Werkstoffbestandteile a-Si (Brechungsindex: 3,24) und SiO_2 (Brechungsindex: 1,46) sind. Wenn in diesem Materialsystem $1/\lambda_1$, $1/\lambda_u$ aus den oben genannten Gleichungen erzielt werden, sind sie jeweils um 25% kleiner und um 25% größer im Vergleich zu $1/\lambda_0$.

[0080] Ferner ist es zudem mittels einer wässrigen Lösung von HF möglich, SiO_2 selektiv aufzulösen, wobei Si zurückbleibt. Wenn seine Stelle zum Beispiel mit Luft gefüllt wird, werden die Brechungsindizes in diesem System 3,24:1, und ähnlich werden $1/\lambda_1$ und $1/\lambda_u$ um 35% kleiner und um 35% größer im Vergleich mit $1/\lambda_0$.

[0081] Hier wird oben im Sinne einer einfachen Erläuterung angenommen, dass $x_1 + x_2$ und $y_1 + y_2$ wesentlich größer sind als $z_1 + z_2$. Im allgemeinen wird es jedoch gewünscht, dass die Perioden in den x-, y- und z-Richtungen dasselbe Ausmaß aufweisen, in vielen Fällen. In einer dreidimensionalen periodischen Struktur kann man sehen, dass eine Welle, welche sich in einer optionalen Richtung bewegt, verschiedene Perioden für jeweilige Raumwinkelrichtungen aufweist, und somit jeweilige Cutoff-Wellenlängenbänder für Raumwinkelrichtungen aufweist. Wenn Licht, das eine besondere Freiraumwellenlänge λ_s aufweist, gemeinsam in den Cutoff-Wellenlängenbändern von allen dreidimensionalen Richtungen beinhaltet ist, ist es möglich, das Licht der Wellenlänge λ_s innerhalb dieser dreidimensionalen periodischen Struktur vollständig abzugrenzen. Wie oben im Umriss beschrieben worden ist, wird der Effekt, dass die Ausbreitung von Licht eines bestimmten Wellenlängenbereiches in allen Richtungen oder in Richtungen in einem bestimmten Bereich im Raum verboten wird, photonischer Bandlückeneffekt genannt.

[0082] Als ein Beispiel ist eine periodische Struktur derart ausgebildet, wie in der Fig. 9 gezeigt ist. Ihre Perioden in den Richtungen von x, y und z betragen jeweils 0,87 μm, 0,5 μm und 0,4 μm. Das Materialsystem besteht aus a-Si und SiO_2. Eine Periodizität von Dutzenden von Perioden ist verifiziert worden.

[0083] Im Detail nimmt in einer Struktur, welche in der xy-Ebene hexagonal symmetrisch und in der z-Richtung periodisch ist, die sogenannte Brillouin-Zone eine Form an, wie sie zum Beispiel in der Fig. 23 gezeigt ist. Der Ursprung der Wellenzahl (Wave Number) ist die Mitte der hexagonalen Säule. Wenn das Verhältnis n_1/n_2 ausreichend groß ist, ist die in Rede stehende Wellenlänge λ_s im allgemeinen in den Cutoff-Flächen (Grenzflächen) auf den gesamten Oberflächen der Brillouin-Zone beinhaltet, und dementsprechend wird keine Welle ausgestrahlt. Wenn n_1/n_2 kleiner als dieses wird, ist λ_s im allgemeinen in den Cutoff-Flächen der Oberfläche mit Ausnahme der weißen Teile in der Figur beinhaltet und ausreichend für viele Anwendungen, wie unten beschrieben wird. Eine Strahlungswelle, welche von der Mitte der hexagonalen Säule aus in Richtung eines Punktes innerhalb der grauen Flächen fortschreitet, wird nämlich unterdrückt und abgeschnitten.

[0084] Obwohl der Begriff „periodische Struktur" in der vorliegenden Ausführung und durchgehend in der vorliegenden Anmeldung verwendet wird, ist er selbstverständlich nicht auf den Fall beschränkt, in welchem die Periodizität strikt realisiert wird. Kleine Abweichungen von der Periodizität, welche durch Herstellungsbedingungen begründet sind, haben einen kleinen Einfluss. Oder durch ein absichtliches leichtes Stören der Periodizität können folgende Effekte bewirkt werden.

[0085] Wenn ein Substrat derart hergestellt wird, dass es ein oder einige Öffnungen in den periodischen Öffnungen auf dem Substrat ausspart, wie in der Fig. 24 gezeigt ist, und eine periodische Struktur aus SiO_2/Si auf diesem Substrat ausgebildet wird, wie in der Ausführung 1 beschrieben wurde, wird ein periodizitätsgestörter Bereich linear in der Richtung senkrecht zu dem Substrat ausgebildet. Eine Lichtwelle kann sich entlang solch eines Bereiches ausbreiten, und somit kann er als ein Einlass/Auslass verwendet werden, welcher eine Verbindung zwischen dem besonderen Raum, in welchem Strahlung verboten ist, und dem Raum auf der Außenseite herstellt. Somit ist eine Störung in einer periodischen Struktur nützlich.

[0086] Auf ähnliche Art und Weise arbeitet eine Punktstörung, eine finite Linienstörung oder eine Schleifenstörung in einer dreidimensionalen photonischen Bandlückenstruktur als ein Resonator.

[0087] Die Fig. 25 zeigt eine dreidimensionale photonische Bandlückenstruktur, welche durch das Verfahren der Ausführung 1 hergestellt worden ist, welche die Perioden räumlich leicht in allen drei Axialrichtungen, in der Richtung der Schichtung und innerhalb der Substratebene variiert. Mit Bezug auf Licht, welches eine spezifische Richtung innerhalb der dreidimensionalen photonischen Bandlückenstruktur aufweist, gibt es einen Teil, in welchem seine Periode die Bragg-Cutoff-Bedingung erfüllt, in einer geeigneten Position innerhalb des Raumes, und das Licht kehrt in jenen Bereich zurück. Somit wird eine photonische Bandlückeneigenschaft in einem weiten Bereich der Wellenlänge und in einem weiten Bereich des Raumwinkels garantiert. Selbstverständlich kann dies darauf ausgedehnt werden, dass eine Periode zum Beispiel nur in der z-Richtung moduliert wird, ohne dass sie in den x- und y-Richtungen moduliert wird.

[Ausführung 3]

[0088] Die vorliegende Ausführung bezieht sich auf Herstellungsverfahren für Schaltungselemente in der dreidimensionalen photonischen Bandlückenstruktur, wie zum Beispiel einen Wellenleiter zum Eingeben und Herausnehmen von Licht von außerhalb, einen Resonator zum Auswählen einer Wellenlänge auf der Innenseite, einen Abzweig und ähnliches. Wie oben mit Bezug auf die Fig. 24 beschrieben worden ist, ist es möglich, Licht in der Richtung senkrecht zu der geschichteten Oberfläche einzugeben und herauszunehmen. Die

Fig. 26 stellt ein Verfahren zum Ausbilden eines Schaltelementes aus einem rechtwinkligen Gitter dar. Auf einem Silika-Substrat werden Felder von Öffnungen ausgebildet, wie in der Fig. 27 gezeigt ist. Hier wird entlang der Linie $\Gamma_1\Gamma_4$ ein Versatz der Periode in der x-Richtung auferlegt. Auf dieses Substrat wird Si/SiO_2 laminiert, wobei das Verfahren der Ausführung 1 verwendet wird. Nachdem die Laminierung in einer ausreichenden Anzahl wiederholt worden ist, ergibt sich der Versatz, welcher in der Fig. 26 gezeigt ist, in der Dickenrichtung der Laminierung in der Ebene $\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$. Durch dieses Verfahren ist es möglich, Lichtleistung in der Nachbarschaft der Linie O_1O_2 zu lokalisieren und sie entlang von O_1O_2 zu verbreiten.

[0089] In dieser Struktur findet das folgende statt. Aufgrund des Versatzes in der Ebene $\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$ nimmt das Licht exponential in seiner Amplitude ab, wenn es sich von $\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$ entfernt, nach links oder nach rechts, und somit lokalisiert (konzentriert) sich die Welle entlang von $\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$. Ferner, aufgrund des Versatzes in $\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$ nimmt das Licht exponentiell in seiner Amplitude ab, wenn es sich von $\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$ entfernt, nach oben oder nach unten. Aus beiden Wirkungen lokalisiert (zentriert) sich die Welle entlang von O_1O_2 und ihre Ausbreitung in dieser Richtung wird verursacht.

[0090] Abweichend von der Ausbildung eines Ausbreitungsweges durch Verwenden eines Versatzes der Periodizität ist es möglich, einen Ausbreitungsweg durch Einführen eines Bereiches auszubilden, welcher einen abweichenden Brechungsindex aufweist. Die Fig. 28 zeigt einen yz-Querschnitt der dreidimensionalen periodischen Struktur aus Si/SiO_2 der Fig. 1 bei der Herstellung, in einem Zustand, in welchem SiO_2 laminiert worden ist. Ein Resist zur Lithographie **18** wird auf der Oberfläche zur Verfügung gestellt, und eine Breite AA' von einer Periode oder mehreren Perioden in der y-Richtung ist durch Lithographie entfernt worden. Durch eine Streifenöffnung AA' wird ein Teil des SiO_2 durch Trockenätzen entfernt, oder es wird tiefer entfernt, wie durch die gepunktete Linie gezeigt ist. Dann wird Si durch Sputtern zurück an diesen Ort gefüllt. Nach der Rückkehr zu einer im wesentlichen ursprünglichen Oberfläche wird das Resist zur Lithographie durch die Lift-Off-Technologie entfernt. Durch diese Operation wird die periodische Struktur der ausgesparten und vorstehenden Muster der Oberfläche beibehalten, und auf dieser Oberfläche wird die Filmbildung viele male in der z-Richtung in Übereinstimmung mit der Ausführung 1 fortgesetzt. In dem so beschriebenen Verfahren kann die Operation des Trockenätzens auf dem SiO_2 oder die Operation des Zurückfüllens von Si eingespart werden, sofern dies nicht die Periodizität in der y-Richtung des Querschnittes verletzt. Zudem können in der oben beschriebenen Struktur die Rollen von Si und SiO_2 ausgetauscht werden.

[0091] Verdankend diesem Herstellungsverfahren ist es möglich, eine wellenlängenselektive Resonanz, Verzweigung, Verkupplung und Reflexion von Licht zu realisieren. Weil Strahlung unterdrückt wird, oder weil Richtungen, in welchen die Strahlung stattfindet, in diesen Schaltungen beschränkt werden, wird der Strahlungsverlust vermindert, und es ist möglich, eine Konstruktion zu realisieren, welche in den herkömmlichen optischen Schaltungen aufgrund des übermäßigen Strahlungsverlustes nicht realisiert werden kann. Es ist nämlich möglich, bei einem Beispiel der Fig. 23, wenn die grauen Bereiche die Richtungen abdecken, in welchen eine starke Strahlung aus einer in Rede stehenden Schaltung produziert wird, Strahlungsverlust zu vermeiden.

[0092] Entsprechende Schaltungen werden in dem Nachfolgenden gezeigt, als transparente Ansichten, gesehen von einer oberen Oberfläche aus.

[0093] In der Fig. 29 wird Licht ausgehend von einem zuführenden Wellenleiter A in B und C verzweigt/aufgeteilt.

[0094] Die Fig. 30 stellt drei Typen von Resonatoren dar. In der Nachbarschaft der Wellenlänge, welche die Bedingung für die Lichtwelle erfüllt, um eine stehende Welle in dem Resonator B auszubilden, wird die Lichtwelle von A nach C übertragen. In anderen Fällen wird die Welle reflektiert. Der Resonator E ist nur mit D verkoppelt. In einem anderen als dem Resonanzzustand wird die Welle, welche durch D eingetreten ist, insgesamt reflektiert, mit Ausnahme eines internen Verlustanteils. Unter der Resonanzbedingung nimmt beides, die intern gespeicherte Energie und der Verlust (Materialverlust und, wenn er zurück bleibt, ein kleiner Strahlungsverlust) zu, und entsprechend nimmt der Reflektionskoeffezient ab. Wenn in dem ringförmigen Resonator G die Lichtwellenlänge gerade die Bedingung der stehenden Welle erfüllt, wird eine Übertragung von F zu H realisiert.

[0095] In der Fig. 31 nähern sich die Wellenleiter AB und CD in einem beschränkten Bereich zueinander an, und beide Wellen, welche exponentiell in der Querrichtung abnehmen, überlappen einander, um ein Geben und Nehmen von Leistung zu realisieren, das heißt eine Kopplung zwischen diesen beiden Wellenleitern.

[0096] Die Fig. 32 zeigt eine Schaltung, in welcher ein schmaler Teil zwischen A und B angeordnet ist, um eine teilweise reflektierende Welle zu erzeugen, und eine Schaltung, in welcher kurze Stummeln zwischen C

und D vorgesehen sind, um eine teilweise reflektierte Welle zu erzeugen.

[0097] Ferner wird, um einen Bereich mit einem abweichenden Brechungsindex auszubilden, eine Maske durch Lithographie ausgebildet, ähnlich zu der Fig. 28, und danach kann eine Ionenimplantation verwendet werden. Somit ist es möglich, einen Wellenleiter, einen Resonator, eine Verzweigung, eine Kopplung, einen Reflektor oder ähnliches auszubilden.

