世界知的所有権機関
国際事務局

PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類6 **G02B 6/12**	**A1**	(11) 国際公開番号	**WO98/44368**
		(43) 国際公開日	1998年10月8日(08.10.98)

(21) 国際出願番号 PCT/JP98/01278

(22) 国際出願日 1998年3月24日(24.03.98)

(30) 優先権データ
特願平9/114951 1997年3月29日(29.03.97) JP
特願平10/40736 1998年2月23日(23.02.98) JP

(71) 出願人；および
(72) 発明者
川上彰二郎(KAWAKAMI, Shojiro)[JP/JP]
〒984-0065 宮城県仙台市若林区土樋236番地
愛宕橋マンションファラオC-09 Miyagi, (JP)
(72) 発明者；および
(75) 発明者／出願人（米国についてのみ）
榊 裕之(SAKAKI, Hiroyuki)[JP/JP]
〒224-0055 神奈川県横浜市都築区加賀原1丁目41番5号
Kanagawa, (JP)
白石和男(SHIRAISHI, Kazuo)[JP/JP]
〒340-0206 埼玉県北葛飾郡鷲宮町西大輪868番地 Saitama, (JP)

(74) 代理人
弁理士 福森久夫(FUKUMORI, Hisao)
〒102-0074 東京都千代田区九段南4丁目5番11号 富士ビル2F
Tokyo, (JP)

(81) 指定国 US, 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

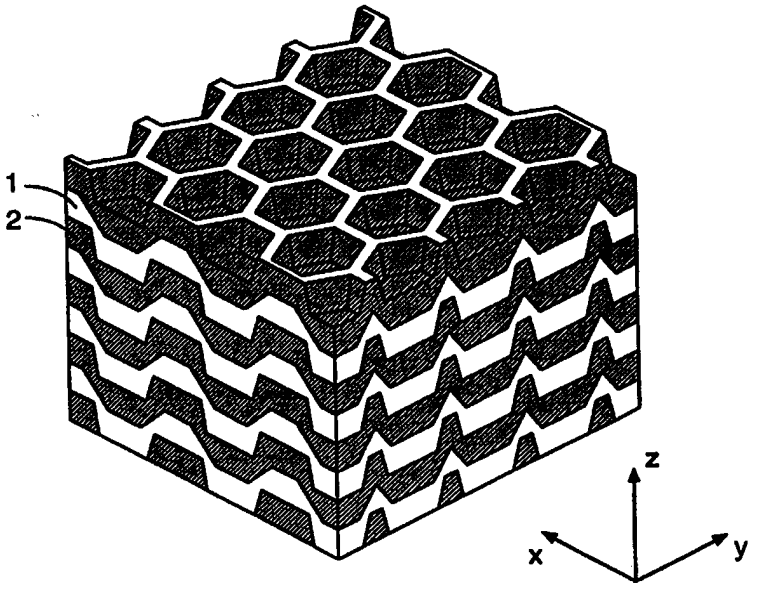
添付公開書類
国際調査報告書

(54)Title: **THREE-DIMENSIONAL PERIODICAL STRUCTURE, ITS MANUFACTURING METHOD, AND METHOD OF MANUFACTURING FILM**

(54)発明の名称 3次元周期構造体及びその作製方法並びに膜の製造方法

(57) **Abstract**

A three-dimensional periodical structure whose period is about 1 mm or smaller is provided. Two or more films which have two-dimensionally substantially periodical projections are successively formed in layers substantially periodically to construct a structure which is substantially three-dimensionally periodical. For instance, the films are made of materials different in refractive index. The three-dimensional periodical structure whose period is about 1 mm or smaller can be obtained by a simple manufacturing method. By this structure, the propagation of a wave with a specific wavelength in a plurality of axial directions and in many solid angular directions including the thickness direction of the layers can be cut off.



(57)要約

周期が１mm程度ないしそれ以下の３次元周期構造を提供する。

２次元的にほぼ周期的な凹凸を持つ２種類以上の膜状物質をほぼ周期的に順次に積層した構造を持つ、３次元的にほぼ周期的な構造体から成る。一例として、屈折率の異なる材料１と材料２から構成される。

簡単な製造方法により、周期が１mm程度ないしそれ以下の３次元周期構造体が得られる。この構造によって、着目する波長に対して、基板の面内の複数の軸方向および積層の方向を含む多くの立体角方向への伝搬を遮断させることができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AL アルバニア
AM アルメニア
AT オーストリア
AU オーストラリア
AZ アゼルバイジャン
BA ボズニア・ヘルツェゴビナ
BB バルバドス
BE ベルギー
BF ブルギナ・ファソ
BG ブルガリア
BJ ベナン
BR ブラジル
BY ベラルーシ
CA カナダ
CF 中央アフリカ
CG コンゴー
CH スイス
CI コートジボアール
CM カメルーン
CN 中国
CU キューバ
CY キプロス
CZ チェッコ
DE ドイツ
DK デンマーク
EE エストニア
ES スペイン
FI フィンランド
FR フランス
GA ガボン
GB 英国
GD グレナダ
GE グルジア
GH ガーナ
GM ガンビア
GN ギニア
GW ギニア・ビサオ
GR ギリシャ
HR クロアチア
HU ハンガリー
ID インドネシア
IE アイルランド
IL イスラエル
IS アイスランド
IT イタリア
JP 日本
KE ケニア
KG キルギスタン
KP 北朝鮮
KR 韓国
KZ カザフスタン
LC セントルシア
LI リヒテンシュタイン
LK スリ・ランカ
LR リベリア
LS レソト
LT リトアニア
LU ルクセンブルグ
LV ラトヴィア
MC モナコ
MD モルドヴァ
MG マダガスカル
MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国
ML マリ
MN モンゴル
MR モーリタニア
MW マラウイ
MX メキシコ
NE ニジェール
NL オランダ
NO ノールウェー
NZ ニュー・ジーランド
PL ポーランド
PT ポルトガル
RO ルーマニア
RU ロシア
SD スーダン
SE スウェーデン
SG シンガポール
SI スロヴェニア
SK スロヴァキア
SL シエラ・レオネ
SN セネガル
SZ スワジランド
TD チャード
TG トーゴー
TJ タジキスタン
TM トルクメニスタン
TR トルコ
TT トリニダッド・トバゴ
UA ウクライナ
UG ウガンダ
US 米国
UZ ウズベキスタン
VN ヴィェトナム
YU ユーゴースラビア
ZW ジンバブエ

明細書

3次元周期構造体及びその作製方法並びに膜の製造方法

技術分野

本発明は、例えば、光波回路素子として用いられる3次元的にほぼ周期的な屈折率分布を持つ構造、およびその製造方法と応用技術・応用デバイスにわたるジェネリックな（包括生成的な）技術に関するものである。

背景技術

物質内において周期が1μm程度ないしそれ以下の3次元周期構造を作製する技術は光技術・電子技術分野において潜在的な応用範囲は広い。しかしながら、その作製方法はまだ開発されていないため、周期が1μm程度ないしそれ以下の3次元周期構造は実現されるに至っておらず、これまで検討されたものの内主要なものは次の二つである。（1）図54に示すような、3方向からドライエッチングで穴を形成するもの（E.Yablonovitch,"Photonic band-gap structures", J.Opt.Soc.Am.B,vol.10,no.2,pp.283-295,1993)。（2）図55に示すような、すだれ状の基板を対向・ボンディングし、選択エッチングで基板の一方を除去し、再び対向・ボンディングさせる、という操作を繰り返すもの(S.Noda,N. Yamamoto,and A.Sasaki,"New realization method for three-dimensional photonic crystal in optical wavelength region",Jpn.J.Appl.Phys.,vol. 35,pp.L909-L912,1996)。これら2種の概念は、周期が1mm程度ないしそれ以下で周期数が5以上のものは現在まで実現されていない。

前項（1）の方法では、3～4周期を超える加工は不可能であるという問題点がある。また、前項（2）の方法では、選択化学エッチングやボンディングという制御性の低い手工業プロセスに多数回頼るため、再現性・生産性が低いという問題点がある。

本発明は、上記従来技術の課題を解決すべくなされたものであり、周期が1μm程度ないしそれ以下の3次元周期構造体とその応用部品・デバイスを提供する

こと、および、それらの作製方法を提供することが目的である。

発明の開示

上記目的を達成するためには、信頼性・再現性に優れた方法で3次元的に周期的な構造体を実現することが必要である。このためには、2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いる方法が有効である。この方法によって、周期が1μm程度ないしそれ以下の3次元周期構造体を作製することができる。

作用

前項の手段によって3次元周期構造体を構成すれば、周期が1μm程度ないしそれ以下のものが簡便に再現性よく実現できる。また、光学的分極率が非線形性をもつ物質、または発光性あるいは光増幅性物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質などを周期構造の中に取り込むことができ、さらに、導波路あるいは共振器あるいは分岐器あるいは結合器あるいは反射器、または半導体レーザ、または受光器などを周期構造中に作り込むことができるため、3次元周期構造体の応用部品・デバイスを信頼性・再現性にすぐれた方法で作製することができる。本発明は共通の根幹から発して多様な発展を内包するジェネリック（包括生成的）なものであり、このことはこれに続く実施例を通じて明示される。

図面の簡単な説明

図1は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図2は、スパッタリング法を示す説明図。

図3は、バイアススパッタリング法を示す説明図。

図4は、従来のバイアススパッタ法の適用例を示す説明図。

図5は、従来のバイアススパッタ法の適用例を示す説明図。

図6は、真空蒸着法を示す説明図。

図7は、レーザアブレーション法を示す説明図。

図８は、エッチング率の角度依存性を示す説明図。

図９は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図１０は、発明の作製メカニズムを示す説明図。

図１１は、発明の作製メカニズムを示す説明図。

図１２は、発明の作製メカニズムを示す説明図。

図１３は、発明の作製メカニズムを示す説明図。

図１４は、発明の作製メカニズムを示す説明図。

図１５は、発明の作製メカニズムを示す説明図。

図１６は、発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。

図１７は、発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。

図１８は、発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。

図１９は、発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。

図２０は、発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。

図２１は、発明の作製メカニズムを示す説明図。

図２２は、３次元周期構造の特性を説明するための図。

図２３は、ｘｙ面内に六方対称、ｚ方向に周期的な構造のブリュアン域を示す説明図。

図２４は、発明の一つの実施例を示す説明図であり、点線の円は実線で示すべき円孔が本来の位置に存在しないことをあらわす。

図２５は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図２６は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図２７は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図２８は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図２９は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図３０は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図３１は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図３２は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図３３は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図３４は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図３５は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図３６は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図３７は、発明の一つの実施例で使用する選択的積層を示す説明図であり、Ｔは山、Ｖは谷である。

図３８は、発明の一つの実施例で使用する選択的エッチングを示す説明図であり、実線の輪郭が破線状に変化する。

図３９は、発明の一つの実施例で使用する選択的エッチングを示す説明図であり、実線の輪郭が破線状に変化する。

図４０は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図４１は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図４２は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図４３は、発明の一つの実施例を示す説明図であり、だ円は島状薄膜金属を表し、曲面上に点在する。

図４４は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図４５は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図４６は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図４７は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図４８は、発明の一つの実施例を示す説明図であり、Ａ、Ｂ（即ち１、２）の界面に機能物質Ｆを挿入する方法が（ロ）、ＡまたはＢをＦで構成する方法が（ハ）である。

図４９は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図５０は、発明の一つの実施例の作製法を示す説明図。

図５１は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図５２は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図５３は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図５４は、発明を使用しない３次元周期構造の作製方法を示す説明図。

図５５は、発明を使用しない３次元周期構造の作製方法を示す説明図。

（符号の説明）

１　物質Ａ（例えばSiO_2）、　２　物質Ｂ（例えばＳｉ）、

3　基板、　4　真空容器、　5　ターゲット、　6　整合器、
7　高周波電源、　8　基板電極、　9　誘電体、
10　金属、　11　蒸着源、　12　レーザ、　13　原料物質、
14　気体イオン、　15　材料粒子、　16　屈折率n_1の物質、
17　屈折率n_2の物質（$n_1 > n_2$）、　18　レジスト、
19　Si、　20　SiO_2、　21　金属A（例えばAlなど）、
22　金属B（例えばPt、Ni、W、Tiなど）、
23　機能単位、　24　3次元フォトニックバンドギャップ構造、
25　$LiNbO_3$、　26　ErドープSiO_2、
27　活性領域、　28　出力導波路、　29　IIIV族基板、
30　エピタキシャル層、　31　GaAs、　32　AlGaAs。

発明を実施するための最良の形態

［実施例1］

はじめに薄膜の形成・エッチングについて、本発明で述べているもの、本発明に適用可能なもののいくつかを概略説明する。

図2は一般的な高周波スパッタリング装置の概略図である。真空容器4内に、薄膜の原料物質の供給源であるターゲット5を、またそれに対向させて基板3を配置する。ターゲット5にはインピーダンス整合器6を介して高周波電源7が接続される。真空容器4中に一般に不活性気体（例えばArガス）を主成分とするガス（例えばArガスに水素ガスを添加したガス）を導入し、ターゲット電極に高周波電力を供給してプラズマを生成させる。ターゲット5は時間平均的に負の電位になるため（自己バイアス効果）、正の電荷をもつ気体イオンが高いエネルギーを持ちながらターゲット5に入射し（実線矢印）、ターゲット物質を飛散させる。その飛散した物質粒子が基板3に到着・付着し（破線矢印）、膜が基板上に形成される。

図3にはバイアス・スパッタリング装置の概略を示す。図2の装置に基板を保持する基板電極8を加え、整合器6を介して高周波電源7に接続する。基板電極8に高周波電力を供給することで、ターゲット5の場合と同様に気体イオンを基

板３の表面へ入射させ（実線矢印）、基板３の表面から粒子を飛散させることができる。供給する高周波電力、ガス種やガス圧力、基板電極の形状などで基板に衝撃するイオンの量やエネルギーおよびスパッタの効果を制御することができる。

従来バイアス・スパッタリング法は、ＬＳＩにおける電極・配線のための薄膜作製プロセス（メタライゼーション）として利用されてきた。例えば、図４に示すように金属膜配線１０を誘電体９で埋め込んで上面を平坦化させる、あるいは図５に示すように２本の配線１０間を空洞部を生じないように埋め込むことなどの目的である。２次元周期状凹凸をもつ基板上にスパッタエッチングを少なくとも一部分に適用して３次元構造を作製する技術は全く新しいものである。

図６には真空蒸着法の概念を示す。抵抗加熱ないし電子ビーム加熱された蒸着源１１から原料物質が真空中に蒸散し、基板３に到着・付着する。図７にはレーザアブレーション法の概念を示す。レーザ１２より大出力のパルスレーザ光を原料物質１３に入射させることにより原料物質の一部分を瞬間的に加熱・蒸散させ、基板３に到着・付着させる。

また、本発明において膜を整形する役割をもつスパッタエッチングについて説明する。スパッタエッチングと別種の成膜を同時に進行させることもできる。例えば、スパッタリングによる成膜とスパッタエッチングとを同時に進行させる同時プロセスをバイアススパッタリングと呼ぶ。

図３の装置において、ターゲット５には高周波電力を加えることなく、基板電極８にのみ高周波電力を印加することにより、成膜の進行しない単独のスパッタエッチングが実現される。このスパッタエッチングは、前述したように膜の整形作用を有しており、ある程度の厚さに膜を成膜した後に行うことにより膜を所望の形状に整形することができる。

一方、ターゲット５へ高周波電源７を印加するとともに基板電極８にも高周波電源７を印加することにより成膜とスパッタエッチングとを同時に進行させることができる。すなわち、バイアススパッタリングを進行させることができる。

