



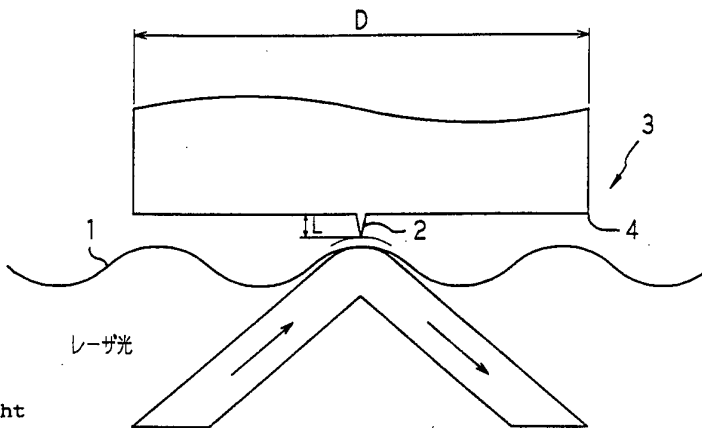
PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類6 G01N 37/00, G02B 6/10</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO95/33207 (43) 国際公開日 1995年12月7日 (07.12.95)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP95/01068 (22) 国際出願日 1995年5月31日 (31.05.95)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平6/117766 1994年5月31日 (31.05.94) JP 特願平6/248863 1994年9月17日 (17.09.94) JP 特願平6/248864 1994年9月17日 (17.09.94) JP 特願平6/287780 1994年11月22日 (22.11.94) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 財団法人 神奈川科学技術アカデミー(KANAGAWA ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY)[JP/JP] 〒213 神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番1号 Kanagawa, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 大津元一(OHTSU, Motoichi)[JP/JP] 〒142 東京都品川区豊町3-1-8-101 Tokyo, (JP) 物部秀二(MONONOBE, Shuji)[JP/JP] 〒242 神奈川県大和市中央林間3-14-7 ピラやなぎ202号 Kanagawa, (JP) 松本拓也(MATSUMOTO, Takuya)[JP/JP] 〒221 神奈川県横浜市神奈川区西寺尾1-30-64 Kanagawa, (JP)</p>	<p>齋木敏治(SAIKI, Toshiharu)[JP/JP] 〒145 東京都大田区東雪谷1-24-12 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 小池 晃, 外(KOIKE, Akira et al.) 〒105 東京都港区虎ノ門二丁目6番4号 第11森ビル Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 AU, CA, JP, KR, US, 欧州特許(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>	

(54) Title : OPTICAL FIBER AND ITS MANUFACTURE

(54) 発明の名称 光ファイバ及びその製造方法



1 ... laser light

(57) Abstract

An optical fiber composed of a core for conducting light and cladding which covers the core and intercepts the light propagating through the core. The core of the optical fiber includes a pointed end, an opaque coating on the pointed end and an aperture at the core point that is not coated. This optical fiber inputs and outputs light through the aperture only, because the opaque coating layer functions as a light intercepting section against the light projected upon the end of the core other than the aperture. In the core, light propagates while repeatedly reflected at the boundary between the core and cladding, and a condensed beam of light is emitted from the aperture at the point of the core. On the other hand, light incident to the core point enters the core. This optical fiber can be used for a photon scanning microscope which is used for detecting evanescent light locally existing in an area smaller than the wavelength of light on the surface of the substance as an optical probe which is brought nearer to the surface of the substance to scatter the evanescent light for detection. The light scattered at the point of the core is introduced to the core and detected at the other end of the core.