[0098] Bezugnehmend auf die Fig. 33 wird ein Effekt veranschaulicht und beschrieben werden, dass eine Verbindung von optischen Schaltungen epochal (epochally free) in ihrer Struktur (PBS, photonische Bandlückenstruktur) frei wird, in welcher Strahlung unterdrückt wird. Licht, welches von links durch einen Wellenleiter IN (EIN) ankommt, folgt Wegen, die in einen oberen und unteren Teil getrennt sind. Das Licht, das durch den unteren Zweig hindurchtritt, wird durch einen Resonator R2 übertragen oder an R2 reflektiert. Die übertragene Welle schreitet zu einem Koppler C fort. Die Komponente, welche durch den oberen Zweig tritt, verhält sich ähnlich, und die übertragene Komponente schreitet zu dem Koppler C fort und wird mit einem Wellenleiter gekoppelt, der parallel verläuft. Die kombinierte Signalwelle wird teilweise durch einen Reflektor REF reflektiert und schreitet teilweise zu einem Ausgangsanschluss OUT (AUS) voran.

[0099] Es ist praktisch unmöglich, solche beschriebene Operationen in einer herkömmlichen optisch integrierten Schaltung auszuführen, aufgrund des übermäßigen Strahlungsverlustes. Innerhalb der PBS können jedoch jene Operationen ähnlich zu den Verbindungen von elektrischen Schaltungen ausgeführt werden, und der Freiheitsgrad für das optische Schaltungsdesign nimmt epochal zu.

[0100] Durch Kombinieren eines Wellenleiters parallel zu der Ebene, was in der Fig. 34 gezeigt ist, und eines Wellenleiters senkrecht zu der Ebene, was in der Fig. 35 gezeigt ist, ist es möglich, eine dreidimensionale optische Schaltung aufzubauen, von welcher ein Beispiel in der Fig. 36 gezeigt ist. Die herkömmliche optische Schaltungstechnik realisiert eine optische Schaltung höchstens innerhalb von einer Ebene. Somit kann die vorliegende Technik den Freiheitsgrad für das optische Schaltungsdesign/die optische Schaltungsherstellung auf ein buchstäblich neues Niveau heben.

[Ausführung 4]

[0101] Im nachfolgenden wird ein Verfahren zum wahlweisen Einführen von Funktionsmaterial in ausgesparte Bereiche und vorstehende Bereiche einer zweidimensionalen ausgesparten oder vorstehenden periodischen Struktur auf einer Oberfläche beschrieben werden. Es wird gezeigt werden, dass bei beidem, der Laminierung und beim Ätzen, die Effekte existieren, dass ein Bereich der Spitze und ein Talbereich jeweils viel mehr laminiert und geätzt werden. Die Fig. 37 zeigt einen Zustand, dass ein Teilchen eines Quellenmaterials (Source-Materials) auf ein Substrat auftrifft, welches ausgesparte und vorstehende Muster aufweist. Das Phänomen, dass Teilchen, die auf dem Substrat ankommen, nicht anhaften sondern zurückprallen werden, um wiederum an dem Substrat anzukommen und an diesem anzuhaften, tritt häufiger auf den ausgesparten Bereichen aus. Das Phänomen, dass die Teilchen aus dem Quellenmaterial zurückprallen werden weist nämlich die Wirkung auf, dass sie wahlweise mehr auf den ausgesparten Bereichen abgeschieden werden. Ferner gelangen die ausgesparten Bereiche in den Schatten der vorspringenden Bereiche, welche einfallende Teilchen abblocken, und somit weist dies einen Effekt auf, dass die Ablagerung auf den ausgesparten Bereichen kleiner als auf den vorspringenden Bereichen ausfällt. Auf der anderen Seite, aufgrund der thermischen Energie können angehaftete Teilchen sich auf der und über der Oberfläche des Substrates bewegen. Dies wird als Migration bezeichnet. Bei der Migration tritt eine solche Bewegung auf, dass die Teilchen sozusagen aus Bereichen mit höherer Durchschnittstemperatur in Bereichen mit niedrigerer Durchschnittstemperatur angesammelt werden. Auf dem Substrat weisen die ausgesparten Bereiche gewöhnlich eine höhere Temperatur als die vorstehenden Bereiche auf, und dementsprechend tritt dort eine Bewegung aus den ausgesparten Bereichen zu den vorspringenden Bereichen auf. Ähnlich gibt es beim Sputter-Ätzen einen Mechanismus, dass die ausgesparten Bereiche stärker geätzt werden, und umgekehrt, einen Mechanismus, dass die vorstehenden Bereiche stärker geätzt werden. Es gibt nämlich auch beim Sputter-Ätzen durch gasförmige Ionen zurückprallende Ionen, welche die ausgesparten Bereiche stärker als die vorstehenden Bereiche erodieren. Auf der anderen Seite, wie oben mit Bezug auf die Fig. 8 beschrieben worden ist, wird ein geneigter Bereich tiefer geätzt als eine horizontale Ebene. Somit, wenn eine Oberfläche eine Form der Fig. 38 aufweist, werden die Talbereiche stärker geätzt, und wenn eine Oberfläche eine Form der Fig. 39 aufweist, werden die Bereiche der Spitzen stärker geätzt.

[0102] Um das obige zusammenzufassen, ist es durch geeignetes Auswählen verschiedener Bedingungen, wie zum Beispiel der Filmformungsbedingung, der Sputter-Ätz-Bedingung, dem schattierenden Effekt, der

Leichtigkeit der Bewegung von Oberflächenteilchen, der Oberflächenform und ähnlichem möglich, bei der Abscheidung einen Film derart auszubilden, dass die Bereiche der Spitzen dicker ausgeführt werden oder die Talbereiche dicker ausgeführt werden, und beim Ätzen ist es möglich, die Bereiche der Spitzen tiefer zu entfernen oder die Talbereiche tiefer zu entfernen.

[0103] Die vorliegende Erfindung weist wenigstens ein weiteres Verfahren der Bildung von Mustern auf. Funktionsmaterial kann dazu gebracht werden, dass es auf ebenen Bereichen der Spitzen oder Täler und nicht auf den geneigten Bereichen abgeschieden wird. Ein Gastmaterial wird nämlich auf einer Oberfläche abgeschieden, welche ausgesparte und vorstehende Muster aufweist, um eine im wesentlichen gleichförmige Dicke aufzuweisen, und im Anschluss daran, durch Verwenden von Sputter-Ätzen, können die ebenen Bereiche weniger tief geätzt werden und die geneigten Bereiche tiefer, so dass das Gastmaterial nicht auf den geneigten Bereichen verbleibt, während es auf Berggipfeln und Talböden verbleibt, das heißt an den ebenen Bereichen.

[0104] Die Fig. 40 dient zum Erläutern eines dreidimensionalen Tunnelübergangs Metall-Isolator-Metall (MIM) und seines Herstellungsverfahrens. Ähnlich zu der Ausführung 1 wird ein ausgespartes oder vorspringendes Muster auf einem Substrat **3** (Quarzglas) ausgebildet, und dann werden Bereiche aus Metall **21** (zum Beispiel Aluminium) auf seinen ausgesparten Bereichen ausgebildet. Sauerstoff wird temporär eingeleitet, um die Oberfläche von **21** zu oxidieren, und ferner werden Bereiche aus Metall **22** auf den vorstehenden Bereichen ausgebildet. Es ist jedoch möglich, dass Al nur verwendet wird, um einen isolierenden Film (Alumina) auszuführen, und Metalle **21**, **22** aus Pt, W, Ti oder ähnlichem ausgewählt werden. Dann wird über die prozessierte Oberfläche ein ausgespartes oder vorspringendes Muster aus SiO_2 ausgebildet, und durch nachfolgendes Wiederholen dieser Prozesse ist es möglich, ein hochdichtes dreidimensionales Feld von Tunnelübergängen Metall-Isolator-Metall auszubilden. Somit ist es möglich, eine hocheffiziente Miniatureinrichtung als einen Detektor von Mikrowellen (umfassend eine Millimeterwelle und eine Submillimeterwelle) zu realisieren. Selbstverständlich kann in der Fig. 40 das Muster auf der xy-Ebene in ein lineares oder parallelstangenartiges Muster modifiziert werden, durch Verlängern von diesem in der y-Richtung, um die gesamte Struktur zu einem zweidimensionalen Muster zu machen.

[0105] Ferner ist es mit Bezug auf den MIM-Tunnelübergang, mit Ausnahme des Verfahrens zum Ausbilden von Übergängen in Übereinstimmung mit jeweiligen Perioden in der Querrichtung (Fig. 41) ebenso möglich, ein Laminierungsverfahren zu verwenden, wie es in der Fig. 42 gezeigt wird, oder ein Verfahren des Verwendens von Inselfilmen, wie in den Fig. 43, Fig. 44 gezeigt ist, um einen Tunnelstromfluss herzustellen. In den Fällen der Fig. 41 und Fig. 42, wenn der Metallfilm dick ist, dringt Licht nicht in der Laminierungsrichtung (z-Richtung) durch, was eine Art des Kombinierens desselben mit PBS beschränkt. Zum Beispiel ist es möglich, Verfahren des Verwendens der Formen, die in den Fig. 45, Fig. 46 und Fig. 47 gezeigt sind (in den Figuren ist FU (funktionale Einheit) ein Komplex der MIM-Tunnelstruktur), zu verwenden, oder ein Verfahren, in welchem die Laminierung gebildet wird und Licht in der Richtung parallel zu der Oberfläche verbreitet wird. Wenn die Filmdicke dünn ist, existiert diese Art von Beschränkung nicht. Ferner, als ein Anwendungsverfahren von MIM, können Anwendungen zum Schalten, Erfassen/Mischen und ähnlichem, die die nicht lineare I-V-Charakteristiken verwenden, und Anwendungen, die Lichtemission (Plasmon-Emission) verwenden, verursacht durch Grenzinjektion (Carrier Injection) verwendet werden. In dem Fall, dass eine elektrische Funktion, wie zum Beispiel Schalten durch elektrische Eigenschaften, wie zum Beispiel nicht lineare I-V-Charakteristiken oder ähnliches, verwendet wird, kann ein lichtundurchlässiges Grundmaterial (Host-Material) verwendet werden.

[Ausführung 5]

[0106] In einer dreidimensionalen periodischen Struktur, welche aus zwei oder mehr Arten von Materialien besteht, kann leitendes Material, wie zum Beispiel SiC oder Si, als ein Baumaterial/Konstruktionsmaterial verwendet werden. Zum Beispiel kann ein optischer Empfänger mit heterogenem Übergang (heterojunction) in dieser Struktur ausgebildet werden. Somit ist es möglich, eine Einrichtung herzustellen, welche eine Eigenschaft aufweist, die aus der Vereinheitlichung eines elektronischen Elementes und eines optischen Elementes erzielt wird, wobei der Effekt der photonischen Bandlücke (PBG: photonic bandgap) verwendet wird.

[0107] Im folgenden wird eine detailliertere Beschreibung ausgeführt. In Vorbereitung hierfür werden Verfahren zum Einführen von Funktionsmaterial (was als F bezeichnet wird) oder einer Funktionseinheit (FU) in eine photonische Bandlückenstruktur (PBS) in die folgenden drei Typen klassifiziert.

(a) Verfahren, in welchen eine FU in eine Form (einen Bereich) eingeführt wird, der durch eine PBS-Struktur umschlossen wird (Fig. 45, Fig. 46 und Fig. 47).

(b) Verfahren, bei welchen F dadurch verwendet wird, dass es in einen Teil des Materials (SiO_2 oder a-Si) eingefügt wird, welches periodisch verwendet wird, um die PBS auszubilden (Fig. 48).

(c) Verfahren, bei welchen Funktionsmaterial eines der Materialien ausbildet, welche periodisch verwendet werden, um die PBS auszubilden (Fig. 48).

[0108] In Abhängigkeit davon, welches der obigen Verfahren verwendet wird, wird der Aufbau, wie zum Beispiel die Halbleiter- oder die Metallstruktur, geändert.

[0109] In den Beispielen, welche unten gezeigt sind, werden verschiedene Beispiele von Typen (a), (b) und (c) beschrieben. In diesen Fällen gibt es wenigstens vier Typen von Verfahren zum Anordnen von zwei Materialien A und B, welche die PBS ausbilden, wie in dem nachfolgenden gezeigt ist.

Tabelle 1

	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Material A	Halbleiter A	Verbundfilm aus zwei Arten von Halbleitern A_1 und A_2	Halbleiter A	Verbundfilm aus A_1 und A_2
Material B	Halbleiter B	Halbleier B	Verbundfilm aus Isolationsfilmes und des Halbleiters B	Isolationsfilm

[0110] Wenn all die Materialien, welche die PBS ausbilden, Halbleiter sind, wie zum Beispiel Si und SiC, werden Unterschiede in den Brechungsindizes klein, und dementsprechend wird es schwierig, Cutoff-Bänder (Grenzbänder) oder eine Cutoff-Charakteristik (Grenzcharakteristik) für einen bestimmten Wellenlängenbereich in all den Richtungen beizubehalten. Entlang der Richtung der Hauptachse wird jedoch eine Bandlücke (Bandgap) beibehalten. Bei diesem Strukturtyp wird eine Leitfähigkeit in der Richtung der Laminierung erzielt, und dementsprechend können verschiedene neue Funktionen realisiert werden. Zum Beispiel durch Dotieren der jeweiligen Schichten, so dass sie ein p-Typ und ein n-Typ sind, werden mehrere oder ein Paar von einer p-n-Struktur erzielt, welche eine gleichrichtende Eigenschaft zur Verfügung stellt. In einem Zustand, dass eine Sperrvorspannung (Reverse Bias) aufgebracht wird, kann sie als ein Pin-Detektor verwendet werden, und ein Übergang (Junction), auf den eine Durchlassspannung (Forward Bias) aufgebracht wird, kann als ein lichtemittierendes Element verwendet werden. Wenn einer oder beide von den Halbleitern A und B, welche die PBS ausbilden, als eine Struktur mit mehreren Schichten aus Dünstfilmen (Superthin-Filmen) ausgebildet werden, ist es möglich, eine Quantenschacht- oder Doppelgrenzstruktur (Quantum Well oder Double-Barrier-Struktur) aufzubauen (Typ 2). In diesem Fall treten (1) negative Widerstandscharakteristiken auf, welche den Resonanztunneleffekt (Resonant Tunneling Effect) begleiten; (2) Emission oder Absorption oder ein Effekt des Modulierens des Brechungsindexes, welcher die Injektion von zweidimensionalen Elektronen/Löchern begleitet, in dem Fall eines Durchlassspannungsquantumschachts (Forward Bias Quantum Well); und (3) ein Stark-Effekt, welcher sich in einem Sperrvorspannungsquantumschacht (Reverse Bias Quantum Well) zeigt (ein Effekt, dass sich der Absorptionskoeffizient und der Brechungsindex in Übereinstimmung mit dem elektrischen Feld ändern).