なお、基板電極８に印加する高周波電源７の電力や周波数、あるいはターゲット５に印加する高周波電源７の電力や周波数と成膜される膜あるいはスパッタエ

ッチングにより整形される膜の形状との関係は、真空容器４内に導入されるガス圧や膜の材質によっても変化するので一律に定めることは難しいが、それぞれの条件において予め実験等により求めておけば当業者は容易に実施することができる。

スパッタエッチングにおいて、単位時間にエッチングされる面が法線方向に後退する割合を面の傾きθの関数として定義し、エッチング率という。エッチング率Ｅ（θ）は多くの物質に対し図８に示す性質をもつ。すなわち０°と９０°の中間にある角θ_mで最大でそれを境に左右両方向に単調に減少する。このスパッタエッチングは、前述のスパッタリング成膜、真空蒸着、レーザアブレーションの前または後に実行することも可能である。

３次元周期構造体形成の一例を述べる。溶融石英基板上に、電子ビームリソグラフィーおよびドライエッチング法により、周期的な孔の列を形成する。例えば孔の直径を０．２μｍとし、孔の中心間隔が０．５μｍとなるように六角格子状に配置する。または基板上に膜を形成しその膜に孔の列を形成してもよく、それをふくめて基板という。その上にＳｉおよびSiO_2を高周波スパッタリング法により堆積し、その中のSiO_2の積層の一部分には、高周波により電離したイオンが基板表面に入射してエッチングを行う作用、即ちスパッタエッチングと、高周波スパッタリングによる積層を同時に進行させる。成膜条件の一例を挙げる。SiO_2の成膜では、ターゲットに印加するｒｆ電力を４００Ｗ、Ａｒ流量７２ｓｃｃｍ、H_2流量８ｓｃｃｍ、ガス圧力２．０ｍＴｏｒｒとし、バイアス電力（スパッタエッチングのために基板電極に印加するｒｆ電力）６０Ｗを一層の成膜時間すべてにわたって印加する。一方、Ｓｉの成膜では、ターゲットに印加するｒｆ電力を４００Ｗ、Ａｒ流量７６ｓｃｃｍ、H_2流量４ｓｃｃｍ、ガス圧力３．６ｍＴｏｒｒとし、バイアス電力の印加は行なわない。膜厚はどちらも０．２μｍとした。スパッタエッチングの整形作用を利用しているので、ＳｉおよびSiO_2を多数周期積層しても基板上の２次元周期形状は失われず、数十周期の積層を行って表面の周期構造は安定であることが原子間力顕微鏡観察で確認されている。内部は図１（具体的には図９）に示すとおり３次元の周期性の高い構造を形成している。

この周期構造の形成の機構は次のようであると考えられる。スパタリングにおいて断面を図１０の実線に示す基板に、膜の材料物質の粒子が拡散入射する、即ち入射角の有限の拡がりを伴って入射すると、凸部が凹部に対して蔭を作る効果により、堆積される膜には図１０あるいは図１１に示すように底部に屈曲（キンク）を生ずる。なお、図中の細線は膜の形成される過程を時系列的に表わしている。その効果にスパッタエッチングを重畳すると、角度選択性によって肩部に一定傾斜の面が発達して図１２に示すような形、または図１３のような形となる。

膜形成には、膜に空間から直接入射する粒子の影響（一次効果）に加えて、膜の他の部分を経由して入射するところの原料物質またはエッチングガスの効果（二次効果）がある。すなわち、通常の成膜時、またはスパッタエッチング時には、図１４のように、膜の原料物質の一部が、成膜時の分子の跳ね返り、またはスパッタエッチングによる跳びだしで再付着する効果が存在する。その効果は凹凸の凸部におけるよりも凹部で顕著であるため、形成される凹部の底の形が図１２、図１３よりやや浅く、図１５の形となる。再付着は穴または溝が深い・浅いに応じて多く・少なくなるので、積層の進行につれて、くぼみの深さと形は定常的な深さと形に自動的に調節される。また、凹凸をもつ膜の表面を必要によりスパッタエッチングと、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションを用いて平滑化することも可能である。また、基板には周期的な凹みだけでなく図１６に示すように周期的な突起をもたせることができるのはいうまでもない。

図１７、図１８、図１９に示すような周期的に配置された孔・溝をもつ基板、または図２０に示すような非周期的に配置された孔・溝をもつ基板上にスパッタエッチングと、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションを同時に行なって孔・溝の底を鋭く整形することができる。また、上述の基板、またはその上に成膜して基板の凹凸の位置を保存する膜の上に、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションを行なって、図２１に示すように内部に孔・溝状の空洞を形成し、表面にはなお同図に示すように基板の凹凸の位置に一致して孔・溝をもつ膜を作成することができる。これら二つの過程（鋭い底の整形・空洞の形成）を個々に、または任意の順序に組み合

わせて加工することができる。また、凹凸をもつ膜の表面を必要によりスパッタエッチングと、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションにより平滑化することも可能であり、その応用範囲はきわめて広い。

もう一つの構造の作製方法を説明しておく。図１により説明した構造においては２種類の物質が同程度の厚さをもつが、後述するように別種の機能性材料（ゲスト）を、構造を形成する単一主成分（ホスト）の凹凸表面に、ホストよりはるかに薄く積層し周期を繰り返すことが可能である。即ち、仮にゲストを導入しなければホストは結果的に均一の構造を持つ。換言すれば、均一なホスト材料の間に、ゲストの３次元周期構造を埋め込んだ構造を作製することができる。ホストを２種類以上の物質の、ゲストより厚い膜の周期構造体とするホスト・ゲスト型３次元周期構造体の形成も同様にしてなされる。なお、図１に即して説明すると、物質Ａの表面とＢの表面とがすべて同一であれば問題なく、仮にＡの表面とＢの表面が一致しなくとも異なる層の間でＡどうし、Ｂどうしが同形をもてば周期性が保たれる。

［実施例２］

透明体からなる、媒質内光波長の半分内外の周期をもつ３次元の周期構造については、フォトニック・バンドギャップという効果が理論上予言され、マイクロ波帯（例えば波長３ｃｍ帯）のモデル実験で理論が検証されている。３次元周期構造について説明するため、図２２に３次元周期構造の概念を示す。３次元周期構造は、屈折率n_1、n_2（$n_1>n_2$）をもつ厚さd_1、d_2の透明体１６、１７から構成され、ｘ、ｙ、ｚ方向にそれぞれ周期x_1+x_2、y_1+y_2、z_1+z_2をもつ。簡単のためにx_1+x_2、y_1+y_2ともにz_1+z_2より十分大きく（z_1、z_2はd_1、d_2と同じ意味である）、

$$n_1d_1=n_2d_2$$

を満たすと仮定する。この説明から明らかなように、３次元周期構造はその作用においては１次元周期構造、２次元周期構造をその一部として含むものである。このことは本実施例に限らず本願全体についていえることである。ｚ方向に進む波は以下説明する性質をもつ。ある自由空間波長λ_0を中心とする光の波長範囲

$$\lambda_l<\lambda<\lambda_u$$

において、＋ｚ方向に進む光波は進行するに伴って振幅が指数的に減少し、伝搬することができない。－ｚ方向にも同様である。λ_0の満たす条件は、

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

であり、

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

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

である。

n_2/n_1 が１に近いときは

$$(\lambda_u - \lambda_l)/\lambda_0 \sim (4/\pi) \ ((n_1/n_2) - 1)$$

（λ_0はλ_u、λ_lのほぼ中心）

で与えられる。この現象をBragg遮断という。遮断の中心波長は周期の長さに比例する。遮断の生ずる波長域の幅はn_1とn_2とがほぼ一致するとき０に近づき、n_1とn_2の比が大きくなるとき幅はλ_0の数分の一のオーダーとなる。ゆえに、いわゆるBragg波長λ_0からある程度離れた波長の光もn_1/n_2の比が十分大きいと遮断される。構成材料をａ－Ｓｉ（屈折率３．２４）およびSiO_2(屈折率１．４６)とする。この材料系で上式により$1/\lambda_l$、$1/\lambda_u$を求めるとそれぞれ$1/\lambda_0$から２５％減、２５％増となる。

また、ＨＦ水溶液によって、Ｓｉを残してSiO_2を選択的に溶かし去ることができる。そのあとを例えば空気で満たすとき、この構造において屈折率比は３．２４：１になり、同様に$1/\lambda_l$、$1/\lambda_u$は$1/\lambda_0$から３５％減、３５％増となる。

以上、説明の便のため$x_1 + x_2$、$y_1 + y_2$は$z_1 + z_2$より十分大きいとしたが、一般にはｘ、ｙ、ｚ方向の周期を同程度にしたいことが多い。３次元周期構造において、任意の方向に向う波は一般に立体角方向ごとに異なる周期を見るので、それぞれの方向ごとの遮断波長帯をもつ。特定の自由空間波長λ_sをもつ光が、その３次元周期構造内のすべての立体的な方向に関して遮断波長帯に共通に含まれるならば、波長λ_sの光をその３次元周期構造の中に完全に閉じ込めることができる。

一例として図９に示すように周期構造を形成した。方向ｘ、ｙ、ｚに対する周

期はそれぞれ０．８７μｍ、０．５μｍ、０．４μｍとなる。材料系はａ－ＳｉおよびＳｉO_2である。数十周期にわたる周期性が確認された。

具体的に示すならば、ｘｙ面内に六方対称、ｚ方向に周期的な構造ではいわゆるブリユアン域は一例として図２３に示す形をとる。波数の原点は六角柱の中心である。比n_1/n_2が十分大きいと、考えている波長λ_sがブリユアン域の表面全体において遮断域に共通に含まれ波が一切放射しない。それよりn_1/n_2が小さくなると例えば図の白い部分を除く表面に対しλ_sは遮断域に共通に含まれ、後に示すように多くの応用には十分である。すなわち六角柱の中心から、灰色で示した領域内の一点へ向かう方向の放射波は抑圧され遮断される。

また、本例においても本出願全体でも「周期構造」という語を用いているが、勿論出願全体を通じて、周期性が厳密に成り立っていることに限定されない。作成条件の周期性からの小さい変化は影響が小さい。あるいは意図的に周期性をわずかに乱すことにより次のような効果を生むことができる。

図２４に示すように、基板上の周期孔を１個または数個を省いて基板を作製し、その上にＳｉO_2／Ｓｉの周期構造を実施例１のごとく形成すれば、周期性の乱れた部分が基板に垂直な方向に線状に形作られる。このような領域に沿って光波を伝搬させることができるので、放射の禁止された特異な空間と外部の空間とを結ぶ光の取り出し口・導入口とすることができる。ゆえに周期構造中のこのような乱れは有用である。

同様に３次元フォトニックバンドギャップ構造中の点状ないし有限長の線状の乱れ、ループ状の乱れは共振器の動作を行う。

図２５には、積層方向および基板面内で、周期を空間的に三つの軸方向ともにゆるやかに変化させて実施例１の方法により形作った３次元フォトニックバンドギャップ構造を示す。３次元フォトニックバンドギャップ構造内の特定の方向をもつ光に関し、Bragg遮断条件を満たす周期の部分が空間内の適当な位置において存在するので、光はその領域で折り返すことになり、広い波長域、広い立体角範囲にフォトニックバンドギャップ構造特性が保証される。ｘ、ｙ方向には変調なく、ｚ方向のみに周期を変調するなどの拡張も勿論可能である。

［実施例３］

本実施例は３次元フォトニックバンドギャップ構造において、光を外部との間で出し入れする導波路や内部で波長を選択する共振器、分岐器などの回路素子の作製方法に関するものである。さきに図２４で説明した通り光を積層面に直角をなす方向に出し入れすることができる。また、図２６は直角格子状の回路素子の形成方法を説明している。石英基板上に図２７に示す如く孔の列を形成する。ここで、線$\Gamma_1\Gamma_4$に沿ってｘ方向の周期にずれを与える。その上にＳｉ／SiO_2を実施例１のプロセスにより積層する。 積層を十分な数繰り返したのち、面$\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$において積層の厚さ方向に図２６に示すずれを与える。この方法により光のパワーを線O_1O_2の近くに局在させ、O_1O_2に沿って伝搬させることができる。

この構造において次のことが生ずる。面$\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$におけるずれにより、光は$\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$から左方にも右方にも、遠ざかるにつれ振幅が指数的に減少するので波は$\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$に沿い局在する。また$\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$におけるずれにより光は$\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$から上方にも下方にも遠ざかるにつれ振幅が指数的に減少する。その両方の作用により波はO_1O_2に沿い局在し、その方向に伝搬が生ずる。

周期性のずれを用いる伝搬路の形成とは別に、屈折率の異なる部分の導入による伝搬路の形成が可能である。図２８には図１に示したＳｉ／$SiO_2$３次元周期構造の作製中の、SiO_2が積層された状態の、ｙｚ断面を示す。表面にレジスト１８を設け、ｙ方向に１周期ないし数周期の幅ＡＡ′をリソグラフィにより取り除く。ストリップ状の開口ＡＡ′からドライエッチングによりSiO_2を一部除去するか、またはそれより深く除去する。これを点線で示す。そこへＳｉをスパッタリングにより埋め戻し、ほぼ原表面に復した後、レジストをリフトオフ法により除去する。この操作によって表面凹凸の周期構造を保ち、その上に実施例１に従ってｚ方向に多数回成膜を続ける。なお上記のプロセスにおいて、断面のｙ方向周期性を甚しく損なわない範囲で、SiO_2のドライエッチング操作を省略すること、またはＳｉによる埋め戻し操作を省略することも可能である。また、上記の構造において、ＳｉとSiO_2の役割を入れ替えることも可能である。

この作製法により光を波長選択性共振、分岐、結合、反射させることができ

る。これらの回路では放射が抑圧されている、ないし放射が生ずる方向が限定されているため放射損失が減少し、従来の光回路では過大な放射損失のため実現できなかった構成が可能になっている。即ち、図２３の例で云うと、考えている回路素子から強く放射の生じ得る方向を、灰色の部分がおおっていれば放射損失を防止できる。上面からの透視図でそれぞれの回路を以下表す。

図２９においては、入射導波路Ａからの光波はＢ、Ｃに分岐される。

図３０には三様の共振器を例示している。共振器Ｂ上に光波が定在波を形成する条件をみたす波長の近傍においてＡからの光波はＣに透過し、それ以外では波は反射される。共振器Ｅは導波路Ｄとのみ結合する。共振条件外ではＤから入った波は内部損失の分を除けば全部反射される。共振条件下では内部蓄積エネルギー、損失、（材料損失と、もし残留していれば、小さい放射損失）ともに増加するので反射係数は低下する。リング状の共振器Ｇ上で光の波長が丁度定在波条件をみたす時ＦからＨへの透過が生ずる。

図３１では、導波路ＡＢとＣＤが局部的に近接し、その部分で両者の横方向に指数的に減少する波が重なり合い、二つの導波路の間のパワーのやりとり、即ち結合を生ずる。

図３２では、Ａ、Ｂの間に幅の狭くなった部分をおき波を部分反射させる回路Ｃ、Ｄの間に短い側路をおき波を部分反射させる回路を示している。

また、屈折率の異なる部分を形成するためには図２８と同じくリソグラフィによってマスクを形成した後、イオン注入法を利用することができ、従って導波路、共振器、分岐器、結合器、反射器などを形成することができる。

放射の抑圧された構造(PBS, Photonic Bandgap Structure)において光回路の接続が飛躍的に自由になる効果を図３３を参照しつつ例示・説明する。導波路ＩＮにより左方から入射した光は分岐器ＢＲにより上下に別れた路をとる。下方の枝を通る光は共振器Ｒ２を経て透過、またはＲ２で反射する。透過する波は結合器Ｃへ向かう。上方の枝を通る成分は同様に振る舞い、透過する成分は結合器Ｃへ向かって、並行する導波路に結合する。合波された信号波はＲＥＦで示す反射器で一部は反射され、一部は出力端ＯＵＴに向かう。