(57) 要約

光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバである。この光ファイバは、コアの一端を先細り状に先鋭化した先鋭部と、この先鋭部の表面に形成された遮光性の被覆層と、先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部とを有する。この光ファイバでは、遮光性の被覆層が開口部以外に照射される光を遮断する遮断部として機能し、開口部からのみ光を入出力する。

コア内を伝搬する光は、該コアとクラッドとの境界で反射を繰り返してコア内を伝搬し、上記先鋭部において集光されて、開口部から外部に照射される。また、開口部から先鋭部に入射した光は先鋭部を介してコア中に導かれる。

この光ファイバは、物質の表面の光の波長より小さい領域に局在するエバネッセント光を検出するフォトン走査型顕微鏡等において、物質表面に近接させてエバネッセント光を散乱させて検出する光プローブとして使用される。そして、先鋭部の先端で散乱させた光を先鋭部を介してコア中に導き、コアの多端で検出する。

情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出願をパンフレット第一頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AM	アルメニア	EE	エストニア	LK	スリランカ	RU	ロシア連邦
AT	オーストリア	ES	スペイン	LR	リベリア	SD	スーダン
AU	オーストラリア	FI	フィンランド	LT	リトアニア	SE	スウェーデン
BB	バルバドス	FR	フランス	LU	ルクセンブルグ	SG	シンガポール
BE	ベルギー	GA	ガボン	LV	ラトヴィア	SI	スロヴェニア
BF	ブルキナ・ファソ	GB	イギリス	MC	モナコ	SK	スロヴァキア共和国
BG	ブルガリア	GE	グルジア	MD	モルドバ	SN	セネガル
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	SZ	スワジランド
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	ML	マリ	TD	チャド
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	TG	トーゴ
CA	カナダ	IE	アイルランド	MR	モリタニア	TJ	タジキスタン
CF	中央アフリカ共和国	IS	アイスランド	MW	マラウイ	TM	トルクメニスタン
CG	コンゴ	IT	イタリア	MX	メキシコ	TT	トリニダード・トバゴ
CH	スイス	JP	日本	NE	ニジェール	UA	ウクライナ
CI	コート・ジボアール	KE	ケニア	NL	オランダ	UG	ウガンダ
CM	カメルーン	KG	キルギスタン	NO	ノルウェー	US	米国
CN	中国	KP	朝鮮民主主義人民共和国	NZ	ニュージーランド	UZ	ウズベキスタン共和国
CZ	チェコ共和国	KR	大韓民国	PL	ポーランド	VN	ベトナム
DE	ドイツ	KZ	カザフスタン	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	LI	リヒテンシュタイン	RO	ルーマニア		

- 1 -

明 細 書

光ファイバ及びその製造方法

技 術 分 野

本発明は、光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなり、光を入出力するための先端部を有する光ファイバ及びその製造方法に関する。

背 景 技 術

物質表面の光の波長より小さい領域に局在するエバネッセント光を検出して物体の形状を測定するフォトン走査型顕微鏡は、従来の光学顕微鏡の回折限界を超えた分解能をもつ超高分解能光学顕微鏡として知られている。

例えば図1に示すように、全反射条件下で試料1の裏面から試料表面を照射すると試料表面には表面形状に応じてエバネッセント光の場が発生する。

フォトン走査型顕微鏡では、例えば図2に示すように、エバネッセント光の波長程度以下の開口をもつ検出端部2を形成した光プローブ3でこのエバネッセント場の強度を測定することにより、従来の光学顕微鏡の回折限界を超えた分解能を得ることができる。

このフォトン走査型顕微鏡の分解能は、光プローブの実効的な開口径によって決定される。一方、エバネッセント光の強度は、試料

表面からの距離と共に指数関数的に減少することから、光プローブは、単に先端を鋭くするだけでも等価的に開口径を小さくすることができる。したがって、フォトン走査型顕微鏡の分解能を向上させるためには、光プローブの先端を鋭くすることが重要である。

また、上述の図1に示すような形状の光プローブは、クラッド径D（90 μm程度）が検出端部2の長さL（2～6 μm程度）よりずっと大きいので、クラッドの周端部4が試料1の表面に衝突して、試料あるいは光プローブ5自体を破損する虞れがあった。

このため、本発明の発明者らは、これらの課題を解決するための光ファイバを提案し、先に特願平5-291829号、特願平6-53626号、特願平6-55697号、PCT/JP 94/00906として出願している。これらの出願では、光ファイバの一端のクラッドから突出したコアを先端先細り状に先鋭化した検出端部の基端にクラッドの径を径小とした径小部を形成し、あるいは検出端部とクラッドを共に先端先細り状に先鋭化してクラッドの周端部が試料表面に衝突することを防止している。