[0111] Bei einer Struktur, welche Isolationsfilme verwendet, (wie zum Beispiel der Typ 3 und der Typ 4) ist es zudem für den elektrischen Strom schwierig, in der Laminierungsrichtung zu strömen. Es treten jedoch optische Eigenschaften auf, wie zum Beispiel der Effekt durch den Quantenschachtdünnfilm (Quantum Well Thin Film) und die Injektionsemission (Injection Emission) von ultrafeinen Siliziumteilchen, die in den Isolationsfilmen verteilt sind.

[Ausführung 6]

[0112] Die vorliegende Ausführung beschreibt eine Struktur, welche einen Werkstoff umfasst, der eine nicht lineare optische Empfindlichkeit (Suszeptibilität) oder nicht lineares Material aufweist, das in einer dreidimensionalen periodischen Art und Weise innerhalb eines Mediums angeordnet ist, ihr Herstellungsverfahren und ihre Wirkung. Das genannte Medium kann die periodische Struktur aufweisen, die in der Ausführung 2 beschrieben worden ist.

[0113] Um die Art und Weise der Beschreibung zu klären, wird die herkömmliche Technik umrissen. Es ist bekannt, dass kleine Teilchen aus Cu, Au, Ag oder ähnlichem eine nicht lineare Empfindlichkeit aufweisen, und somit kann Licht höherer Harmonischer dadurch erzeugt werden, dass ein Laserstrahl auf solche kleinen Teil-

chen, die auf einem Glasssubstrat ausgebildet sind, gestrahlt wird. In dem Fall werden die höheren Harmonischen aus den kleinen Teilchen erzeugt, welche zufällig und im Durchschnitt gleichförmig im Raum existieren, und dementsprechend ist es unmöglich, sie derart auszuführen, dass sie eine konstante Phasenrelation gegenüber dem Grundlaserstrahl aufweisen.

[0114] Wie in der Ausführung 1 beschrieben worden ist, wird auf einem Silica-Substrat ein periodisch ausgespartes und vorstehendes Muster ausgebildet, und dann werden SiO_2-Filme auf diesem Substrat abgeschieden, wobei wenigstens ein Teil von diesem ein Sputter-Ätz-Verfahren umfasst. Wenn ein Film aus Cu, Au, Ag oder ähnlichem auf diesem Substrat abgeschieden wird und mit Wärme behandelt wird, werden größere Mengen auf den ausgesparten Bereichen als auf den vorspringenden Bereichen abgeschieden, aufgrund des Abprallens zur Zeit der Abscheidung. Durch Verwenden des Effekts der Oberflächenmigration von Teilchen, welcher durch die Temperatur zur Zeit der Filmbildung und die Energie des Ionenbeschusses begründet ist, ist es jedoch ebenso möglich, eine viel stärkere Laminierung an den vorstehenden Bereichen zu erzielen. Aus diesen Effekten wird eine zweidimensional periodische Form erzeugt.

[0115] (1) Auf einem derart behandelten Substrat wird ein SiO_2-Film ausgebildet, und diese Prozesse werden nachfolgend wiederholt. Entsprechend dieses Verfahrens wird ein Material, welches eine nicht lineare Suszeptibilität aufweist, auf eine dreidimensionale periodische Art und Weise innerhalb des Mediums aus homogenem SiO_2 angeordnet. Dementsprechend wird, wenn höhere Harmonische durch das oben beschriebene Verfahren erzeugt werden, eine konstante Phasendifferenz zwischen Feldelementen erzeugt, und als ein Ergebnis ihrer Interferenz ist es möglich, die höheren Harmonischen in einer spezifischen Richtung im Raum effizient auszustrahlen. (2) Auf der derart erzielten Struktur wird ein Si-Film ausgebildet, und dann (nach dem Ausbilden eines Filmes aus Cu, Au, Ag oder ähnlichem oder unmittelbar, ohne solch einen Film auszubilden) wird ein SiO_2-Film auf diesem ausgebildet, wobei diese Prozesse nachfolgend wiederholt werden. Entsprechend diesem Verfahren wird zusätzlich zu dem Effekt des Verfahrens aus (1) der Effekt erzielt, dass die Anzahl von Richtungen, in welchen die Strahlung von höheren Harmonischen erzeugt wird, zu einer einzigen oder beschränkter als in (1) ausgeführt werden kann.

[0116] Nicht nur kleine Metallteilchen sondern auch Niobat- und Tantalat-Werkstoffe, wie zum Beispiel $LiNbO_3$, $LiTaO_3$, $KNbO_3$ und ähnliches, weisen nicht lineare optische Effekte auf und können durch Sputtern oder ähnliches als Dünnfilm hergestellt werden. Somit ist es möglich, solch einen Film in einer dreidimensionalen periodischen Struktur durch das obige Verfahren aus (1) oder (2) auszubilden, um in der Lage zu sein, ihre nicht linearen Eigenschaften zu nutzen.

[0117] Oder, wie in der Fig. 49 im Querschnitt gezeigt ist, können $LiNbO_3$ (oder $LiTaO_3$, $KNbO_3$ oder ähnliches) dünn auf SiO_2 gesputtert werden, welches ein Muster mit Aussparungen und Vorsprüngen aufweist, und dann werden nur die geneigten Bereiche durch Sputter-Ätzen entfernt, um die Bereiche der Spitzen und die Talbereiche beizubehalten. Durch Wiederholen dieser Prozesse ist es ebenso möglich, eine dreidimensionale periodische Struktur zu erzielen.

[Ausführung 7]

[0118] Wie unter (1) der Ausführung 6 beschrieben worden ist, ist es möglich, ein zweites mikroskopisches transparentes Gastmaterial (Guest) in einen homogenen ersten transparenten Wirt (Host) einzuführen, um eine dreidimensionale periodische Struktur zu erzielen. Diese kann als ein dreidimensionales Beugungsgitter des Transmissionstyps oder des Reflektionstyps verwendet werden. Weil die Gäste dreidimensional verteilt sind, können größere Beugungsquerschnitte erzielt werden, im Vergleich zu einer einfallenden Welle, was zu einer hohen Beugungseffizienz führt. Wenn dies notwendig ist, können die ausgesparten oder vorstehenden Muster auf der Oberfläche durch Bias-Sputtern geebnet werden.

[Ausführung 8]

[0119] Die Fig. 50 stellt eine dreidimensionale periodische Struktur und ihr Herstellungsverfahren dar, welche ein Material umfasst, das lichtemittierende/optisch verstärkende Funktionen aufweist. Wie bei der Ausführung 1 wird ein Muster mit Aussparungen und Vorsprüngen auf einem Silica-Substrat ausgebildet, und auf diesem wird ein SiO_2-Bereich ausgebildet, welcher aktive Elemente Er umfasst. Auf diesem wird ein Si-Bereich ausgebildet. Auf diesem wird ein ausgespartes oder vorstehendes Muster aus SiO_2 ausgebildet, und diese Prozesse werden nachfolgend wiederholt, um eine dreidimensionale periodische Struktur auszubilden, umfassend das Material, welches die lichtemittierenden/optische verstärkende Funktionen aufweist.

[0120] Dieses System kann Licht im Wellenlängenbereich von 1,5 μm durch optisches Pumpen emittieren/verstärken. Der Bragg-Effekt (Bragg-Cutoft-Effekt) vermindert scharf eine Rate, mit welcher angeregte Er-Ionen Energie verlieren, aufgrund einer spontanen Emission, was somit zu dem Effekt führt, dass die Wirkungsgrade der Lichterzeugung/-verstärkung zunehmen. Hierbei ist es möglich, Y, Nd oder ähnliches in das SiO_2 zu dotieren. Abgesehen von seltenen Erden ist es möglich, lichterzeugende/-verstärkende Funktionen durch Einführen von Mikrokristallen eines Halbleiters, wie zum Beispiel CdS, in eine zweidimensionale ausgesparte oder vorstehende Schnittstelle bei einer Filmbildung zu realisieren, ähnlich zu der Ausführung 6.

[0121] Wie in der Fig. 51 gezeigt ist, wird auf einer ausgesparten oder vorstehenden Oberfläche des Materials **20** (SiO_2) ein Dünstfilm (Superthin-Film) ausgebildet, der aus Mikrokristallen aus CdS, CdTe oder ähnlichem besteht. Dann werden nur die geneigten Bereiche durch Sputter-Ätzen entfernt, um die Bereiche der Spitzen und Täler beizubehalten, und auf der derart prozessierten Oberfläche wird das Material **19** (Si) abgeschieden. Durch Wiederholen dieser Prozesse ist es möglich, feine Kristallgruppen, wie zum Beispiel CdS oder CdTe, innerhalb der PBS auszubilden, die aus SiO_2 und Si besteht, auf eine dreidimensionale periodische Art und Weise. Licht kann durch Anregen von CdS, CdTe oder ähnlichem ausgestrahlt werden, und weil es keine spontane Rekombinationsstrahlung in solchen Richtungen gibt, wird diese Strahlung in der PBS abgeschnitten, wobei der Verwendungswirkungsgrad der Moleküle im angeregten Zustand hoch ist.

[Ausführung 9]

[0122] Die vorliegende Ausführung beschreibt eine Struktur, in welcher Material, das einen elektrooptischen Effekt aufweist, innerhalb einer dreidimensionalen periodischen Struktur angeordnet wird, ein Beispiel ihres Herstellungsverfahrens und ihrer Arbeitsweise und Wirkungen.

[0123] Ein Muster mit periodischen Aussparungen und Vorsprüngen wird auf einem Silica-Substrat ausgebildet, wie in der Ausführung 1 beschrieben worden ist. Filme aus SiO_2 und Si werden nacheinander ausgebildet (umfassend Sputter-Ätz-Prozesse). Das Si ist nicht dotiert. Dann werden eine oder mehrere Perioden aus SiO_2/Si-Filmen als eine Elektrode ausgebildet. Hierbei wird als Si der n-Typ (oder n^+) oder der p-Typ (oder p^+) verwendet. Dadurch ist es möglich, eine leitende Schicht auszubilden, welche die PBS-Charakteristik beibehält.

[0124] Durch Einführen von Flüssigkristallmaterial auf die Innenseite der PBS und durch Anlegen einer Spannung durch die beschriebene Elektrode ist es möglich, die Ausrichtung des Flüssigkristalls derart zu steuern, dass die Doppelbrechung und der Brechungsindex gesteuert wird. Somit kann ein variabler Wellenlängenresonator ausgebildet werden.

[Ausführung 10]

[0125] Durch Einbauen eines lichtemittierenden Elementes, wie zum Beispiel einen Halbleiter-Laser, in eine dreidimensionale periodische Struktur ist es möglich, eine Strahlung von spontanemittiertem Licht zu unterdrücken, welche ursprünglich in dem lichtemittierenden Element existiert. Dies macht den elektrischen Grenzstrom sehr klein.

[0126] Die Fig. 52 zeigt eine Struktur, in welcher ein oberflächenemittierender Laser oder ein Mikroholraumlaser innerhalb einer dreidimensionalen PBS produziert wird. Mit Ausnahme des Koppelns des in Rede stehenden Lasers mit einem Ausgabewellenleiter wird eine spontane Rekombinationsstrahlung in anderen Richtungen beachtlich unterdrückt. Somit wird vorteilhaft der Betriebsgrenzwert (operation threshold) des Lasers vermindert.

[0127] Die Fig. 53 zeigt ferner ein Verfahren des Integrierens einer dreidimensionalen PBS und eines Lasers in einer in Rede stehenden Struktur. Auf einem Verbundhalbleitersubstrat (zum Beispiel InP oder GaAs) wird ein zweidimensionales ausgespartes oder vorstehendes Muster ausgebildet. Auf diesem Substrat wird eine dreidimensionale PBS ausgebildet, wie zum Beispiel SiO_2/a-Si, durch das Verfahren der Ausführungen 1, 2, und dann wird eine Öffnung, welche bis zu dem Substrat reicht, durch Trockenätzen ausgebildet. Auf ihrer Oberfläche wird ein Halbleiterlaser durch epitaxialen Wachstum produziert. In dieser Struktur wird unnötige Strahlung in der Querrichtung verboten oder unterdrückt, und dementsprechend wird der Laserbetriebsgrenzwert vorteilhaft vermindert. In den Fig. 52 und Fig. 53 können eine Elektrode und ein Anschluss getrennt vorgesehen sein, oder das Si innerhalb der PBS kann derart dotiert werden, dass es eine elektrisch leitende Eigenschaft aufweist und somit als eine Elektrode und ein Anschluss dient.

[Ausführung 11]

[0128] Ferner kann die PBS wie folgt bei einem programmierbaren Laser angewendet werden. Wie in anderen Teilen (Ausführung 2 und der Fig. 23) beschrieben worden ist, wird in dem Fall eines komplexen Elementes, in welchem ein elektrisch erregbarer pn-Übergang oder ein optisch erregbarer Farbstoff innerhalb einer PBS-Struktur zur Verfügung gestellt wird, welche nur einen spezifischen Modus erlaubt, nur ein Emissionsprozess, der mit dem erlaubten Modus zu tun hat, erlaubt, und anderes spontan emittiertes Licht wird nur entlang von spezifischen Richtungen ausgestrahlt. In solch einer PBS kann, wenn ein Material, das einen elektrooptischen Effekt aufweist, als ihre Komponente verwendet wird, ihre Filtereigenschaft durch eine externe Spannung gesteuert werden, und somit kann ein Spektrum oder Emissionsrichtung von einem lichtemittierenden Element elektrisch programmiert werden.