このような操作を通常の光集積回路で行なうことは、過大な放射損失のため実

際は不可能であるが、ＰＢＳの中では電気回路を接続するのと同様に実行することができ、光回路の設計の自由度が飛躍的に増大する。

図３４に示す面内の導波路と図３５に示す面に垂直な導波路とを組み合わせることにより、図３６に一例を示す立体的な光回路を構成することができる。従来の光回路技術では高々一平面内の光回路が実現されているだけであるので、本技術により光回路の設計・作成の自由度は文字どおり新しい次元に入ることができる。

［実施例４］

本発明における３次元周期構造を形成する過程において生ずる、表面の２次元凹凸周期構造の凹み部または凸起部に、選択的に機能物質を導入する方法を以下説明する。積層においても、エッチングにおいても、山部、谷部それぞれをより多く積層ないしエッチする効果がそれぞれ存在することを示そう。図３７には凹凸のある基板に原料物質の粒子が入射する様子を示す。基板に到来し、付着しないで反跳する粒子が基板に再到着・付着する効果は凹部において多い。即ち、原料物質の粒子が反跳する現象は凹部に選択的に堆積する効果をもつ。また、凹部は、凸部の影になり角度分散のある入射粒子が遮られるため、凸部に比べて堆積が少なくなる効果をもつ。一方、付着した粒子は熱エネルギにより基板表面を動き回ることができる。これはマイグレーションと呼ばれる。マイグレーションにおいては、平均的に温度の高い部分から低い部分へ粒子がいわば吹き寄せられるような移動が生ずる。基板上では通常凹部が凸部より温度が高く、凹部から凸部への移動が生ずる。スパッタエッチングにおいても同様に凹部が多くエッチされる機構、逆に凸部がより多くエッチされる機構が存在する。即ち、気体イオンによるスパッタエッチングにおいても反跳イオンは存在し、反跳イオンは凸部より凹部をより多く侵食する。一方、以前に図８で説明した通り、水平面より傾斜部はより深くエッチされるので、もし表面が図３８の形をしていれば谷部がより深く、表面が図３９の形をしていれば山部がより深くエッチされる。

以上を要約すると、成膜条件、スパッタエッチ条件、造影効果、表面粒子の移動しやすさ、表面形状など諸条件の適切な選択によって堆積においては山部を厚くも谷部を厚くも成膜でき、エッチングについては山部を深くも谷部を深くも除

去できる。

本発明において、パタン形成法が少なくともう一つある。機能性ゲスト材料を山または谷の平坦部に堆積し傾斜部に堆積しないようにすることもできる。即ち、凹凸表面にゲスト材料をほぼ一様な厚さに堆積し、引き続きスパッタエッチにより、平坦部をより浅く、傾斜部をより深くエッチすることによりゲスト材料を傾斜部には残さず平坦部であるところの山頂と谷底とに残すことができる。

図４０は３次元の金属・絶縁物・金属（ＭＩＭ）トンネル接合とその作成法を説明するためのものである。実施例１のように、基板３（溶融石英）上に凹凸パタンを形成し、その凹部に金属２１の領域（例えばアルミニウム）を形成する。酸素を一時導入して２１の表面を酸化し、さらに凸部に金属２２の領域を形成する。但しＡｌは絶縁膜（アルミナ）を作るためにのみ用いて、金属２１、２２をＰｔ、Ｗ、Ｔｉなどとすることも可能である。その上にSiO_2の凹凸パタンを形成し、以下繰り返すことにより、金属・絶縁物・金属トンネル接合の高密度３次元列を形成することができ、マイクロ波（ミリ波、サブミリ波を含む）の検出器として小型で高効率なデバイスを実現することができる。なお図４０において、ｘｙ面上のパタンをｙ方向に引き伸ばされた線状またはすだれ状のパタンとして２次元化することができるのは云うまでもない。

なおＭＩＭのトンネル接合としては各横方向周期に対応して接合を作る（図４１）の他に図４２のように積層化させる方法や図４３、図４４のような島状膜を用いてトンネル電流を流すこともできる。但し、図４１や図４２では金属膜が厚い場合、積層（ｚ）方向で光が透過しないのでＰＢＳとの組み合わせの仕方が制限される。例えば図４５、図４６、図４７の形で用いる方法（なお図中のＦＵ（Functional Unit：機能単位）はＭＩＭトンネル構造の複合体である。）、あるいは積層させて、面に沿う方向に光を伝搬させる方式が可能である。膜厚の薄い場合はこの種の制限がない。なお、ＭＩＭの利用法としては非線形のＩ－Ｖ特性を利用した、スイッチや検波・混合などへの応用と注入による発光を利用するもの（プラズモン発光）が可能である。非線形Ｉ－Ｖ特性等の電気特性によるスイッチング等の電子機能を用いるときは不透明のホスト材料を用いてもよい。

［実施例５］

２種類以上の材料から構成される３次元周期構造体において、構成材料をＳｉＣやＳｉなどの導電性材料とすることができる。その構造においてヘテロ接合受光器を形成するなど、電子素子とフォトニック・バンドギャップ（ＰＢＧ）効果を利用した光学素子を融合させた性質を持つデバイスを作製することができる。

以下、より詳しく説明する。その準備として、機能材料（Ｆとする）又は機能単位（ＦＵ）をフォトニック・バンドギャップ構造（ＰＢＳ）に導入する方法を３つに分類する。

（イ）ＦＵをＰＢＳ構造に囲まれる形（領域）に導入する方法（図４５、図４６、図４７）

（ロ）ＰＢＳを構成する周期的に用いる物質（SiO_2やａ－Ｓｉ）の一部にＦを挿入して用いる方法（図４８）

（ハ）ＰＢＳを構成する周期的に用いる物質（SiO_2やＳｉなど）の一方を機能物質で構成する方法（図４８）。

上のいずれの形で用いるかによって半導体や金属の構造などの構成が変わる。

以下に示す例では（イ）（ロ）（ハ）の諸例が示されている。この場合、ＰＢＳを構成する２つの物質Ａ、Ｂの構成法には下記の如く少なくとも４通りのものが考えられる。

（表１）

	タイプ１	タイプ２	タイプ３	タイプ４
物質Ａ	半導体Ａ	２種の半導体A_1，A_2の複合膜	半導体Ａ	A_1，A_2の複合膜
物質Ｂ	半導体Ｂ	半導体Ｂ	絶縁膜と半導体Ｂの複合膜	絶縁膜

ＰＢＳを構成する材料をＳｉやＳｉＣなどのようにすべて半導体にすると屈折率の差が小さくなるため、すべての方向に遮断帯またはある波長域における遮断特性を保つことは困難になるが、主軸方向に沿ってはバンドギャップが維持される。この種の構造では積層方向に伝導性が得られるので、様々な新しい機能が達成できる。例えばｐ形、ｎ形になるように各々の層を適当にドープすることにより、多重又は一対のｐｎ構造が得られるので、整流性が得られ、逆バイアスを加えた状態ではｐｉｎ検出器として利用でき、順バイアスされた接合では発光素子として利用できる。なお、ＰＢＳを構成する半導体Ａ、Ｂにおいて一方又は双方を超薄膜の多層構造で構成すると、量子井戸や２重障壁構造などを作り込むことができる（タイプ２）。この場合、①共鳴トンネル効果に伴う負性抵抗特性や、②順方向にバイアスされた量子井戸では２次元電子・正孔の注入に伴う発光吸収・屈折率の変調効果、さらに③逆バイアスされた量子井戸に見られるシュタルク効果（電界に伴って吸収率や屈折率の変化する効果）が現れる。

さらに（タイプ３や４のように）、絶縁膜を使用した構造では積層方向に電流を流すのは困難となるが、量子井戸薄膜の効果や絶縁膜中に分散したシリコン超微粒子などの持つ注入発光などの光学的特性があらわれる。

［実施例６］

本実施例では、光学的分極率が非線形性をもつ物質、あるいは非線形物質を媒質中に３次元周期的に配列した構造およびその作成方法とその効果を述べる。前記媒質は実施例２で説明した周期的な構造であっても良い。

説明の順序として、従来の技術を略述する。Ｃｕ、Ａｕ、Ａｇなどの微粒子は非線形分極率をもつので、ガラス基板上に微粒を形成して、その上にレーザ光を照射して高調波を発生させ得ることが知られている。この場合、高調波は、空間にランダムかつ平均的には一様に存在する微粒から発生するため基本波レーザ光と一定の位相関係をもたせることができない。

実施例１で説明した通り石英基板上に周期的凹凸を形成し、その上にスパッタエッチングを少なくとも一部分に含みつつSiO_2膜を堆積する。その上にＣｕ、Ａｕ、Ａｇなどの膜を堆積し、熱処理を行うと堆積時の跳ねかえり（反跳）により凸部より凹部により多く積層される。ただし成膜時の温度やイオン衝

撃エネルギによる粒子の表面移動の効果を利用して凸部により多く積層することもできる。これらの効果により２次元周期形状を呈する。

（１）その上にSiO_2膜を形成して以下繰り返すことができる。この方法によれば均質なSiO_2媒質中に非線形分極率をもつ物質が３次元周期的に配列する。故に、前述の方法で高調波を発生させたとき、配列要素間に一定の位相差が生じ、その干渉の結果、空間の特定な方向に高調波を効率よく放射させることができる。（２）その上にＳｉ膜を形成し、（その上にＣｕ、Ａｕ、Ａｇなどの膜を形成してもよく、形成せず直ちにでもよく）その上にSiO_2膜を形成し以下くり返すことができる。この方法によれば、（１）の方法の効果に併せて、ＰＢＳの効果により高調波の放射の生ずる方向の数を一つにする、ないし（１）よりも制限することができるという効果がある。

金属微粒子だけでなく、$LiNbO_3$、$LiTaO_3$、$KNbO_3$などのニオブ酸・タンタル酸系物質は非線形光学効果をもち、スパッタリング等により薄膜化が可能であるので、それを（１）ないし（２）の方法で３次元周期構造化して非線形特性を利用することができる。

あるいは図４９に断面を示すように、凹凸をもつSiO_2の上に$LiNbO_3$（または$LiTaO_3$、$KNbO_3$など）を薄くスパッタし、スパッタエッチングにより斜面部のみを除去して山部、谷部を残し、繰り返すことにより３次元周期構造を形成することもできる。

［実施例７］

実施例６の（１）に書いたように、一様な第１のホスト透明体の中に第２の微小なゲスト透明体を３次元周期構造体として導入することができる。これは３次元の透過または反射回折格子として利用できる。ゲストは３次元的に分布するので、入射波からみたとき大きい回折断面積、即ち高い回折効率を得ることができる。なお、必要によっては表面の凹凸をバイアススパッタリングによって平滑化することができる。

［実施例８］

図５０は発光・光増幅機能をもつ物質を含む３次元の周期構造体とその作成法を説明するためのものである。実施例１のように、石英基板上に凹凸パタンを形

成し、その上に活性元素Ｅｒを含むSiO_2の領域を形成する。その上にＳｉの領域を形成する。その上にSiO_2の凹凸パタンを形成し、以下繰り返すことにより、発光・光増幅機能をもつ物質を含む３次元の周期構造体を形成することができる。

この系は光励起により１．５μｍ帯の光を発生・増幅することができる。ブラッグ遮断の効果により、励起されたＥｒイオンが自発発光によりエネルギーを失う率が激減するので、光発生・増幅の効率が高まるという効果がある。なおSiO_2にＹ、Ｎｄなどをドープすることができる。稀土類のほかに、ＣｄＳなど半導体の微結晶を実施例６のごとく成膜途中の２次元凹凸界面に導入することにより光発生・増幅を行わせることができる。

図５１に示すように、物質２０（SiO_2）の凹凸面の上にＣｄＳやＣｄＴｅなどの微細結晶からなる超薄膜を形成し、スパッタエッチングにより斜面部のみを除去して山部、谷部を残し、そのうえに物質１９（Ｓｉ）を堆積する。この過程を繰り返して、SiO_2とＳｉからなるＰＢＳの中に微細なＣｄＳやＣｄＴｅなどの結晶群を３次元周期的に形成することができる。ＣｄＳやＣｄＴｅなどを励起すると光を放射することができるが、ＰＢＳの中の放射が遮断される方向には自発再結合発光がないので励起状態分子の利用効率が高い。

［実施例９］

本実施例では、電気光学効果をもつ物質を３次元周期構造内に配列した構造、その作成方法例と作用効果を述べる。

実施例１で説明した通り石英基板上に周期的凹凸を形成する。SiO_2、Ｓｉを順次（スパッタエッチを含みつつ）成膜する。Ｓｉはノンドープとする。ついで電極としてSiO_2／Ｓｉの１周期ないし数周期、導電性をもたせつつ成膜する。（なおＳｉにはｎ型（またはn^+）、ないしｐ型（またはp^+）を用いる。これらにより導電性を持つ層をＰＢＳ特性を保持したまま形成できる。

ＰＢＳ内部に液晶物質を導入し、ここで述べた電極により電圧を与えれば、液晶の配向を制御することができ、複屈折や屈折率を制御することができ、可変波長共振器を形成できる。

［実施例１０］

半導体レーザなどの発光素子を３次元周期構造体中に作り込むことにより、発光素子が本来持っている自然放出光の放射を抑えることができ、これによってしきい値電流を極めて小さくすることができる。

図５２には、面発光レーザあるいはマイクロキャビティレーザ(Microcavity Laser)を３次元ＰＢＳ内に作製した構造を示す。当該レーザから出力導波路への結合を除いて、他の方向への自発再結合発光は著しく抑圧されるので、レーザ動作しきい値が減少し有利である。

また図５３には３次元ＰＢＳとレーザを一体集積する方法および当該構造を示す。化合物半導体基板（例えばＩｎＰまたはＧａＡｓ）上に２次元凹凸を形成し、その上に実施例１、２の方法でSiO_2／ａ－Ｓｉ等の３次元ＰＢＳを形成し、ドライエッチングにより基板上にとどく孔を形成する。その面の上にエピタキシャル成長により半導体レーザを作る。この構造では横方向への不要放射が禁止、または抑制されるのでレーザ動作しきい値が低下して有利である。図５２および５３において、電極とリードは別に設けてもよく、あるいはＰＢＳ中のＳｉにドープして電気伝導性をもたせ、電極とリードの役目をさせることもでき

［実施例１１］

また、ＰＢＳのプログラマブルレーザへの次の応用が可能である。別項（実施例２および図２３）で述べたように、特定モードしか許されないＰＢＳ構造の内部に電気的に励起できるｐｎ接合や光学的に励起のできる色素などを設けた複合素子では、許されたモードに関与した発光過程のみが許され、他の自然光が特定方向に沿ってのみ放射される。こうしたＰＢＳにおいてはその構成要素に電気光学効果のある材料を用いるとフィルター特性が外部電圧によって制御できるので、発光素子のスペクトルや発光方向を電気的にプログラムできる。

［実施例１２］

フォトダイオードなどの受光素子を導波路で外部と結合された、ＰＢＳ特性をもつ３次元周期構造体中に作り込むことにより、受光器への外部からの放射即ち雑音入力を抑えることができ、これによって入力雑音の低下と受光感度の向上を図ることができる。また放射立体角の消失または減小に基き零点ゆらぎの自由度が消失または減小し、雑音がいっそう減小する。

さらに、プログラマブル受光素子を実現することが次のようにしてできる。完全なＰＢＳ構造の内部に特定の波長域にだけ感度を持つようなｐｎ接合や光伝導形の受光素子を組み込むと外部からの信号光も背景光も感光部に到達しない状態となる。この状態からわずかにずれたＰＢＳを用いると、特定の波長の光のみが特定の方向から光検出部に到来する。従ってこの複合素子は入射光の波長と方向（波数）に強い選択性のある複合素子に用いられる、ＰＢＳにおいてその構成要素に電気光学効果のある材料を用いるなどフィルター特性が外部電圧の印加によって変化できるので、受光素子の応答特性を電気的にプログラムすることができる。

［実施例１３］

図１８に示すように基板上の直交するｘ軸、ｙ軸を対称軸とした２次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に、共通の周期的凹凸をもつ２種類以上の透明物質を周期的に積層すれば、遮断周波数領域を除く一般の波長域で、その立体構造は実効的光学誘電テンソル

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

をもつ２軸異方性の人工媒質として機能する。適切な設計によれば、天然物質と異なりある範囲の媒質定数を連続的に実現できる、また遮断域近傍で現れる強い分散性のため極めて大きい異方性が実現できるという性質がある。

産業上の利用可能性

以上のように、請求項２あるいは請求項４あるいは請求項６の方法によれば、スパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いる技術の形状整形効果を活かして、極めて微細な、３次元的に周期的な構造体を工業的に作製することができるので、フォトニックバンドギャップ効果を実現できる。

請求項９によれば、前項の技術を更に発展させ、３次元周期構造の内部に光学

的分極率が非線形性をもつ物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質などを周期的に設けることができ、多種多様な電子機能、光機能が可能となる。

請求項１０によれば、３次元周期構造の内部に発光性あるいは光増幅性物質を周期的に設けることができ、高効率な光能動素子が可能となる。

請求項１１によれば、周期的な凹凸をもつ２種類以上の膜状透明物質をほぼ周期的に順次積層した構造をもつ３次元的にほぼ周期的な構造体、即ち光波長のある範囲で遮断特性をもつ人工媒体の中に、導波路あるいは共振器あるいは分岐器あるいは結合器あるいは反射器、または受光器等の機能部品を集積することができ、無放射特性の利点を活用することができる。

請求項１２によれば、３次元周期構造の内部に半導体レーザを設けることができ、自然放出光損失のない高効率のレーザ作用が実現できる。

請求項１３によれば、基板の上の直交するｘ軸、ｙ軸を対称軸とした２次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に共通の周期的な凹凸をもつ２種類以上の膜状透明物質を周期的に順次積層した構造を実現できるので、任意の値の対角形誘電率テンソルで表される光学的２軸異方性を実現することができる。

請求の範囲

1. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いることにより形成したことを特徴とする3次元的に周期的な構造体。

2. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いることにより3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。

3. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、周期中のそれぞれ少なくとも一部分においてスパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとがなされている事を特徴とする3次元的に周期的な構造体。

4. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、周期中のそれぞれ少なくとも一部分においてスパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとがなされることにより3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。

5. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に主としてSiO_2からなる層と主としてSiからなる層とを含む少なくとも2種以上の層を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分をスパッタエッチングとスパッタデポジションとを交互に、または同時に行なうことにより形成したことを特徴とする3次元周期構造体。

6. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に主としてSiO_2からなる層と主としてSiからなる層を含む少なくとも2種以上の層を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分をスパッタエッチングとスパッタデポジションとを交互に、または同時に行なうことにより3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。

7. 基板の上に1個以上の孔・溝を設け、その上にスパッタエッチングと拡散

性のデポジションをそれぞれ少なくともその一部に含む過程により、孔・溝をより深く、またはその屈曲部をより鋭く整形することを特徴とする膜の製造方法。

8. 基板の上に1個以上の孔・溝を設け、その上にスパッタエッチングと拡散性のデポジションをそれぞれ少なくともその一部に含む過程により、孔・溝を空洞に転化する効果をもつことを特徴とする膜の製造方法。

9. 2次元的に周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状物質を、請求項2または請求項4または請求項6の方法により周期的に順次積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の少なくともその一部分において、または2次元的に周期的な凹凸をもつ1種類以上の膜状物質を周期的に積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の膜の界面において、光学的分極率が非線形性をもつ物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質を含むことを特徴とする構造体。

10. 2種類以上の透明体よりなる、請求項2または請求項4または請求項6の方法により作成された3次元的に周期的な構造体の少なくともその一部分において、発光性あるいは光増幅性物質を含むことを特徴とする構造体。

11. 2次元的に周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質を周期的に順次積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の内部に、導波路あるいは共振器あるいは分岐器あるいは結合器あるいは反射器を含み一直線上にまたは一平面内または立体的に配置したことを特徴とする構造体。

12. 2種類以上の透明体よりなる、請求項2または請求項4または請求項6の方法により作成された3次元的に周期的な構造体の内部に、半導体レーザまたは受光器を含むことを特徴とする構造体。

13. 基板の上の直交するx軸、y軸を対称軸とした2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に共通の周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質を周期的に順次積層した構造をもち、光学的に2軸異方性を示すことを特徴とする透明3次元周期構造体。

14. 1次元的に周期的な溝列、または2次元的に周期的な有限な長さの溝列をもつ透明基板の上に、基板と同種の物質による、基板と凹みの位置の一致した溝をもつ膜と、主として溝に埋め込まれた第2の透明物質とを、スパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとをそれぞれ少なくとも一部分において行なう