[Ausführung 12]

[0129] Durch Einbauen eines Photodetektors, wie zum Beispiel eine Photodiode, in eine dreidimensionale periodische Struktur, die eine PBS-Charakteristik aufweist, welcher mit der Außenseite durch einen Wellenleiter verbunden ist, kann eine Strahlung in den Photodetektor von der Außenseite, das heißt das Einführen von Rauschen, unterdrückt werden, was zu der Reduzierung von Eingangsrauschen und zur Verbesserung der Aufnahmeempfindlichkeit beiträgt. Basierend auf dem Verschwinden oder der Reduzierung von Strahlungsraumwinkeln verschwindet ferner der Freiheitsgrad der Nulldurchgangfluktuation oder nimmt ab, was das Rauschen weiter reduziert.

[0130] Zudem kann ein programmierbarer Photodetektor wie folgt realisiert werden. Wenn ein p-n-Übergang oder ein photoleitender Photodetektor, welcher eine Sensitivität für einen spezifischen Wellenlängenbereich aufweist, auf die Innenseite einer komplexen PBS-Struktur eingebaut wird, wird ein Zustand realisiert, dass Signallicht und Hintergrundlicht von der Außenseite nicht an dem photosensitiven Teil ankommen. Wenn die PBS, welche leicht gegenüber diesem Zustand abgewichen ist, verwendet wird, kommt nur Licht einer spezifischen Wellenlänge an dem Photoerfassungsteil aus einer spezifischen Richtung an. Dementsprechend kann dieses komplexe Element in einem komplexen Element verwendet werden, dass eine starke Selektivität für die Wellenlänge und die Richtung (Wellenzahl) des einfallenden Lichtes aufweist. Durch Verwenden von zum Beispiel einem Material, welches einen elektrooptischen Effekt aufweist, als eine Komponente der PBS, kann die PBS in ihren Filtereigenschaften dadurch variiert werden, dass eine externe Spannung angelegt wird. Somit ist es möglich, eine Ansprechcharakteristik des Photodetektors elektrisch zu programmieren.

[Ausführung 13]

[0131] Durch periodisches Laminieren von zwei oder mehr Arten aus transparenten Materialien, welche gemeinsame periodisch ausgesparte oder vorstehende Bereiche aufweisen, auf einem Substrat, welches zweidimensionale periodische ausgesparte oder vorstehende Bereiche aufweist, wobei senkrechte x- und y-Achsen Symmetrieachsen sind, wie in der Fig. 18 gezeigt ist, arbeitet diese dreidimensionale Struktur als ein zweiachsiges, anisotropes, künstliches Medium, welches einen effektiven optischen dielektrischen Tensor aufweist:

$$\bar{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

in einem allgemeinen Wellenlängenbereich mit Ausnahme eines Cutoff-Frequenzbereichs (Grenzfrequenzbereichs). Gemäß einer geeigneten Ausführung kann ein Medium, das innerhalb eines bestimmten Bereiches konstant ist, kontinuierlich realisiert werden, abweichend von einem natürlichen Material. Zudem weist es eine Eigenschaft auf, dass eine sehr große Anisotrophie realisiert werden kann, aufgrund der starken Dispersion, die in der Nachbarschaft des Cutoff-Bereichs (Grenzbereichs) auftritt.

Gewerbliche Anwendbarkeit

[0132] Wie oben beschrieben worden ist, ist es gemäß einem Verfahren der Ansprüche 1, 2 oder 3 möglich, eine extrem feine dreidimensionale periodische Struktur industriell dadurch herzustellen, dass die Formungseffekte der Technik effektiv verwendet werden, welche Sputterätzen durch sie selbst oder gleichzeitig mit einer Filmbildung verwendet. Somit ist es möglich, einen photonischen Bandlückeneffekt zu realisieren.

[0133] Durch Entwickeln der oben genannten Technik ist es zudem möglich, Material mit einer nicht linearen optischen Empfindlichkeit, ein elektrooptisches Material, transparentes Material, ein leitendes Material oder ähnliches, innerhalb der dreidimensionalen periodischen Struktur periodisch zur Verfügung zu stellen. Somit kann eine große Vielfalt von elektronischen Funktionen und optischen Funktionen realisiert werden.

[0134] Mit einem Herstellungsverfahren gemäß der Erfindung ist es möglich, lichtemittierendes oder lichtverstärkendes Material periodisch innerhalb einer dreidimensionalen periodischen Struktur zur Verfügung zu stellen, und ein hocheffizientes optisch aktives Element kann realisiert werden.

[0135] Ferner ist es möglich, Funktionsteile, wie zum Beispiel einen Wellenleiter, Resonator, eine Zweigstelle, einen Koppler, einen Reflektor, einen optischen Detektor oder ähnliches, innerhalb einer dreidimensionalen periodischen Struktur zu integrieren, in welcher wenigstens zwei Filmarten von transparentem Material, welche ein periodisch ausgespartes und vorstehendes Muster aufweisen, nacheinander nahezu periodisch laminiert werden, das heißt innerhalb eines künstlichen Mediums, welches Cutoff-Charakteristiken (Grenzcharakteristiken) für einen bestimmten Wellenlängenbereich von Licht aufweist. Somit ist es möglich, den Vorteil der Nichtstrahlungscharakteristik effektiv zu verwenden.

[0136] Es ist daher möglich, einen Halbleiterlaser innerhalb einer dreidimensionalen periodischen Struktur zur Verfügung zu stellen, und somit kann eine hocheffiziente Laseraktion ohne den Verlust von spontan emittiertem Licht realisiert werden.

[0137] Zudem ist es möglich, eine Struktur zu realisieren, in welcher auf einem Substrat, welches zweidimensionale periodisch ausgesparte und vorstehende Muster aufweist, mit Symmetrieachsen aus senkrechten x- und y-Achsen auf dem Substrat, wenigstens zwei Filmarten von transparenten Materialien, welche gemeinsam periodisch ausgesparte vorstehende Muster aufweisen, nacheinander und periodisch laminiert werden. Dementsprechend ist es möglich, eine optisch zweiachsige Anisotropie zu realisieren, welche durch einen diagonalen dielektrischen Tensor mit jeglichen Werten ausgedrückt wird.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum Herstellen einer dreidimensionalen periodischen Struktur durch Ausbilden von Schichten mit wenigstens zwei Arten von Materialien nacheinander und periodisch auf einem Substrat, welches einen zweidimensionalen periodisch ausgesparten oder vorstehenden Bereich aufweist, und durch Verwenden von Sputterätzen getrennt von einer Filmabscheidung oder gleichzeitig mit einer Filmabscheidung, wenigstens in einem Teil der genannten Struktur, wobei das Muster des ausgesparten oder hervorstehenden Bereichs beibehalten wird.

2. Das Verfahren aus Anspruch 1, wobei die genannte Abscheidung ferner dadurch gekennzeichnet ist, dass die Filmabscheidung durch den diffusiven Einfall von Teilchen erfolgt.

3. Das Verfahren aus Anspruch 1 oder 2, wobei eine Periode der genannten Struktur ferner wenigstens zwei Arten von Schichten umfasst, umfassend eine Schicht, die hauptsächlich SiO_2 umfasst, und eine Schicht, die hauptsächlich Si umfasst.