ことにより回折作用をもつ層を複数回積層して作成することを特徴とする、回折格子の作成方法。

１５．　光に対し回折作用をもつ層を複数層有することを特徴とする光回折格子。

Fig. 1

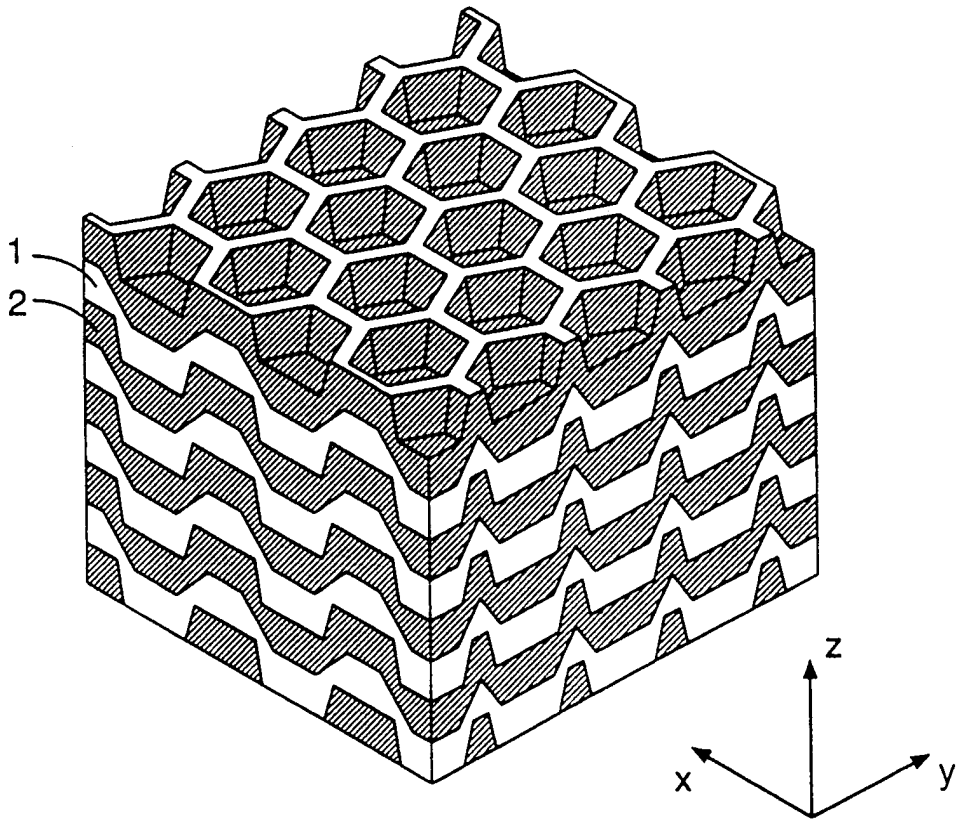


Fig. 2

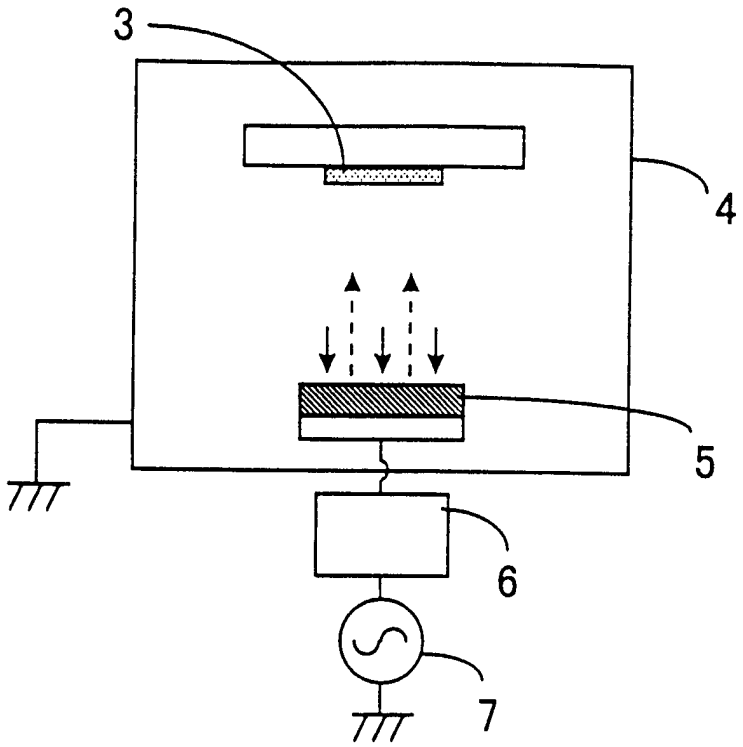


Fig. 3

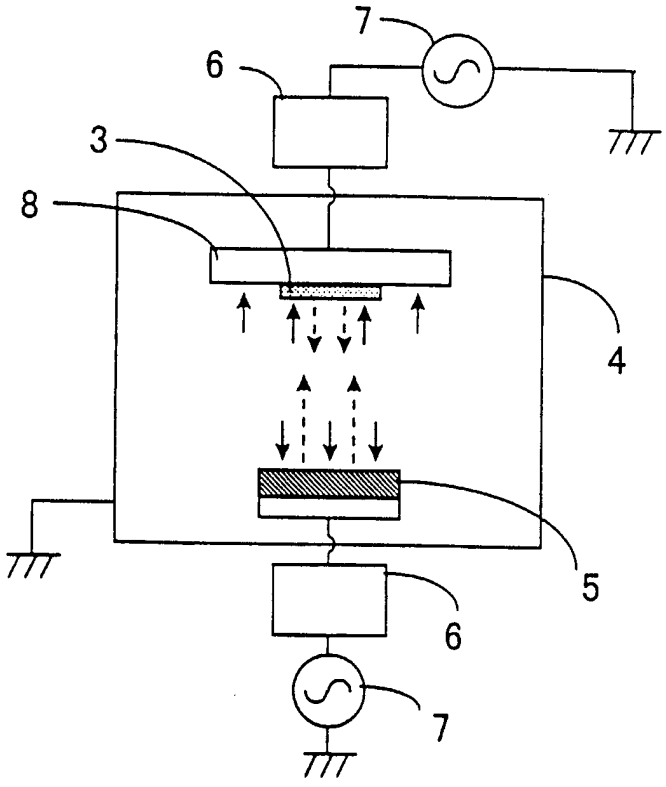


Fig. 4

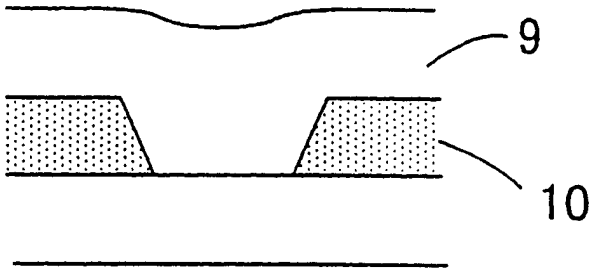


Fig. 5

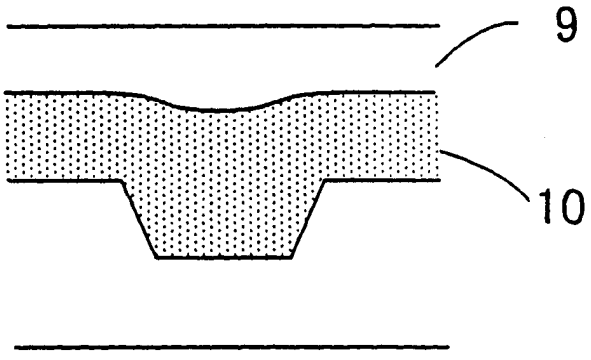


Fig. 6

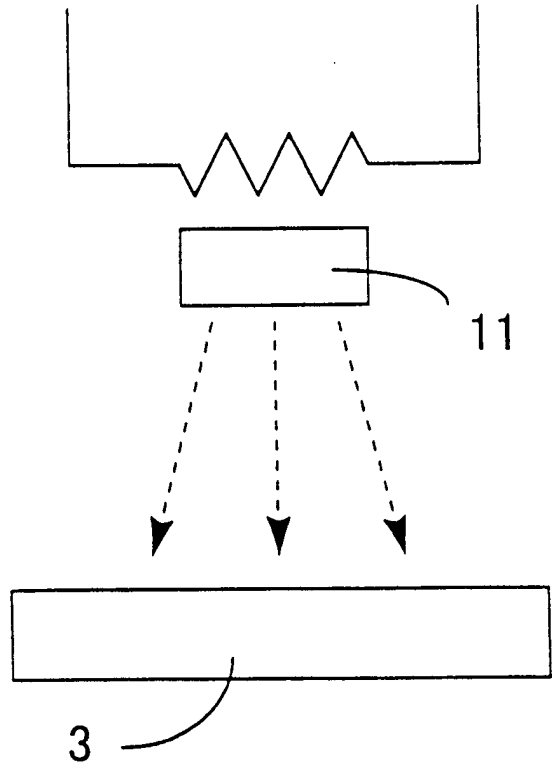


Fig. 7

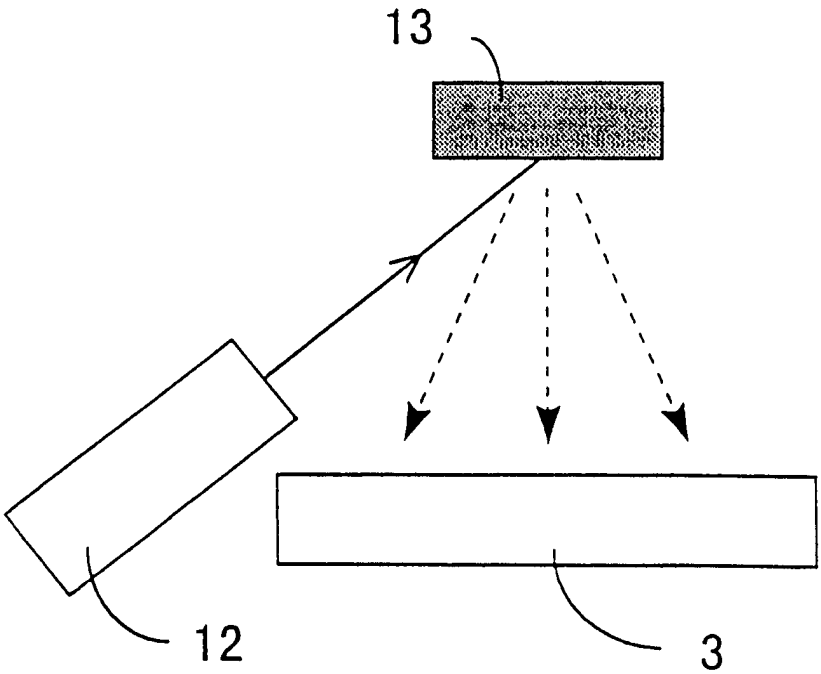


Fig. 8

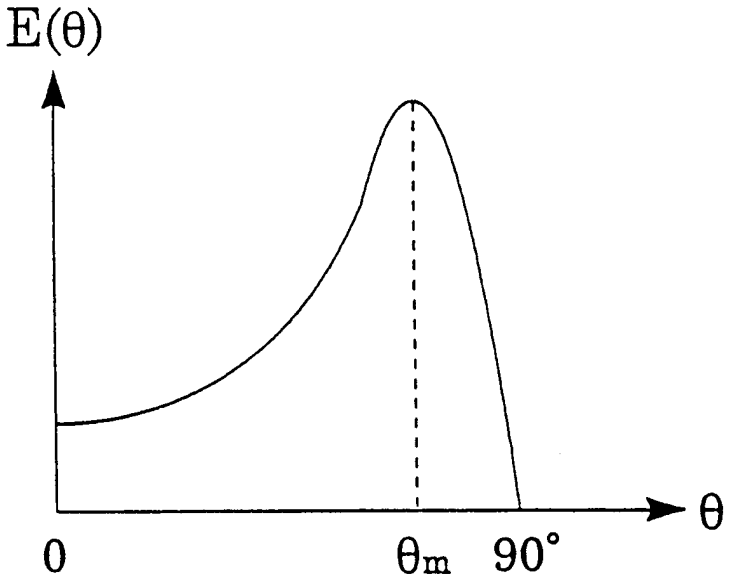


Fig. 9

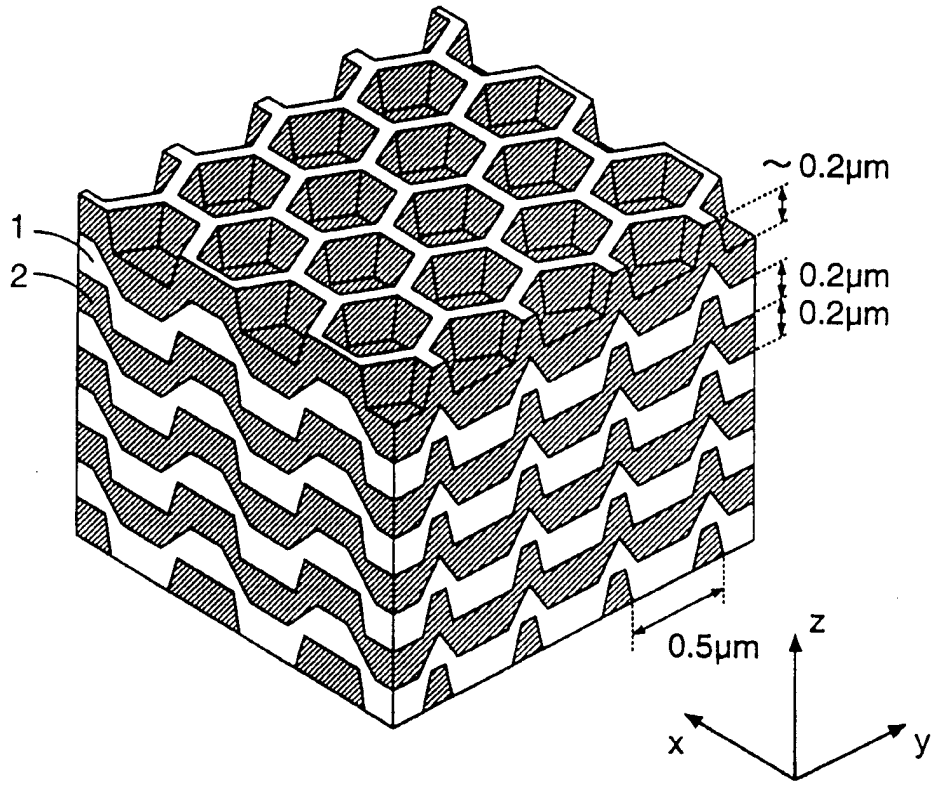


Fig. 10

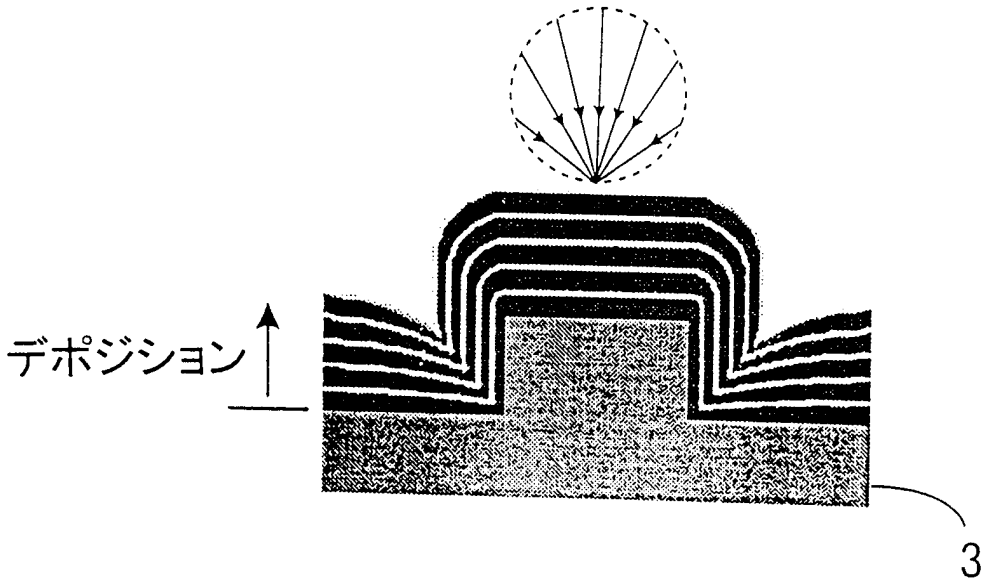


Fig. 11

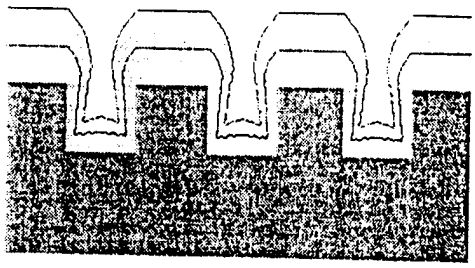


Fig. 12

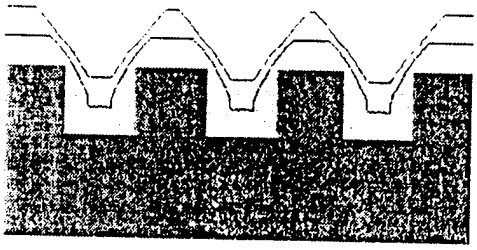


Fig. 13

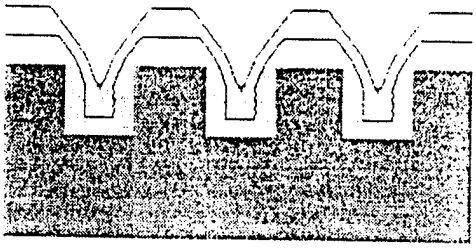


Fig. 14

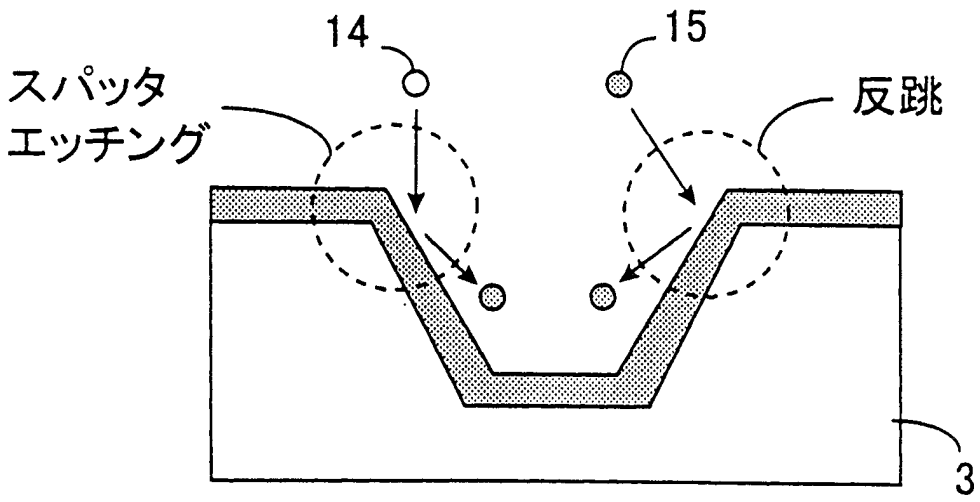


Fig. 15

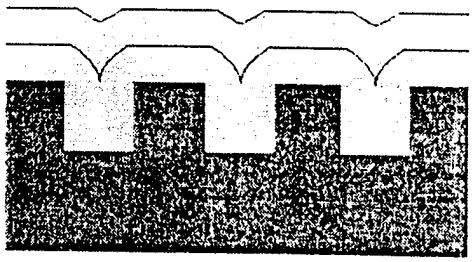


Fig. 16

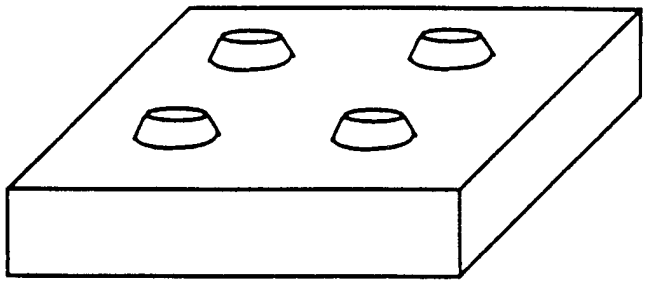


Fig. 17

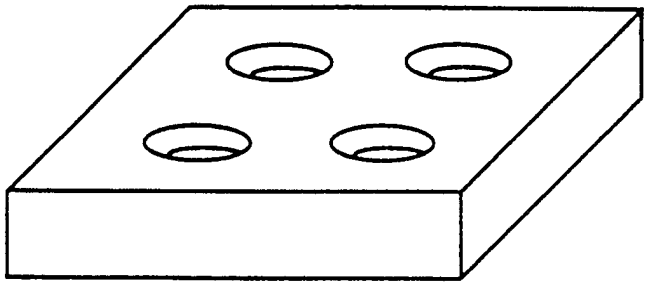


Fig. 18

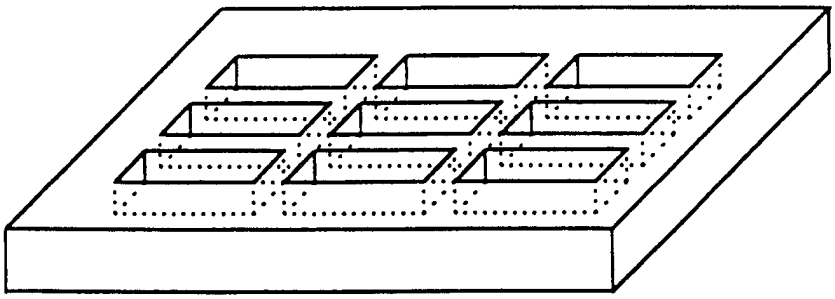


Fig. 19

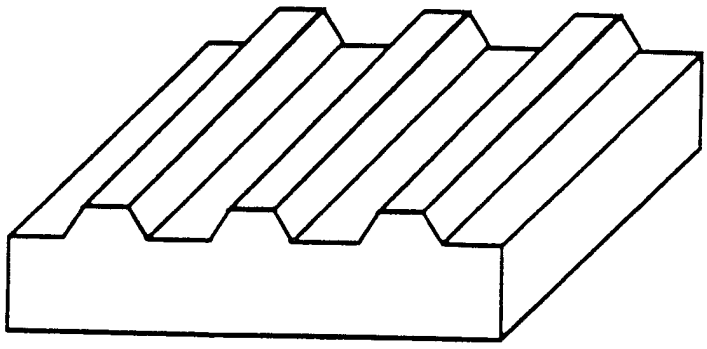


Fig. 20

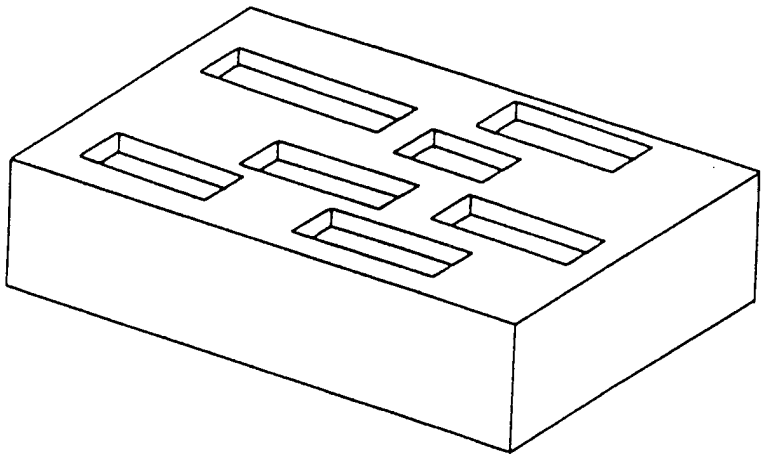


Fig. 21

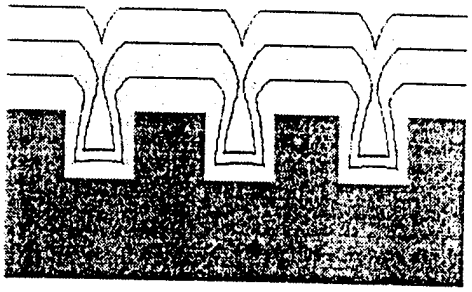


Fig. 22