Es folgen 29 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

F i g. 1

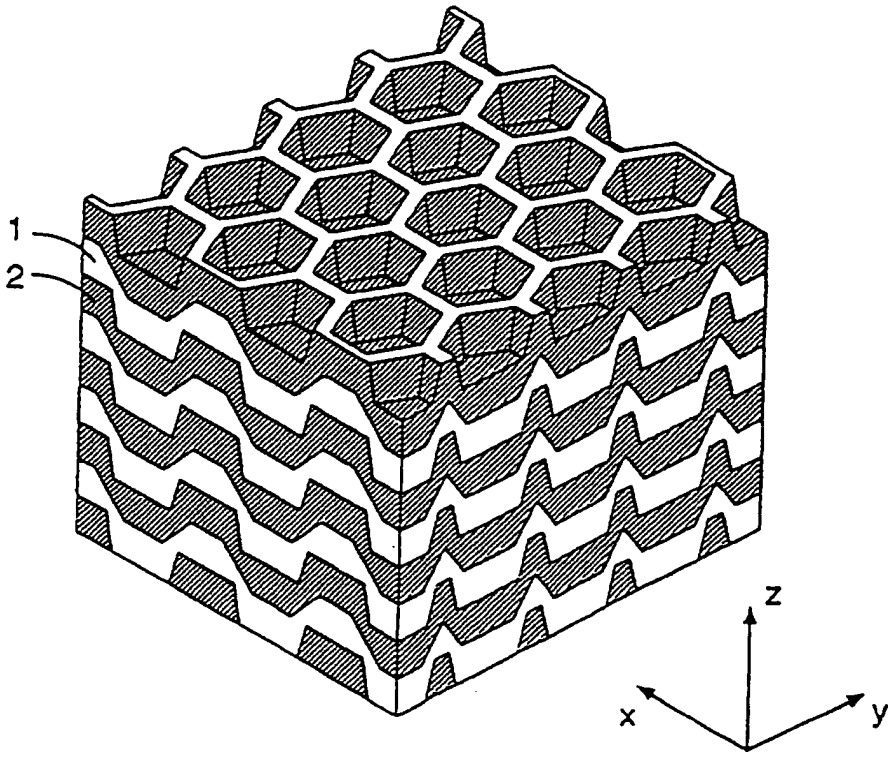


Fig. 2

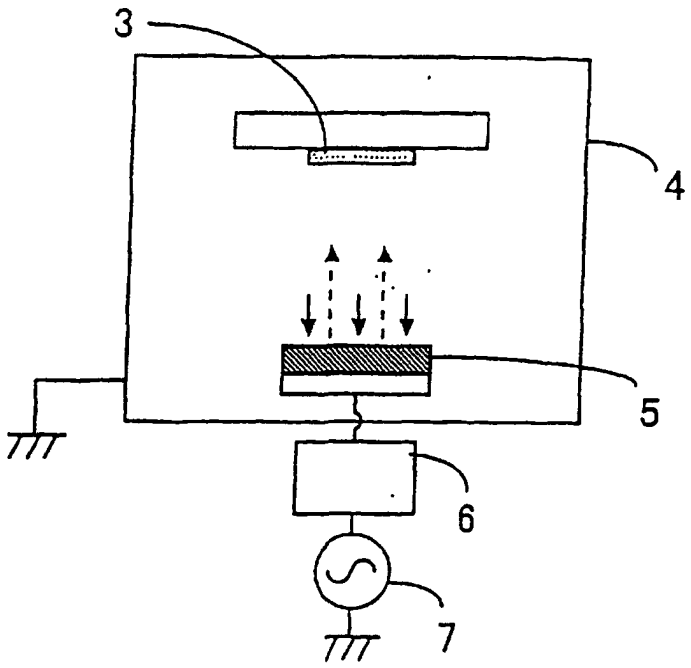


Fig. 3

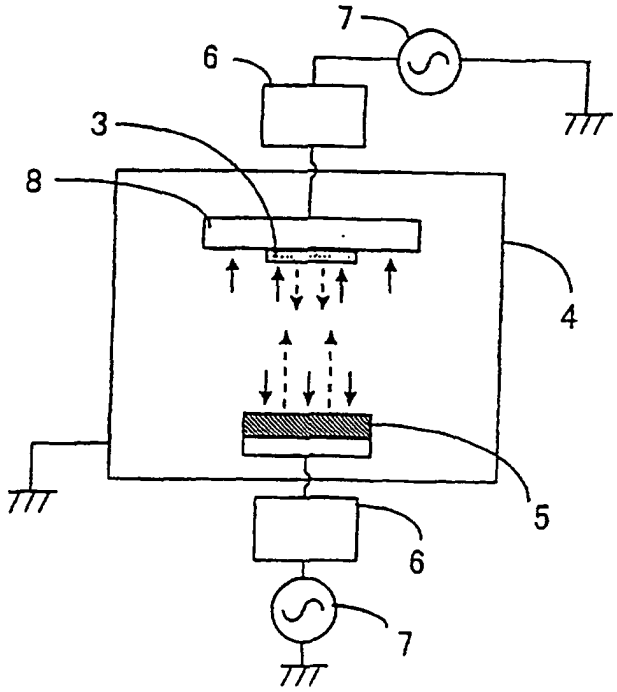


Fig. 4

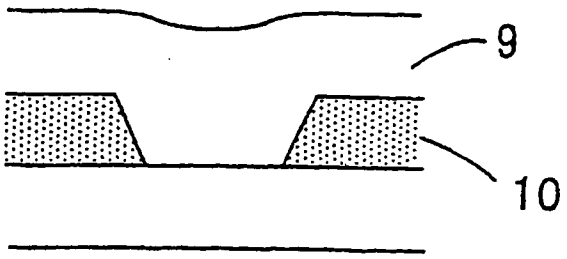


Fig. 5

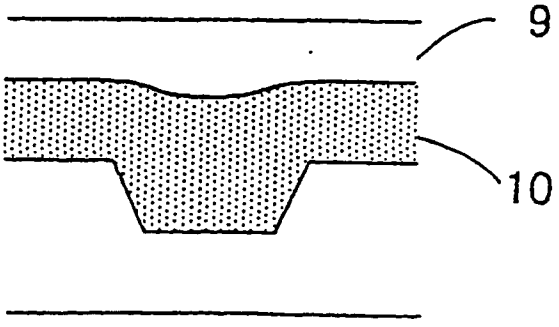


Fig. 6

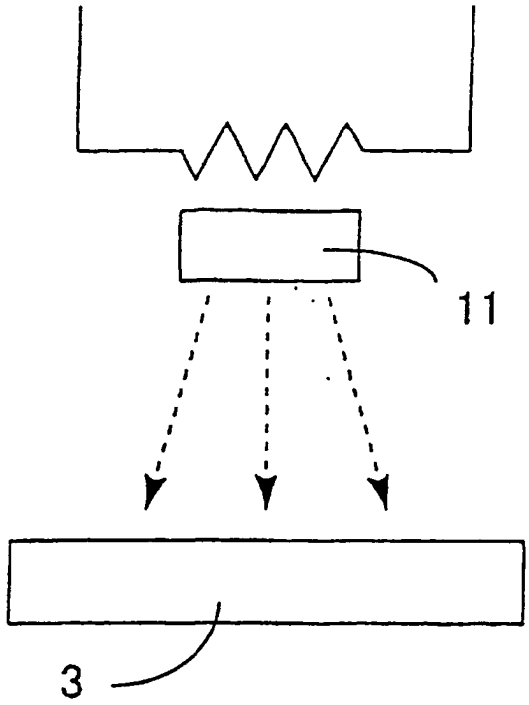


Fig. 7

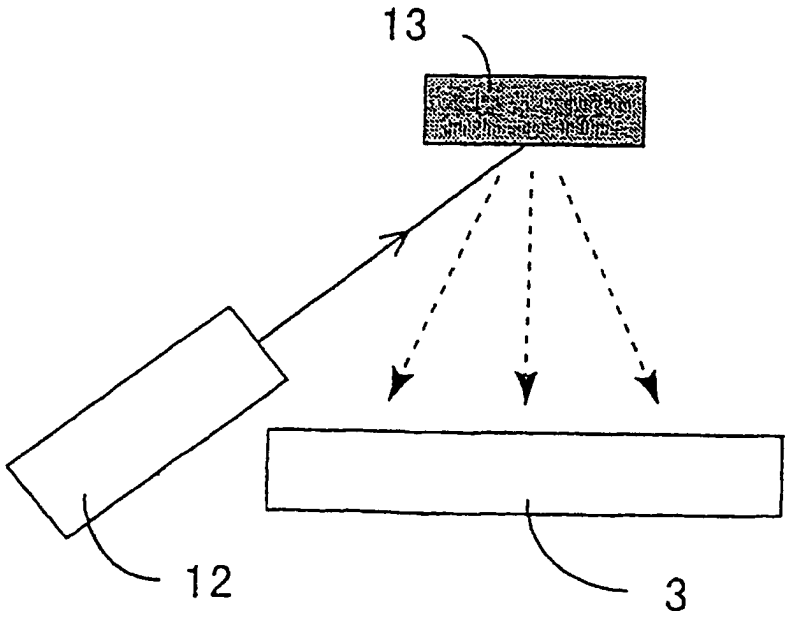


Fig. 8

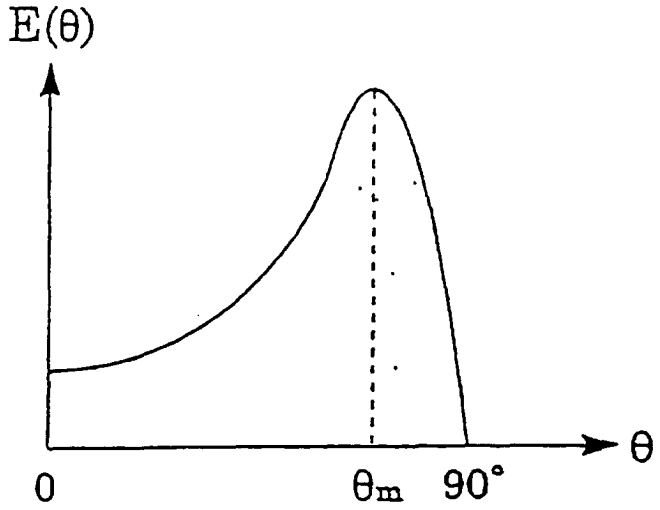


Fig. 9

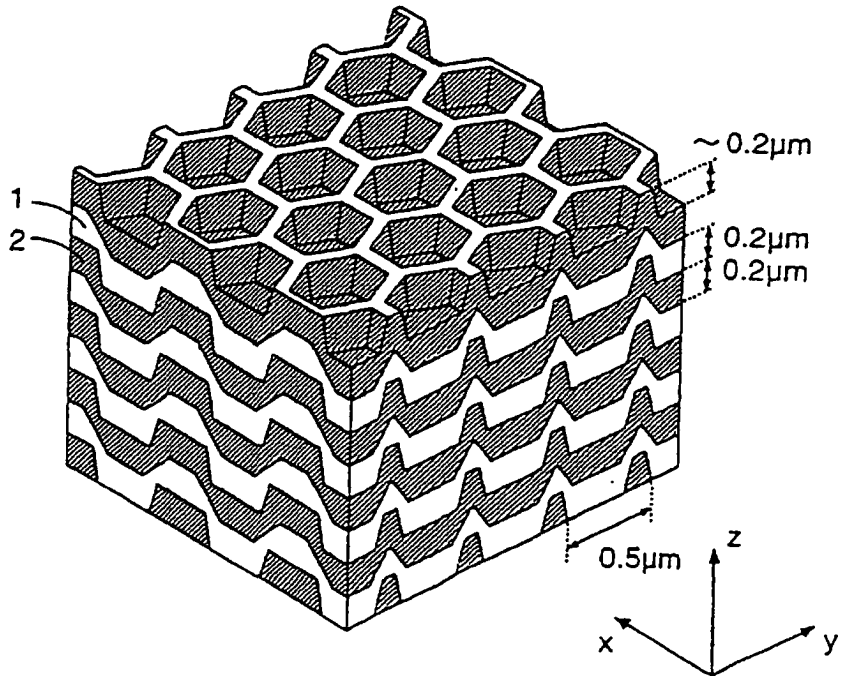


Fig. 10

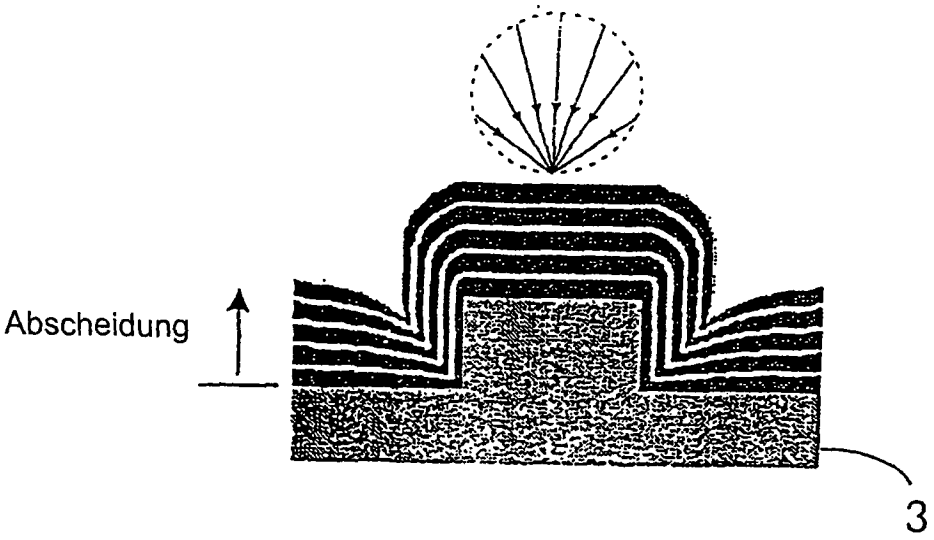


Fig. 11

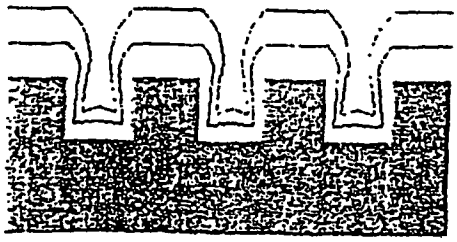


Fig. 12

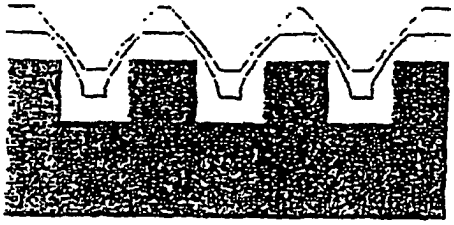


Fig. 13

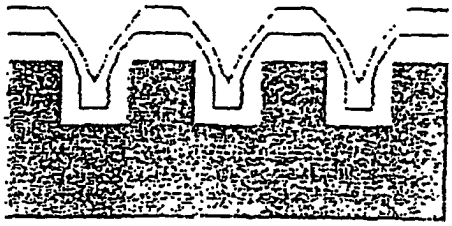


Fig. 14

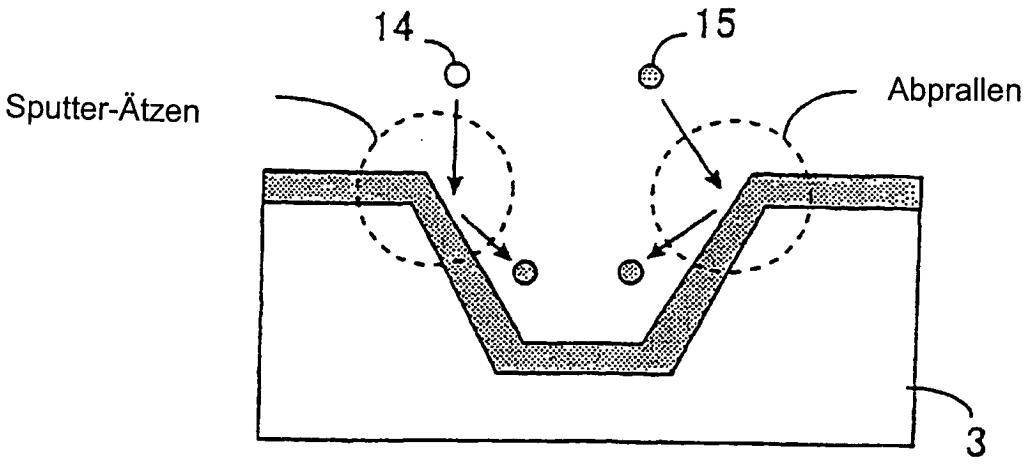


Fig. 15

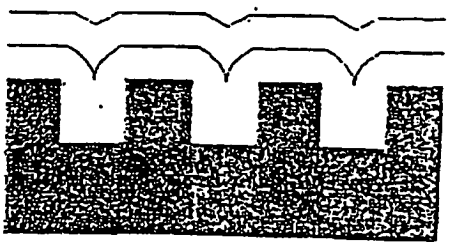


Fig. 16

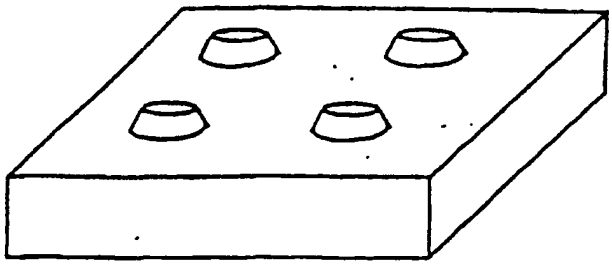


Fig. 17

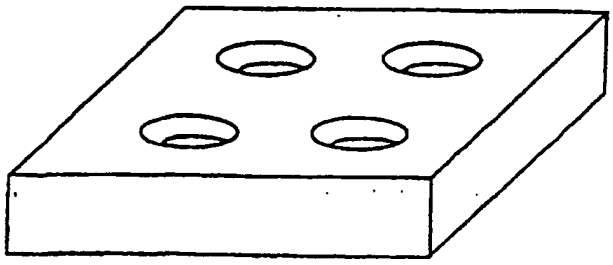


Fig. 18

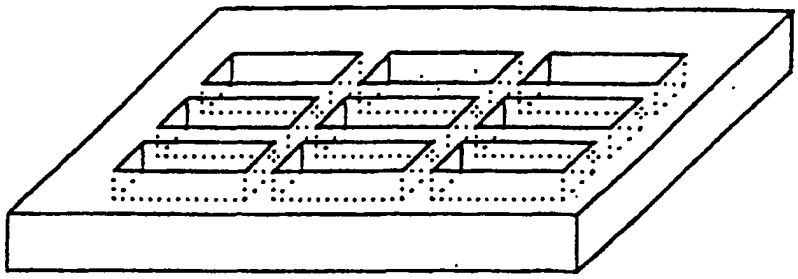


Fig. 19

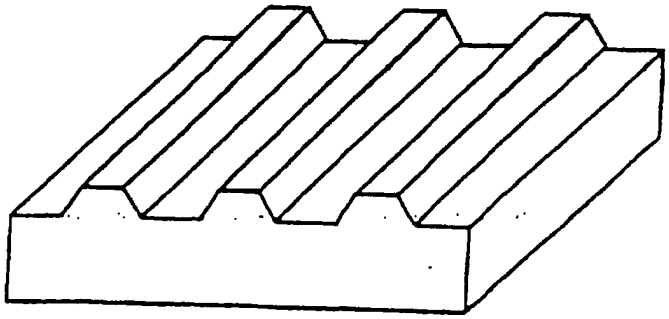


Fig. 20

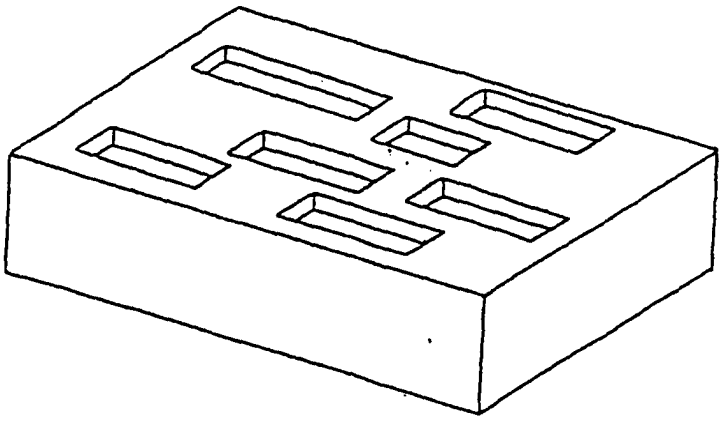


Fig. 21

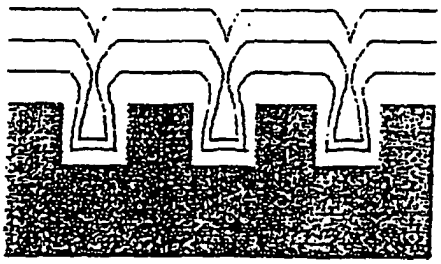


Fig. 22

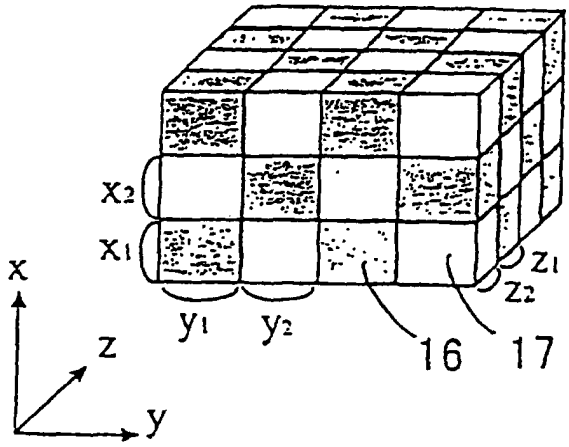


Fig. 23

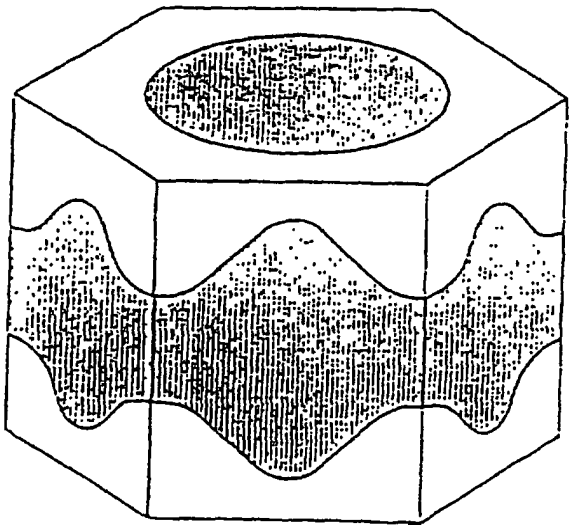


Fig. 24

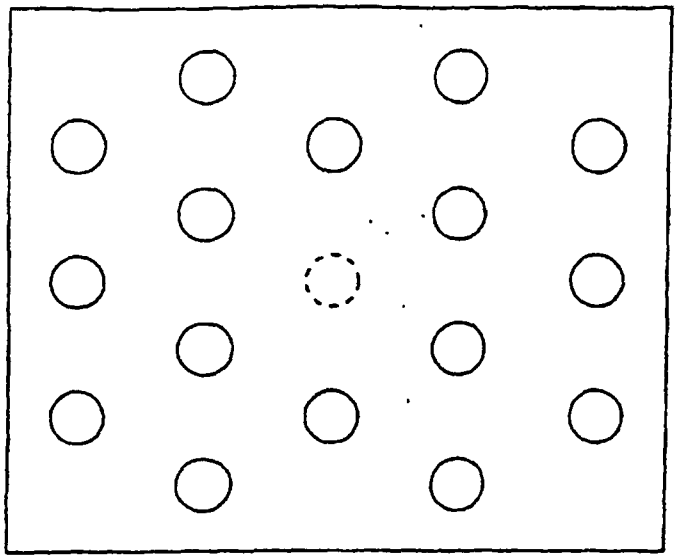


Fig. 25

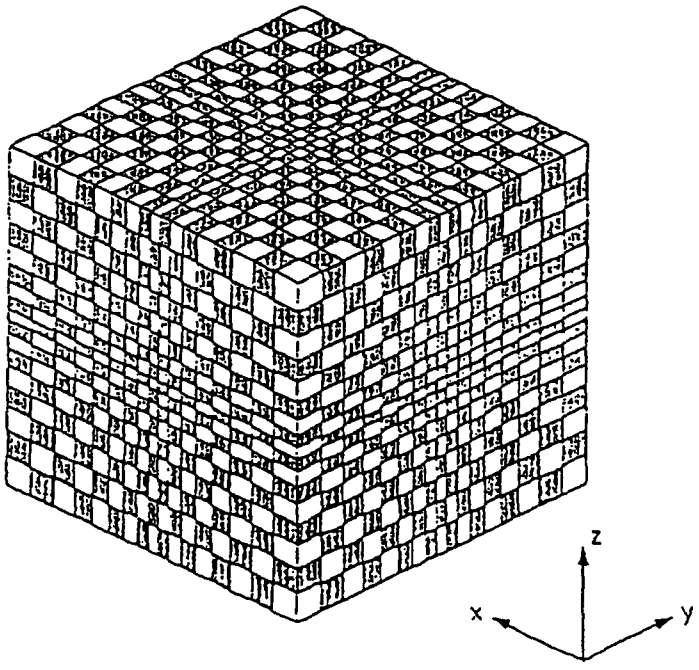


Fig. 26

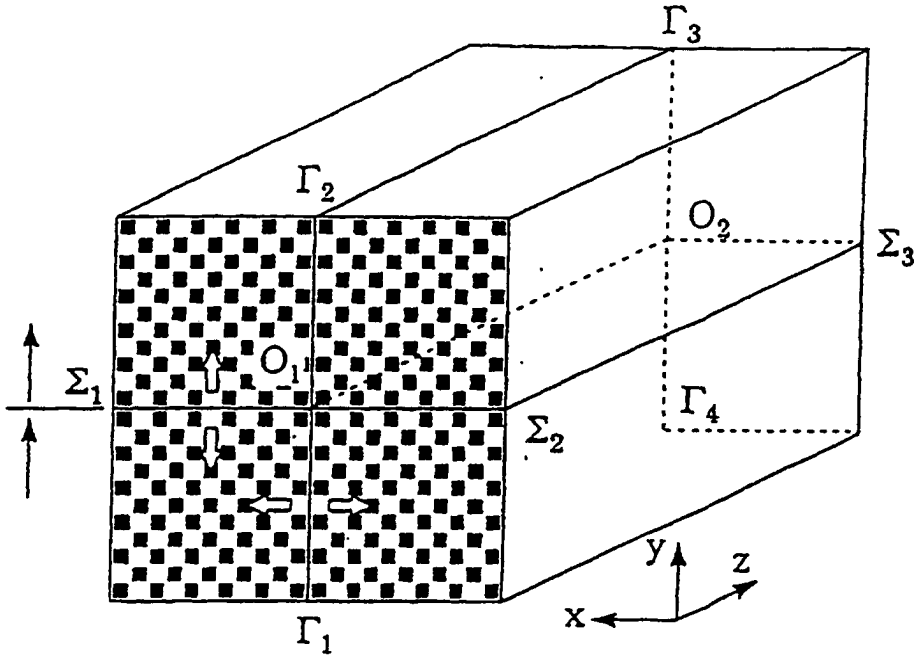


Fig. 27

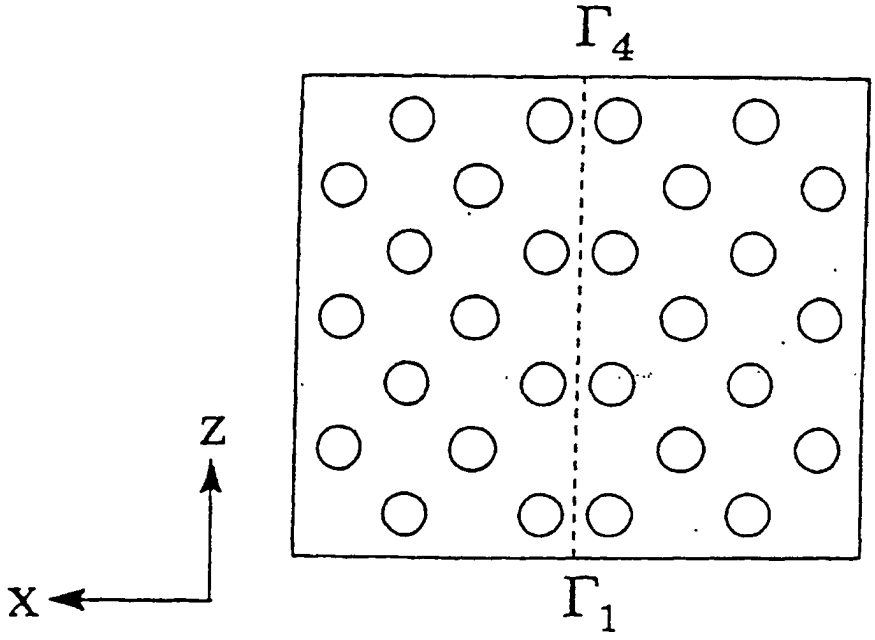