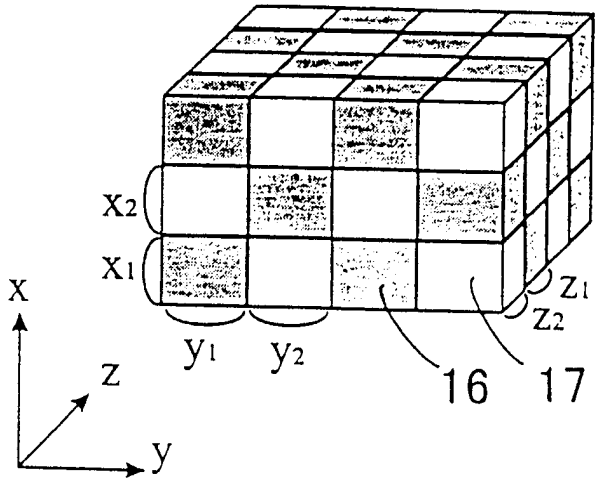


Fig. 23

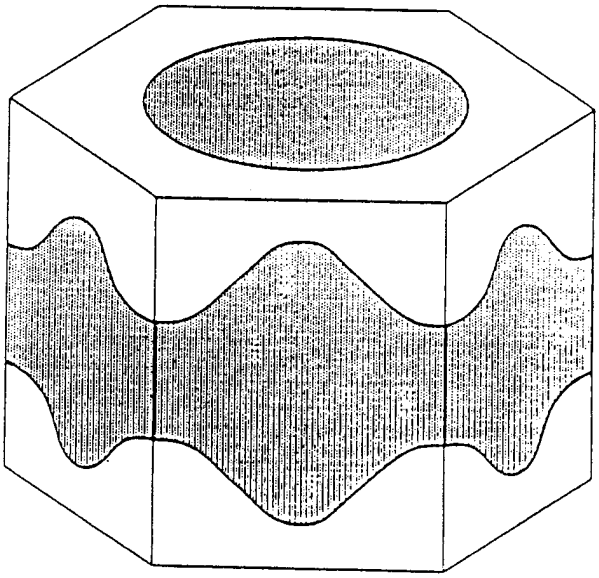


Fig. 24

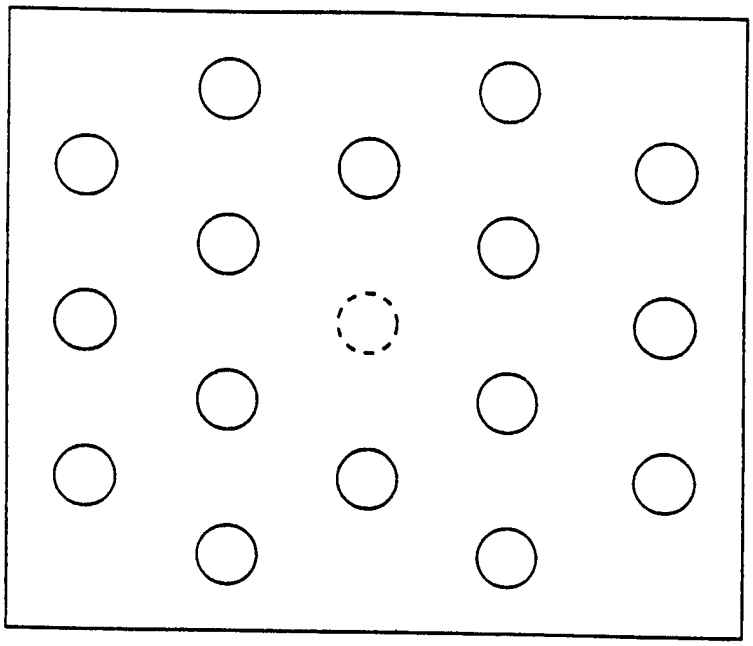


Fig. 25

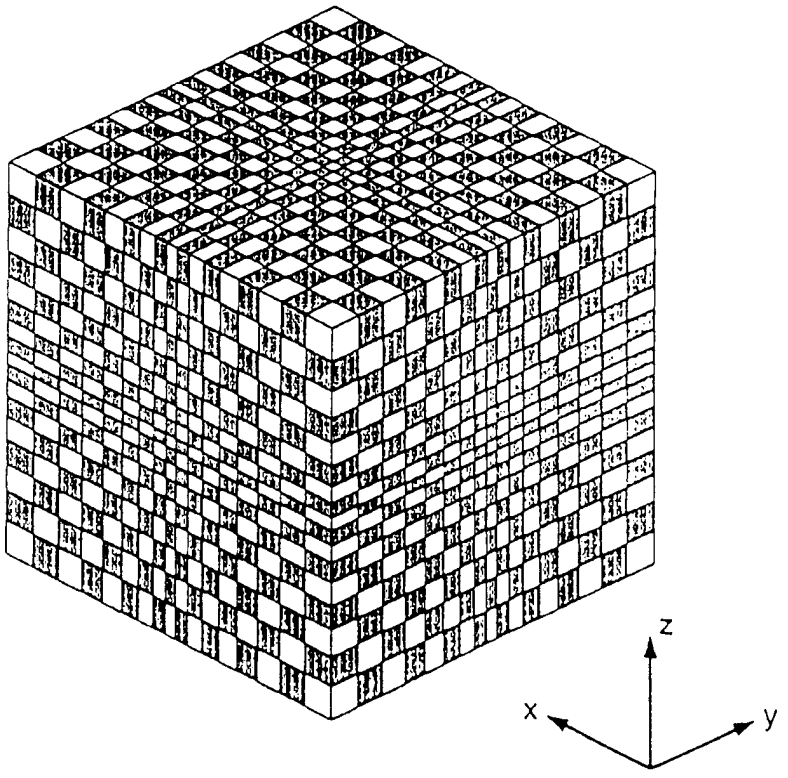


Fig. 26

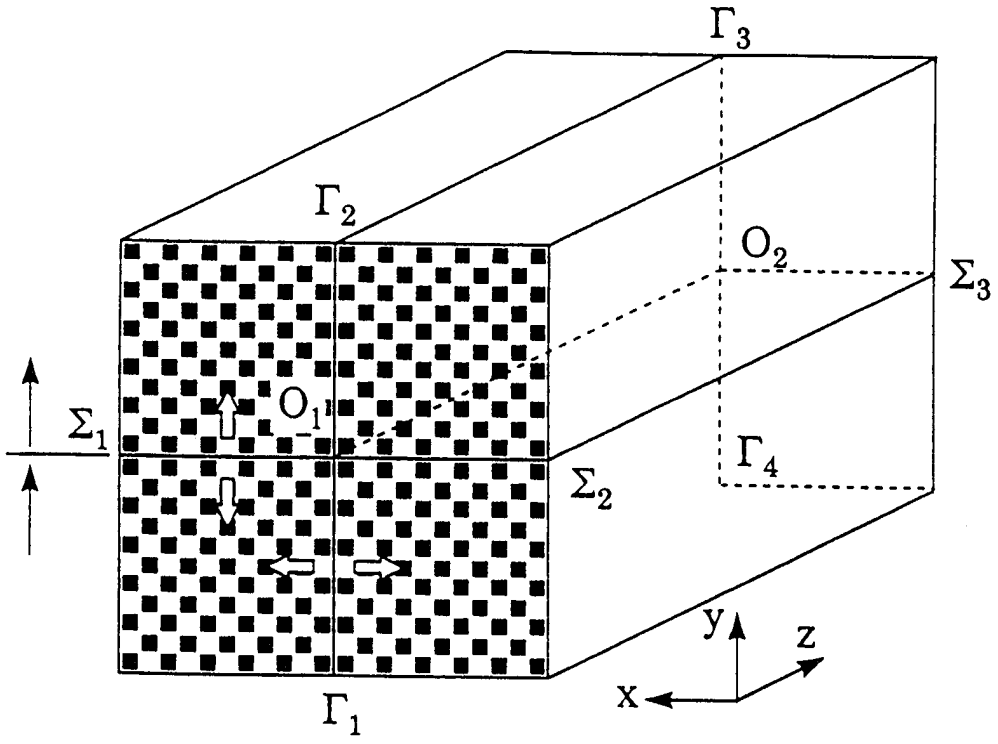


Fig. 27

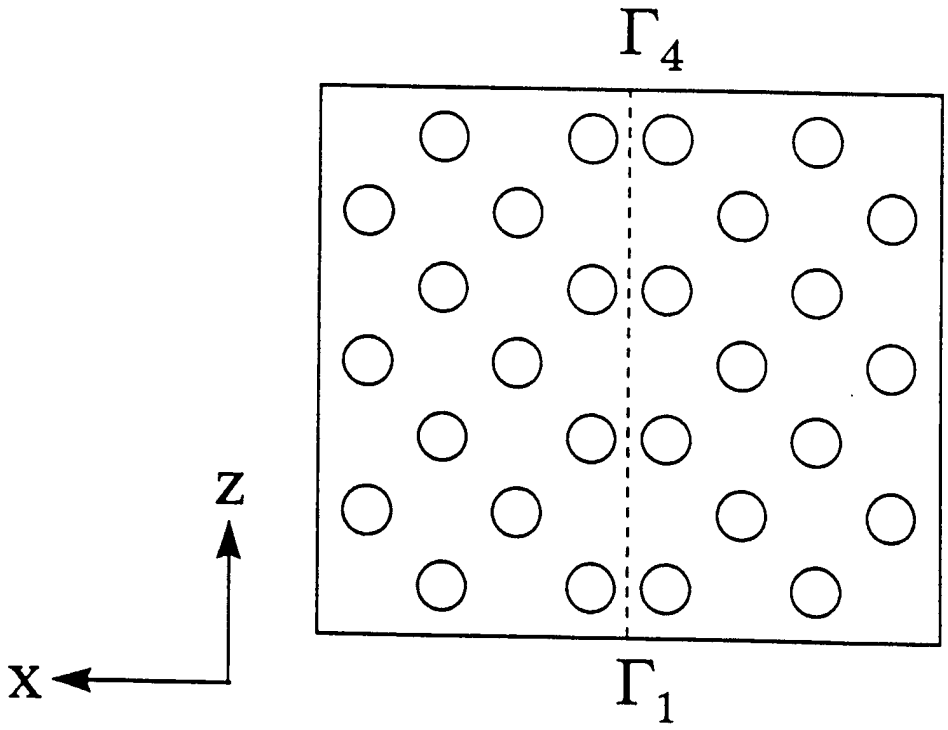


Fig. 28

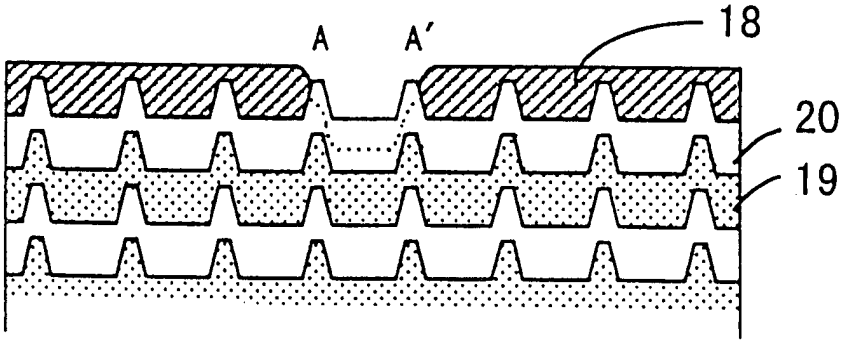


Fig. 29

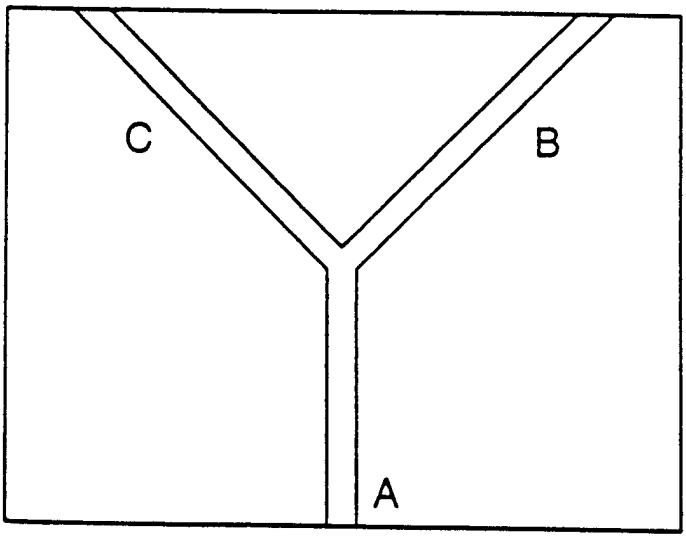


Fig. 30

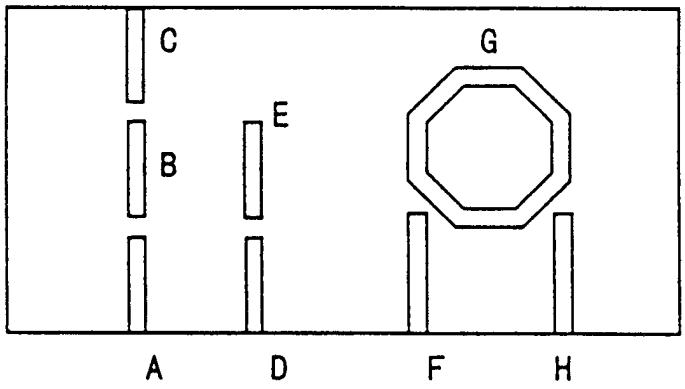


Fig. 31

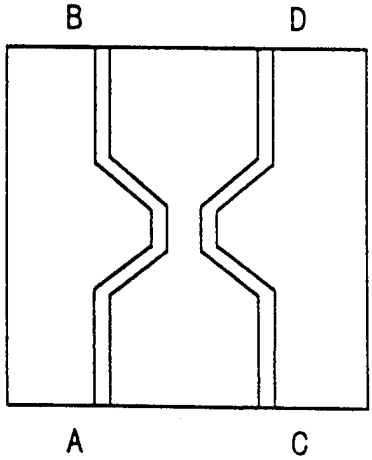


Fig. 32

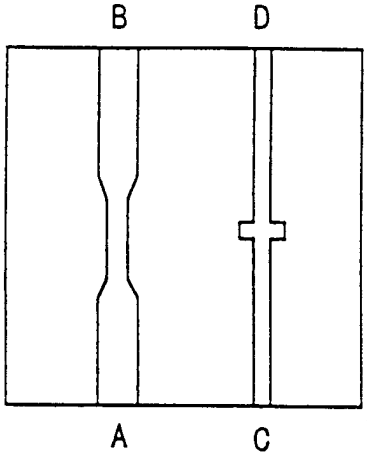


Fig. 33

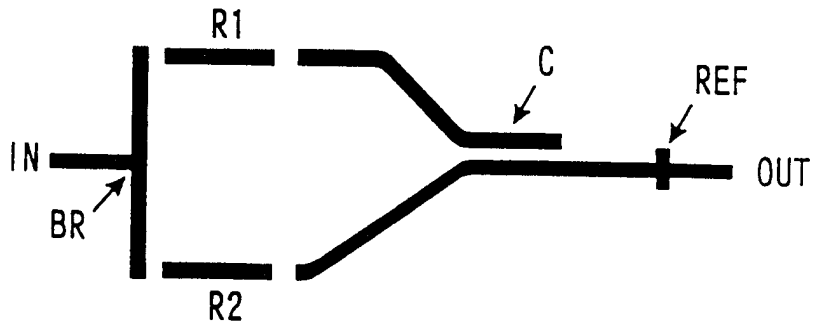


Fig. 34

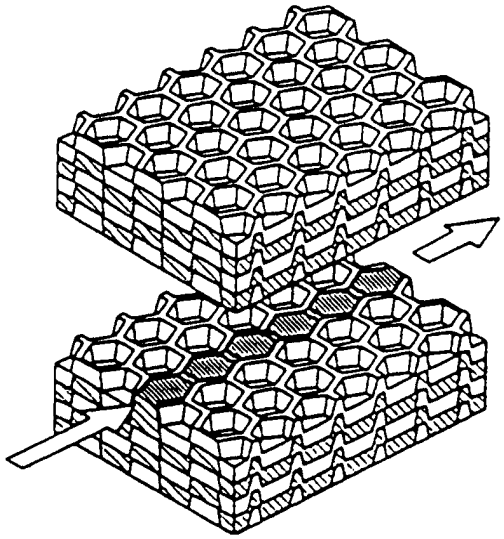


Fig. 35

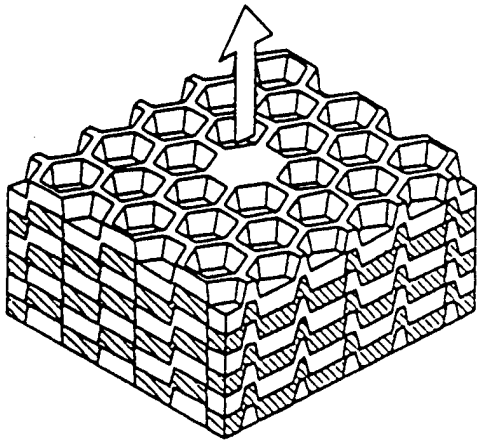


Fig. 36

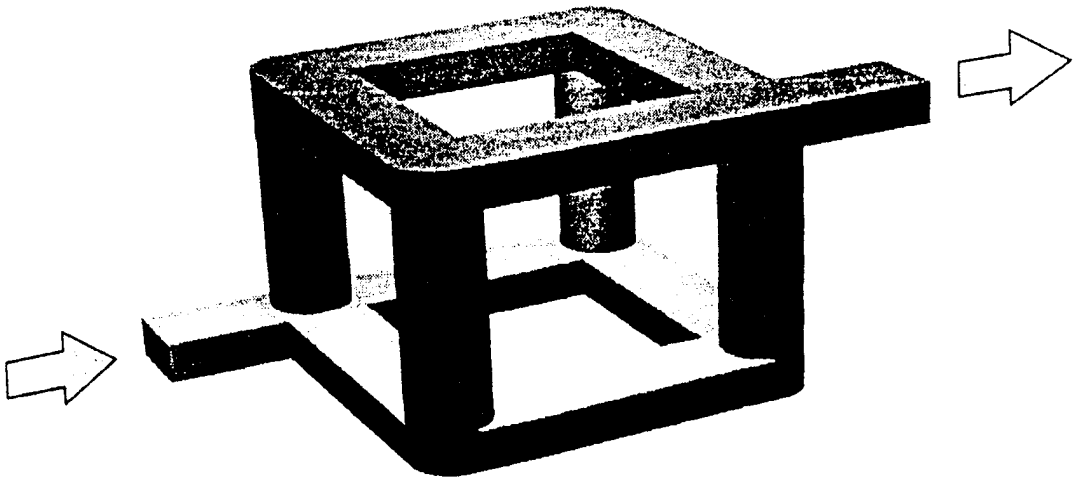


Fig. 37

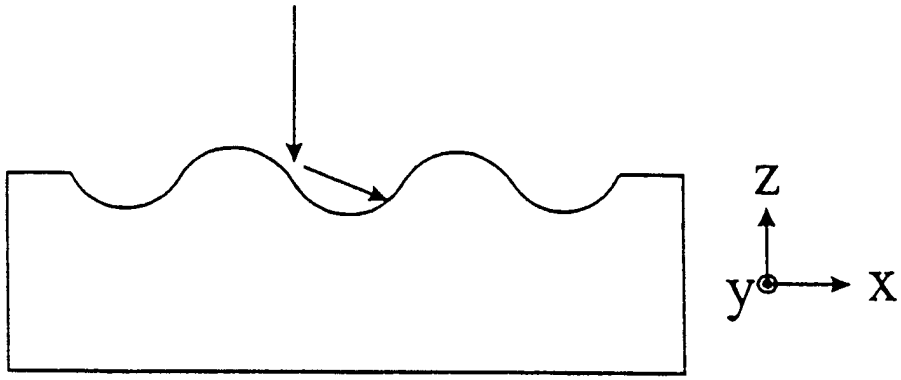


Fig. 38

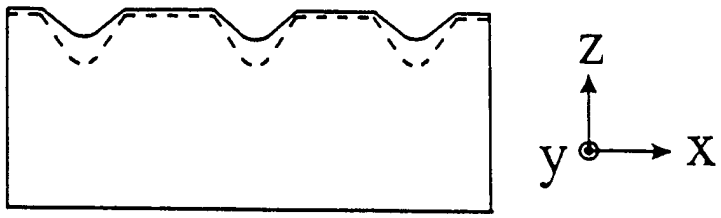


Fig. 39

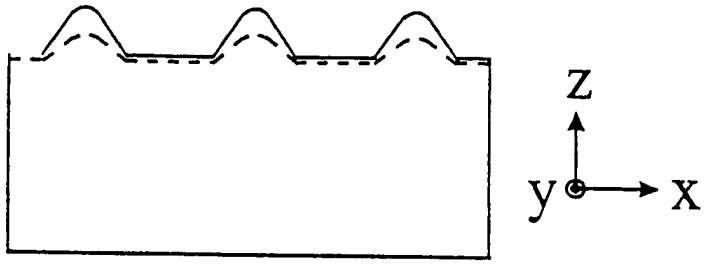


Fig. 40

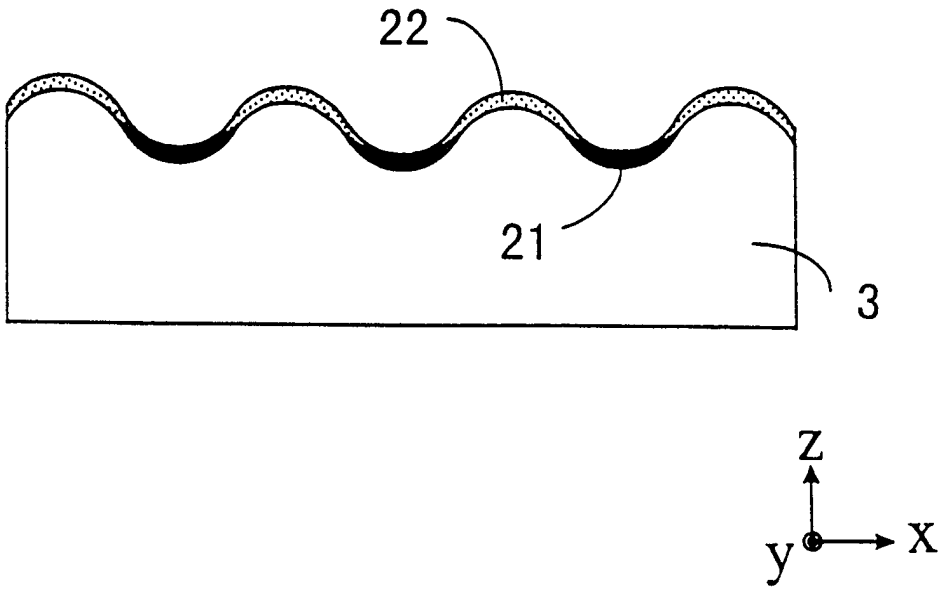


Fig. 41

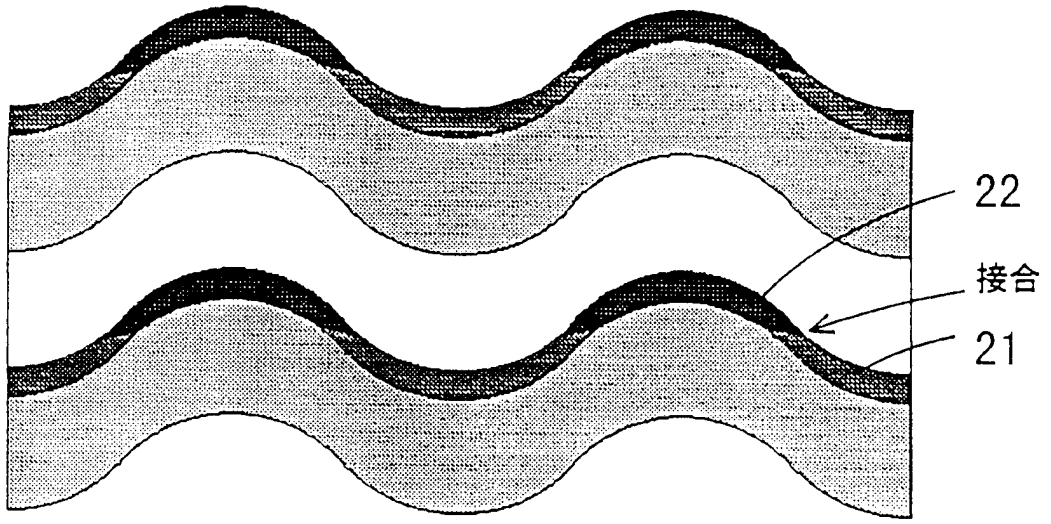


Fig. 42

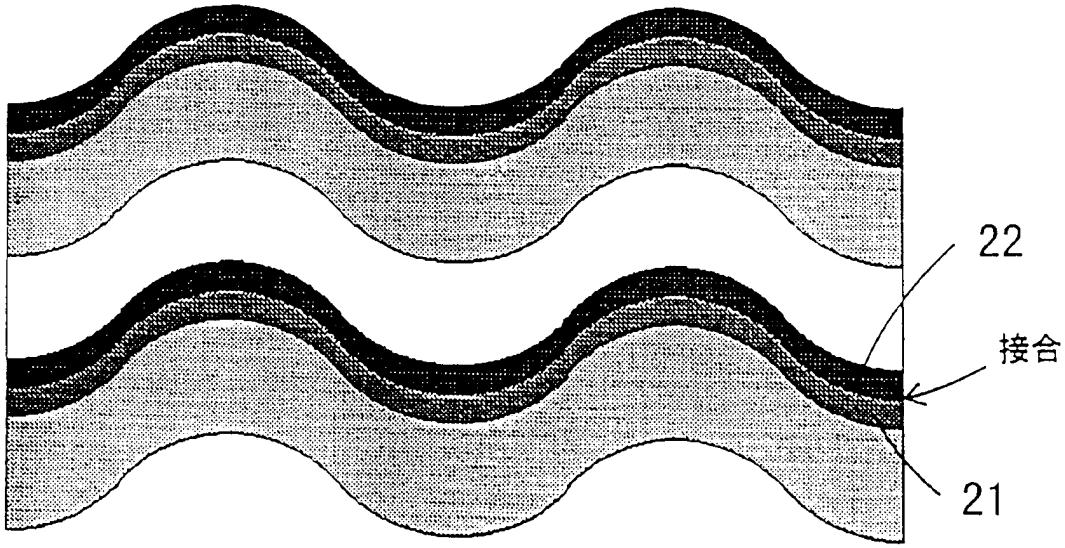


Fig. 43

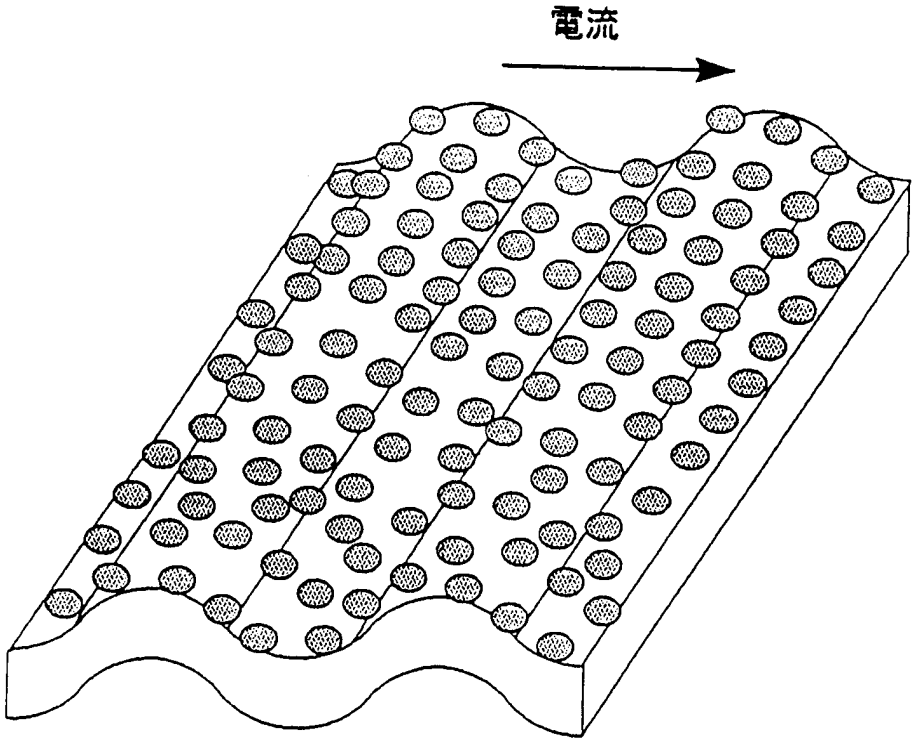


Fig. 44

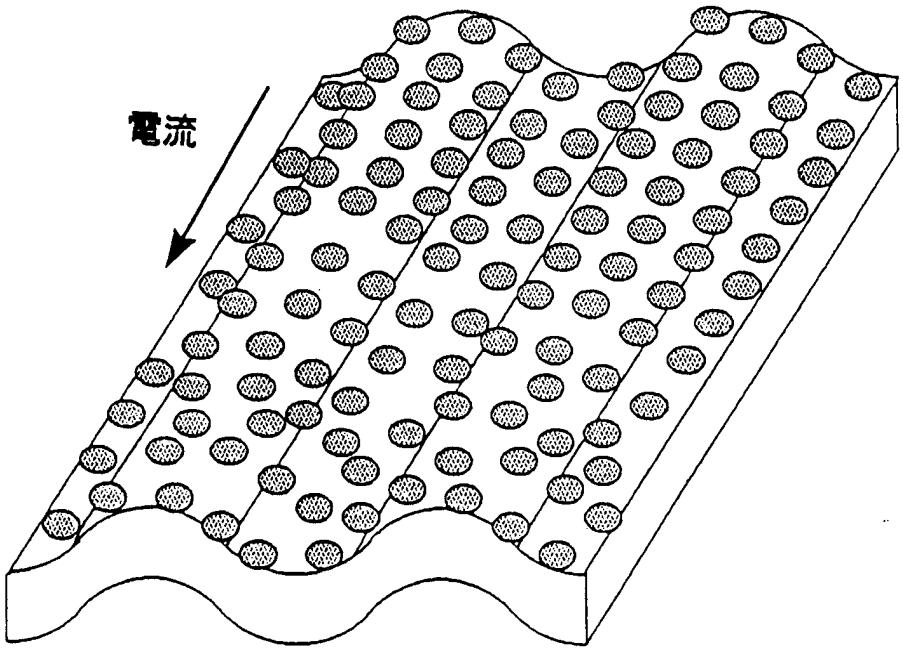


Fig. 45