Fig. 28

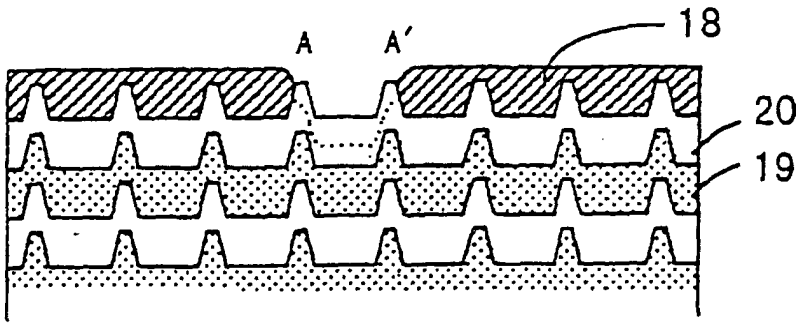


Fig. 29

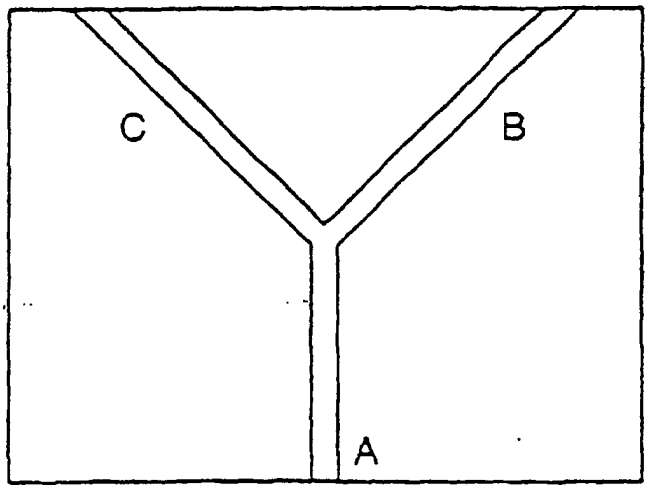


Fig. 30

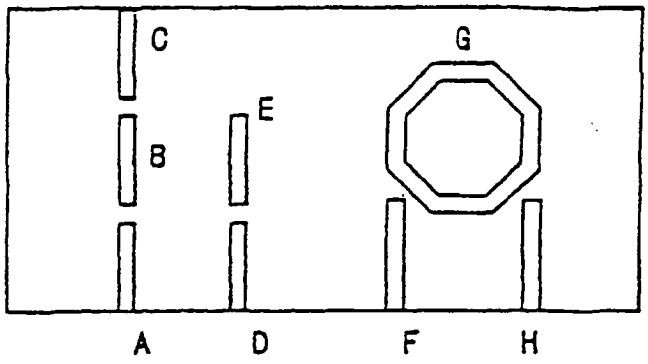


Fig. 31

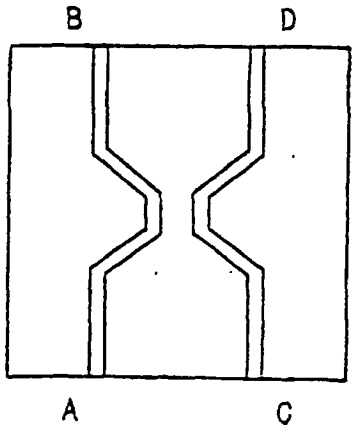


Fig. 32

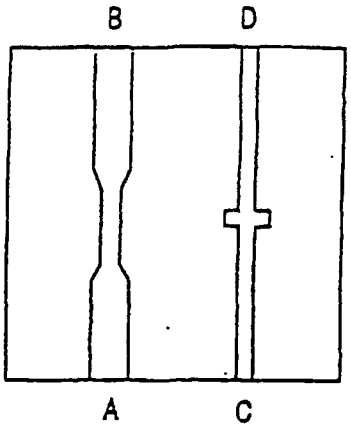


Fig. 33

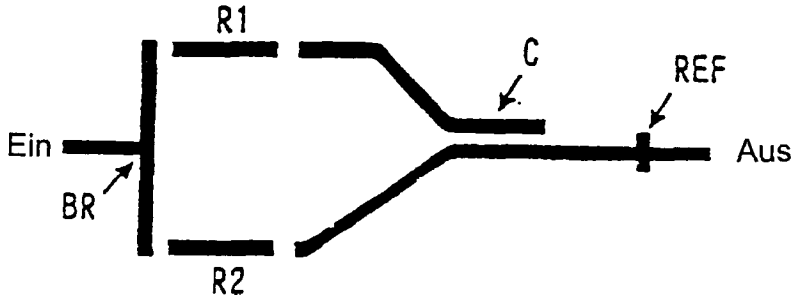


Fig. 34

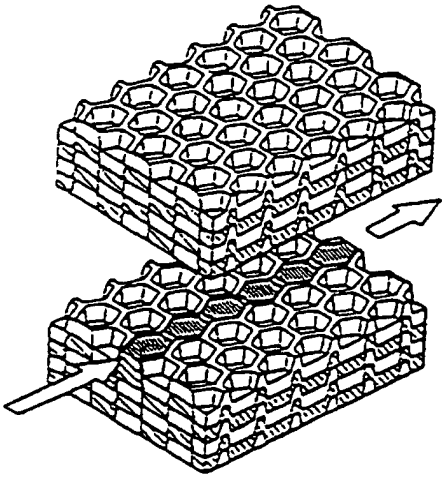


Fig. 35

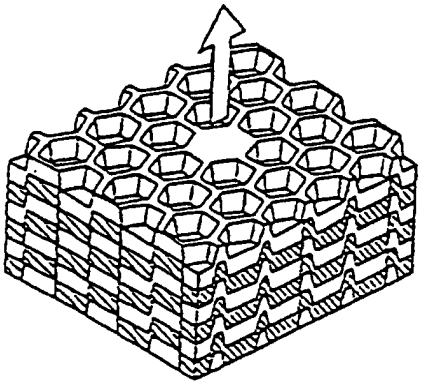


Fig. 36

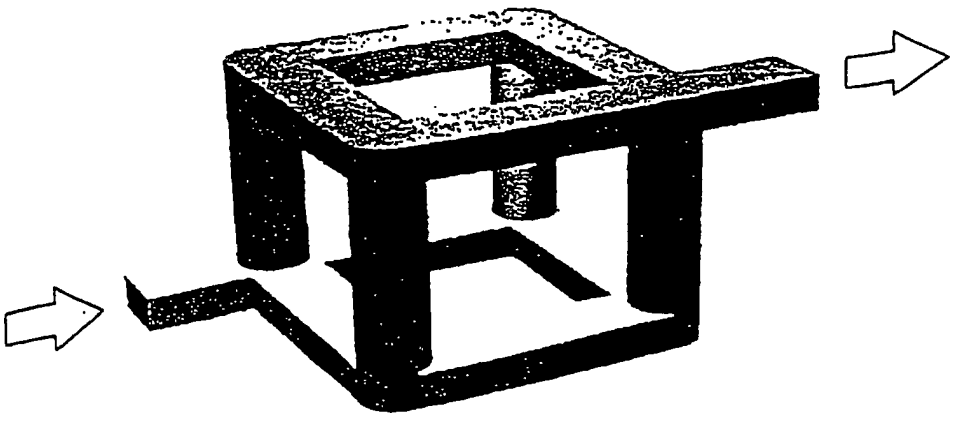


Fig. 37

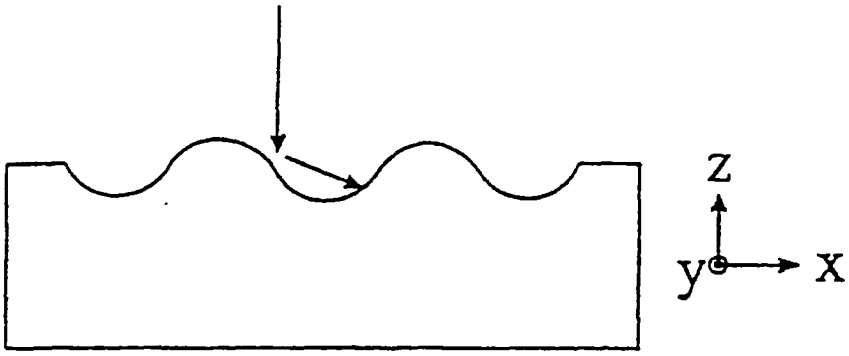


Fig. 38

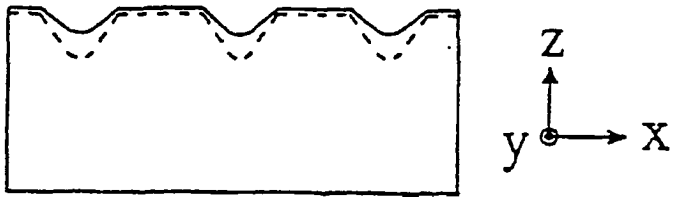


Fig. 39

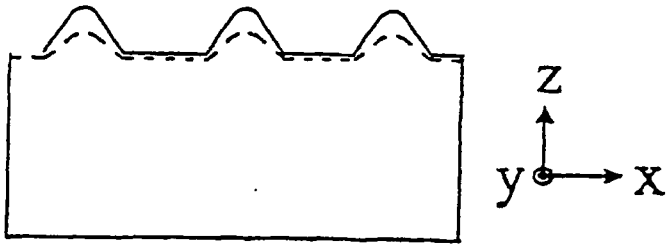


Fig. 40

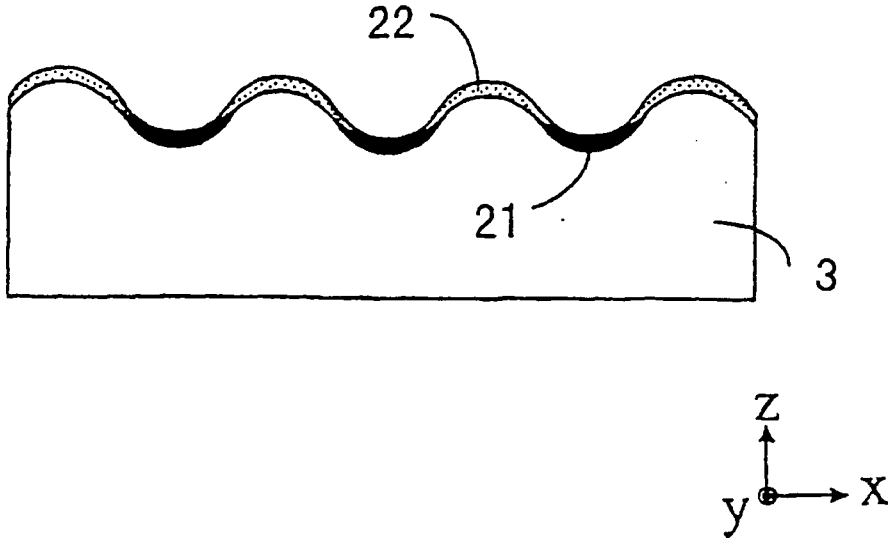


Fig. 41

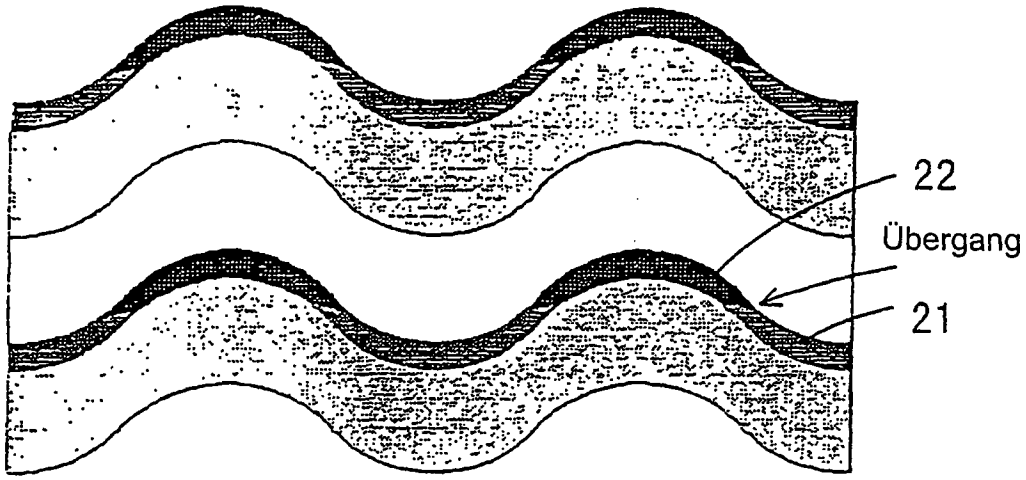


Fig. 42

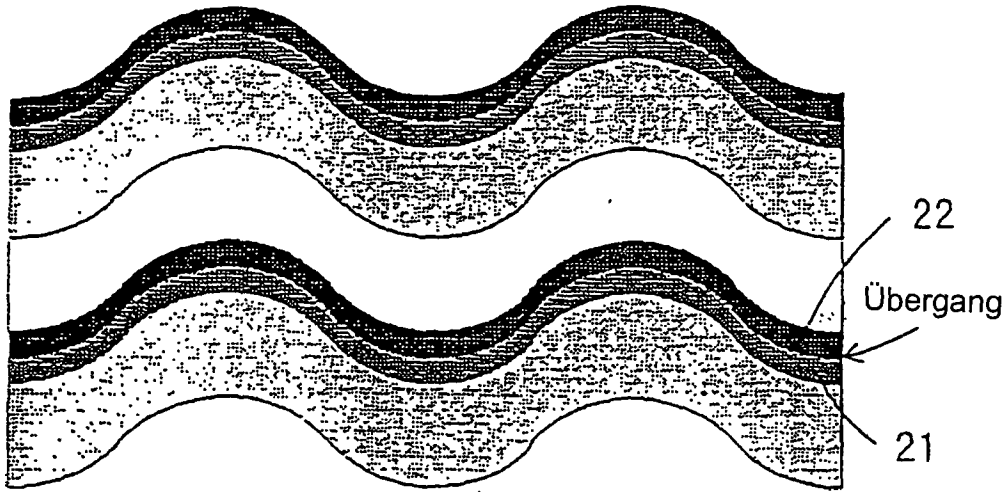


Fig. 43

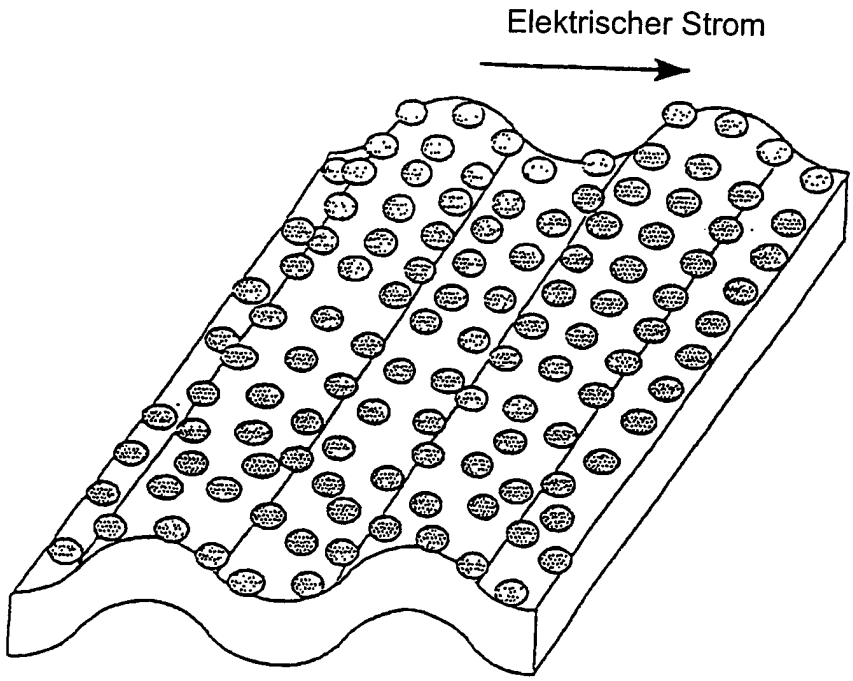


Fig. 44

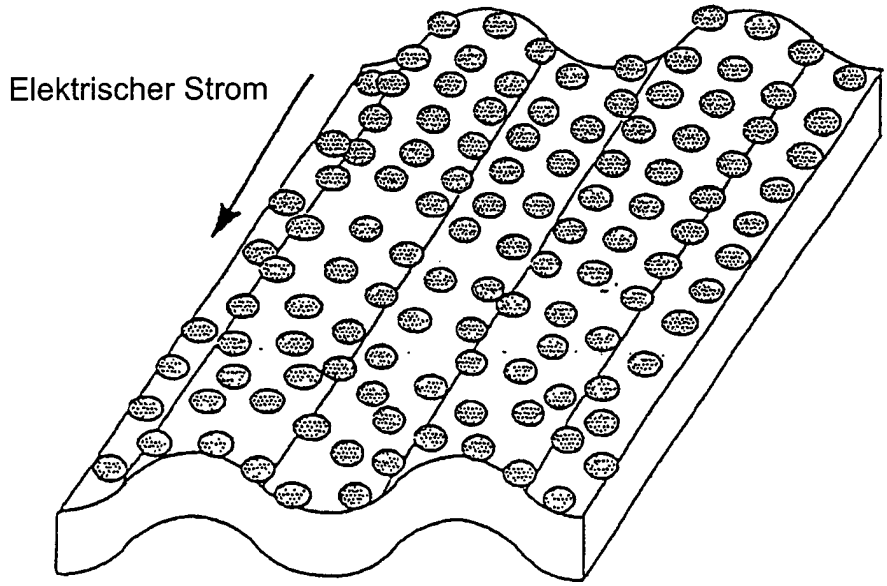


Fig. 45

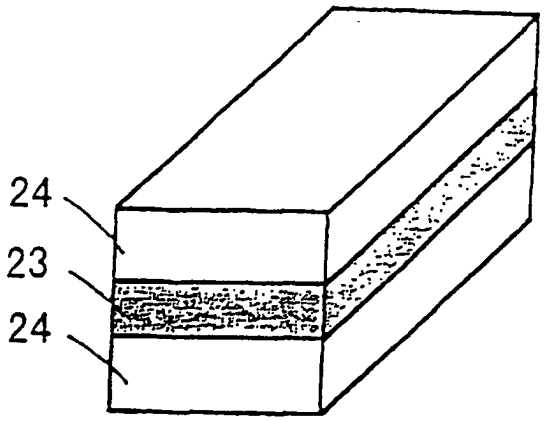


Fig. 46

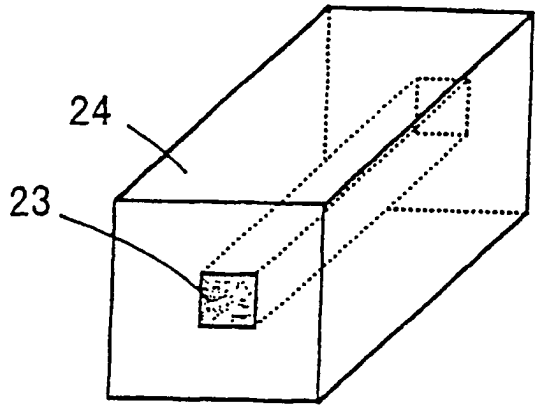


Fig. 47

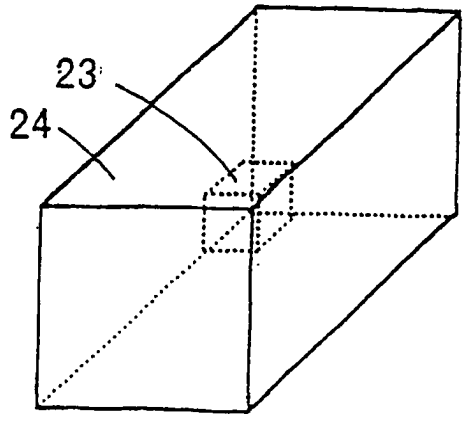


Fig. 48

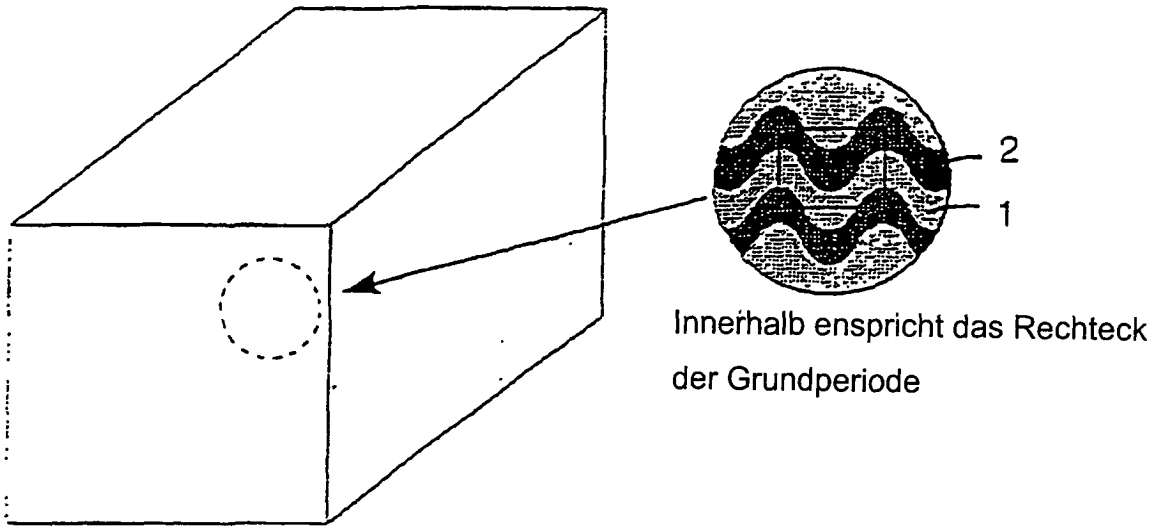

2
1
Innerhalb enspricht das Rechteck
der Grundperiode

Fig. 49

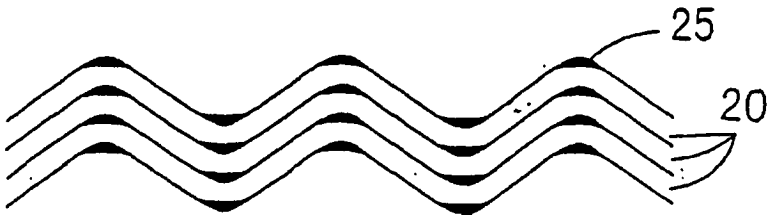

25
20

Fig. 50

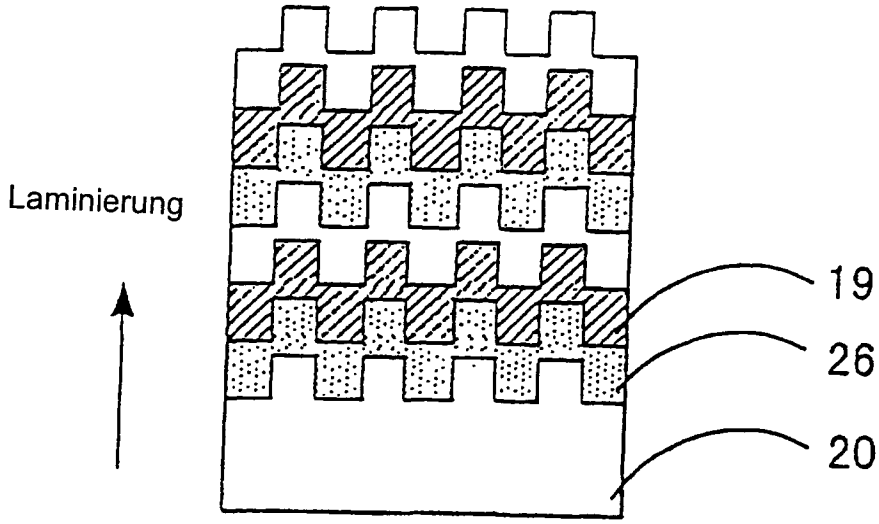


Fig. 51

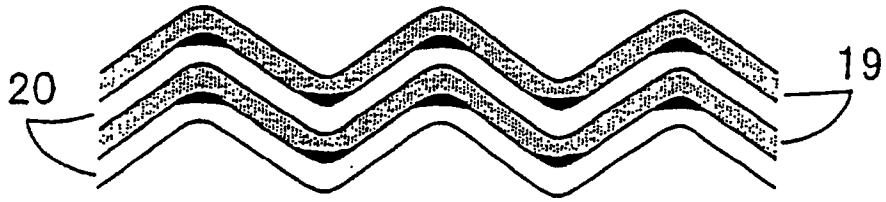


Fig. 52

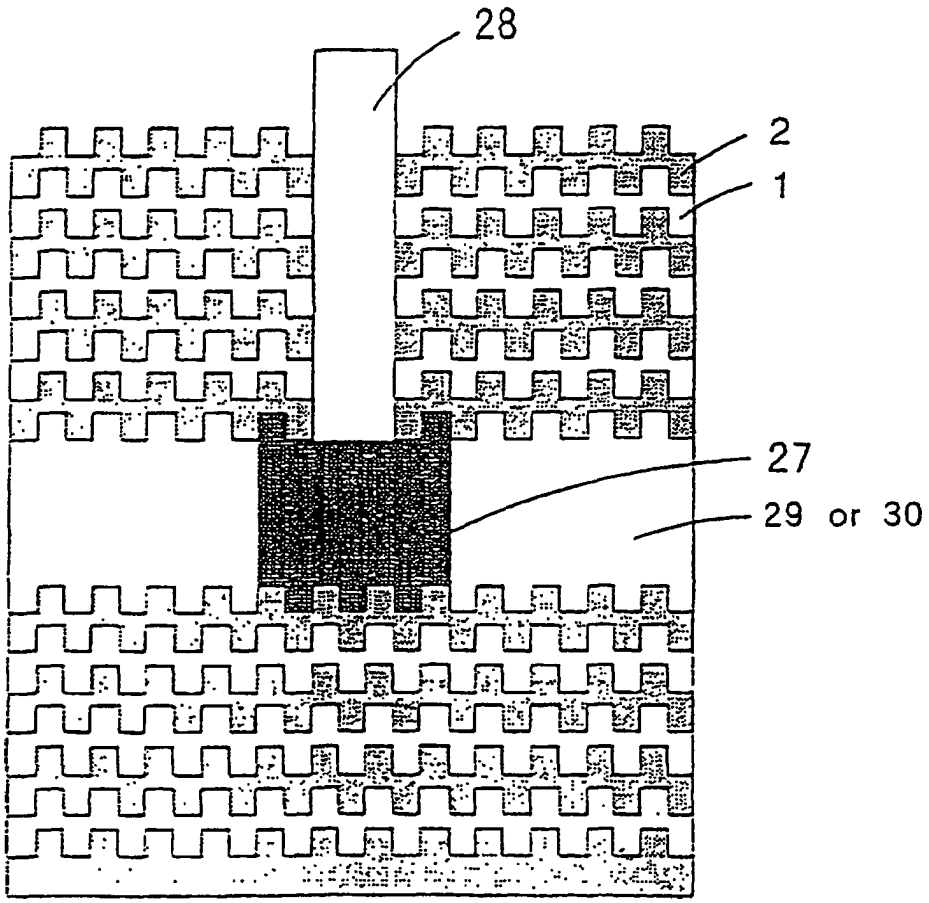


Fig. 53

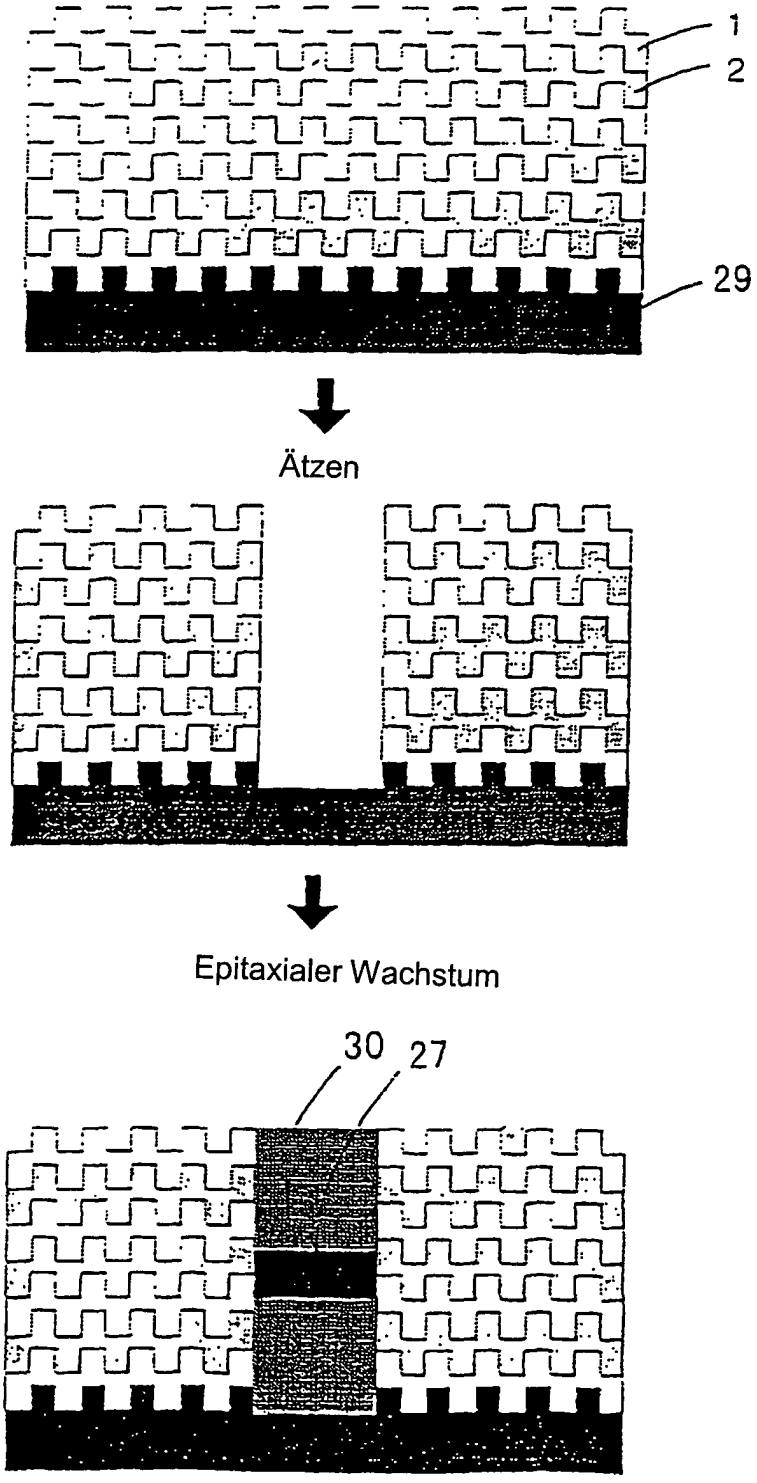


Fig. 54

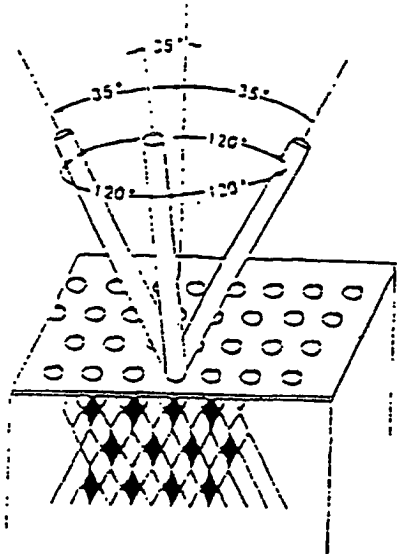


Fig. 55