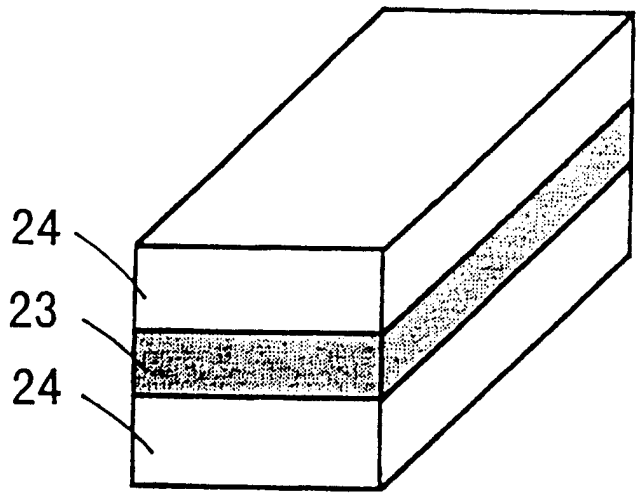


Fig. 46

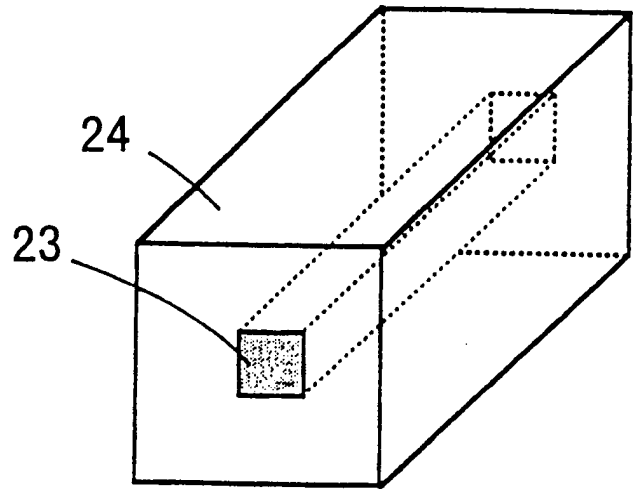


Fig. 47

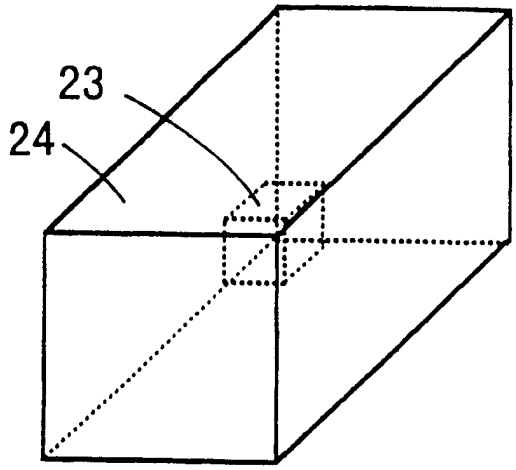


Fig. 48

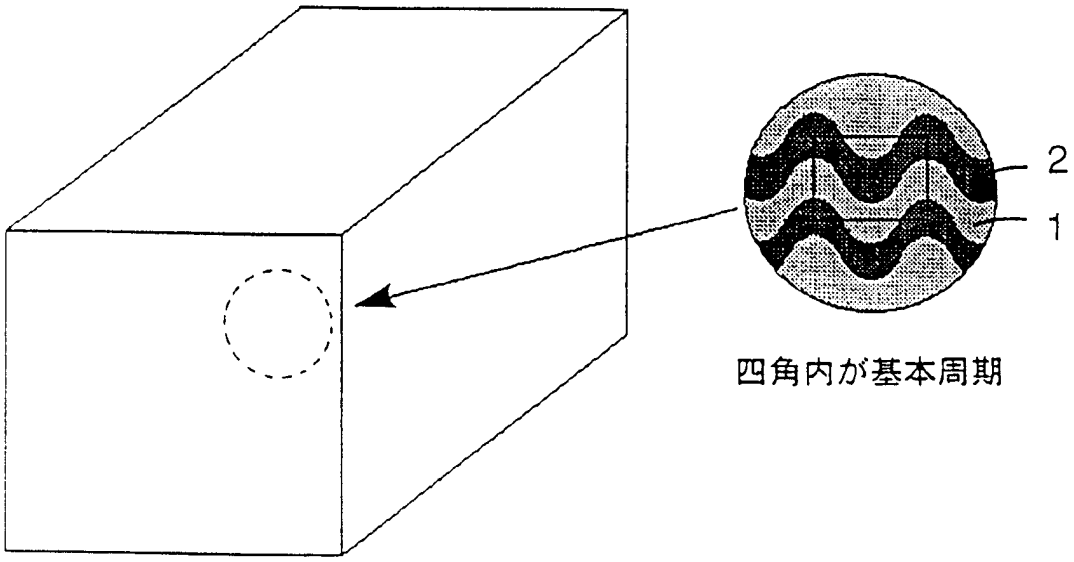


Fig. 49

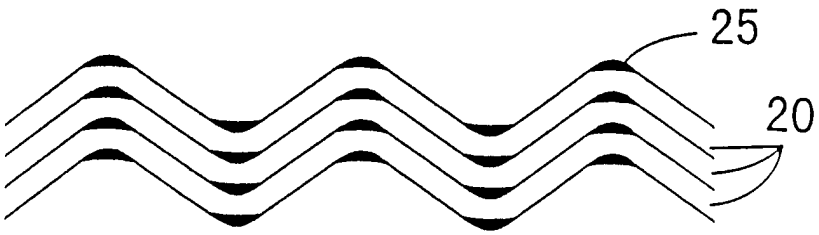


Fig. 50

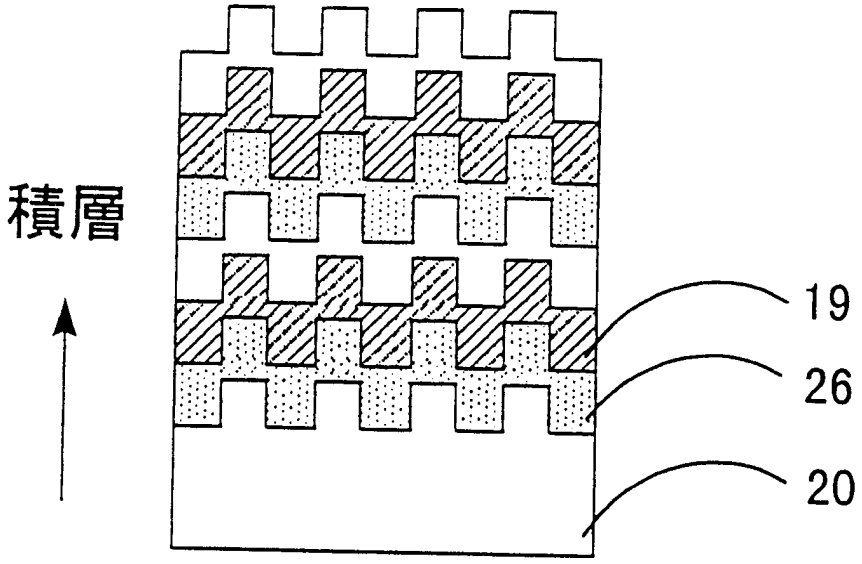


Fig. 51

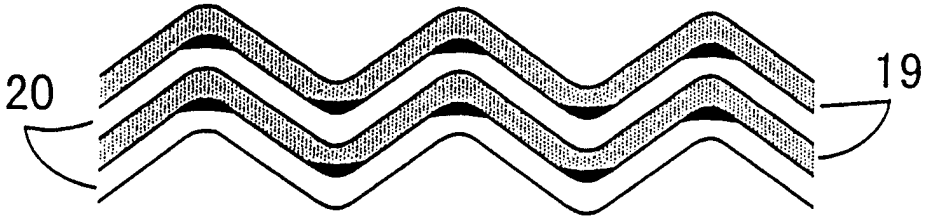


Fig. 52

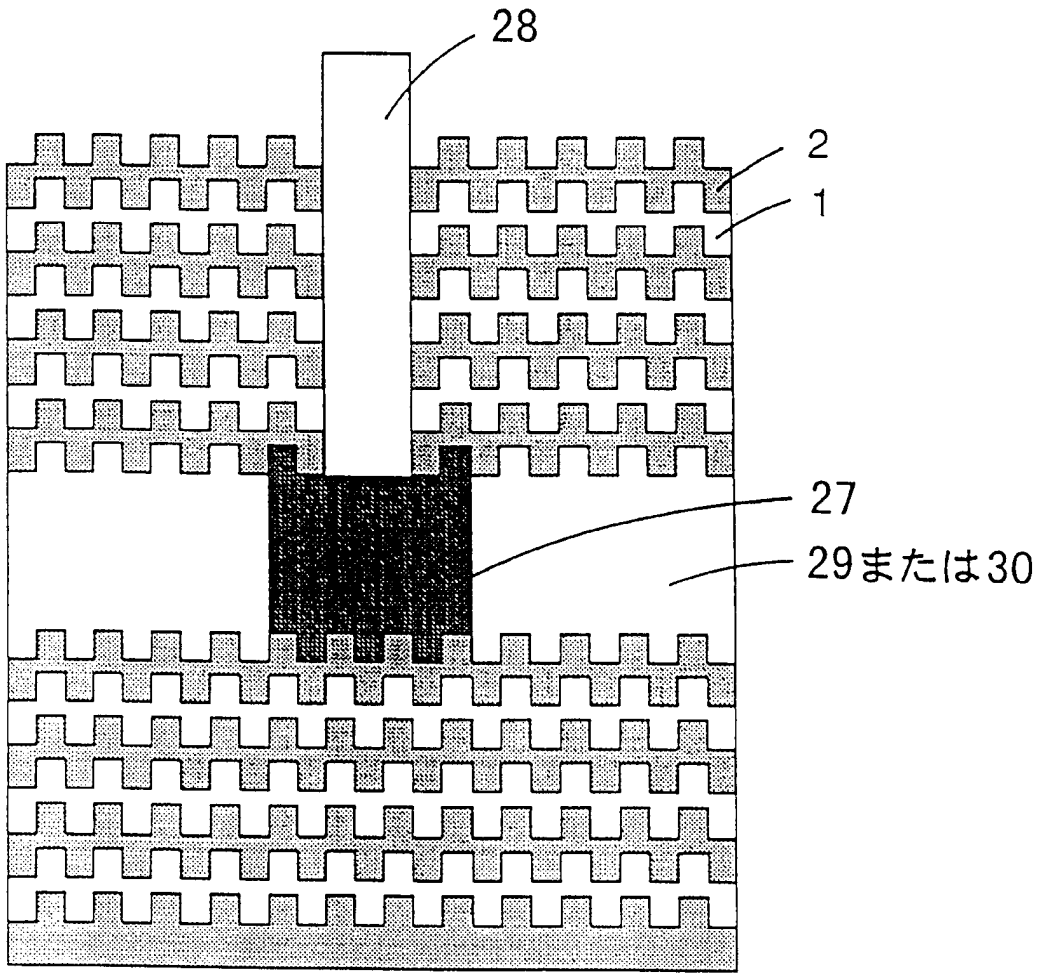


Fig. 53

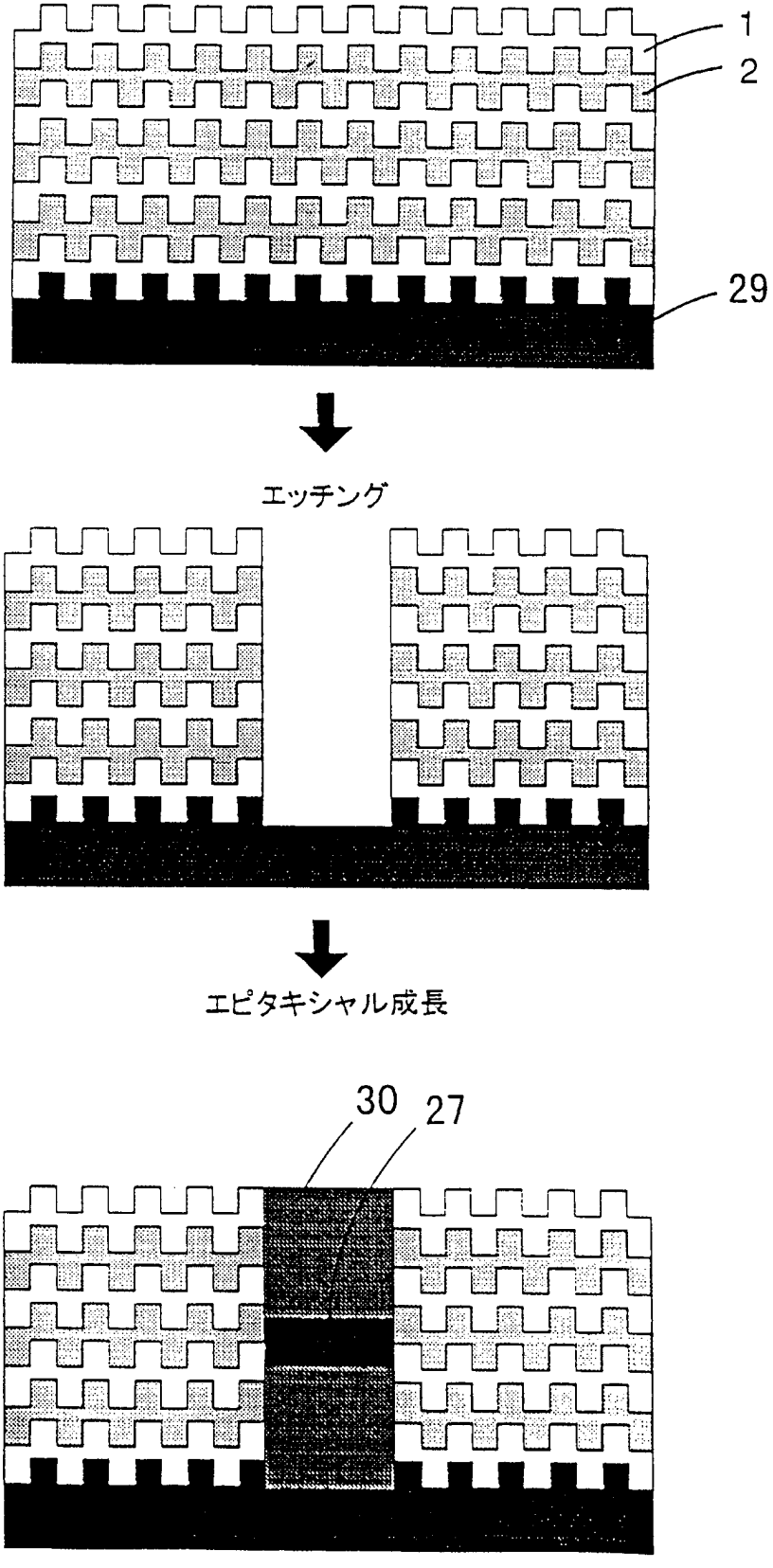


Fig. 54

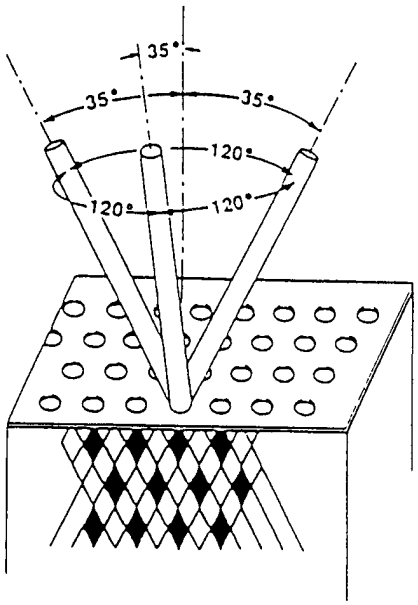
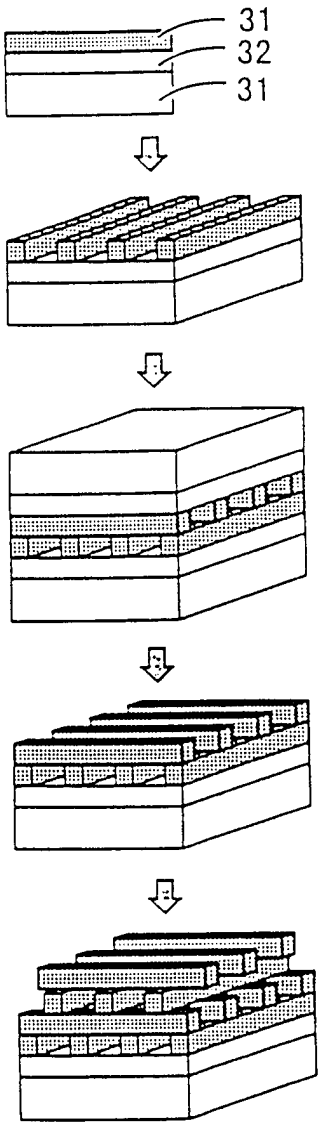


Fig. 55



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP98/01278

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[6] G02B6/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl[6] G02B6/12, G02B5/18, G02B5/30, G02B5/32, H01S3/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1972-1998
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1972-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 62-289804, A (NEC Corp.), December 16, 1987 (16. 12. 87), Full text ; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-15
Y	JP, 58-042003, A (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp.), March 11, 1983 (11. 03. 83), Full text ; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1-15
Y	JP, 03-003285, A (Fujitsu Ltd.), January 9, 1991 (09. 01. 91), Full text ; Figs. 1 to 14 (Family: none)	10-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
June 16, 1998 (16. 06. 98)	June 23, 1998 (23. 06. 98)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ９８／０１２７８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int. Cl[6] G02B 6/12

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int. Cl[6] G02B 6/12, G02B 5/18, G02B 5/30, G02B 5/32, H01S3/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報　　１９７２－１９９８
日本国公開実用新案公報　　１９７２－１９９８

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Y	JP, 62-289804, A (日本電気株式会社) 16. 12月. 1987 (16. 12. 87) 全文, 第１－４図（ファミリーなし）	１－１５
Y	JP, 58-042003, A (日本電信電話公社) 11. 3月. 1983 (11. 03. 83) 全文, 第１－５図（ファミリーなし）	１－１５
Y	JP, 03-003285, A (富士通株式会社) 9. 1月. 1991 (09. 01. 91) 全文, 第１－１４図（ファミリーなし）	１０－１２

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 １６．０６．９８	国際調査報告の発送日 23.06.98
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員） 福島　浩司　印　　２Ｋ　９０１８ 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５４

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（１９９２年７月）