また、上記フォトン走査トンネル顕微鏡では、エバネッセント光の強度が極めて小さいので、散乱光の影響を避け、エバネッセント光の検出効率を高くする必要がある。例えば光プローブの検出端部の表面に遮光性の被覆層を形成し、該被覆層の先端に検出光の波長程度以下の微小な開口を形成し、検出するエバネッセント光を開口からのみ入射させることにより、開口以外の領域に照射される散乱光等を遮光し、散乱光等の影響を低減させることが考えられる。

このため、上述の出願に係る光ファイバでは、検出効率を向上させるために、真空中で光ファイバを、その中心軸を中心として回転

させ、検出端部の側方あるいは後方から遮光性の物質の蒸気を供給することにより、検出端部の表面に、遮光性の被覆層を形成すると共に、検出端部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を形成するようになっている。

しかしながら、遮光性の被覆層を均一に形成し、なおかつ、波長程度以下の微小な開口を再現性よく形成することが困難である問題があった。

ところで、光ファイバの先端に周囲の環境に応じて光学特性が変化する機能性物質、例えば蛍光体、試薬等を付着させた光ファイバセンサが知られている。このような光ファイバセンサは、例えば図3に示すように、光ファイバの一端にコアを先鋭化した先鋭部6を形成し、該先鋭部6の表面に遮光性の被覆層7を形成し、先鋭部6の先端が遮光性の被覆層7から露出した開口部に蛍光体、試薬等の機能性物質8を付着させて形成されている(eds. W. Pohl&D. Courjon: Near Field Optics(Book)1993, 17-24)。

このような光ファイバセンサ5では、先鋭部6の先端の機能性物質8は、例えば周囲の光強度、pH等の環境に応じて光学特性が変化し、例えば発光あるいは吸光スペクトル等が変化する。そして、このような光学特性の変化を、先鋭部6の他端において検出することにより、先鋭部6の周囲の環境を検出するようになっている。このような光ファイバセンサ5では、先鋭部6の先端に付着させる機能性物質8のサイズを小さくすることができ、従来の電氣的センサと比較して検出の空間解像度を向上させ、また、応答時間を高速化することができる。

しかしながら、このような光ファイバセンサでは、機能性物質を、

剥離強度が高い状態で光ファイバの先端に付着させることが困難であるため、耐久性を向上させることが困難であった。

発 明 の 開 示

そこで、本発明の目的は、上述の問題点を解決するために、クラッドの周端部が試料表面に衝突することがなく、検出効率が高い光ファイバを提供することにある。

また、本発明は、クラッドの周端部が試料表面に衝突することがなく、検出効率が高い光ファイバを容易に形成することができる光ファイバの製造方法を提供することを目的とする。

また、本発明は、検出の空間解像度を向上させ、耐久性の高い光ファイバを提供することを目的とする。

本発明は、上述の課題を解決するために提案されたものであって、本発明の光ファイバは、光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端にクラッドの外周からコアの中心にかけて先鋭化した先鋭部を有し、先鋭部の表面に遮光性の被覆層を有し、先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を有する。

このような光ファイバは、先鋭部がコア中を伝搬する光を集光する集光部として機能し、遮光性の被覆層が開口部以外からの光を遮断する遮光部として機能する。そして、開口部から光を入出力するようになっている。

また、本発明に係る他の光ファイバは、光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからな

る光ファイバの一端に、クラッドを肉薄とした径小部を有し、該径小部の先端から突出したコアを先細り状に先鋭化した先鋭部を有し、該先鋭部の表面に遮光性の被覆層を有し、先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した検出光の波長程度以下の開口部を有することを特徴とするものである。

このような光ファイバは、突出部がコア中を伝搬する光を集光する集光部として機能し、遮光性の被覆層が遮光部として機能する。このため、コア中を伝搬する光を集光して開口部から効率よく出射することができる。

また、このような光ファイバは、遮光性の被覆層が開口部以外に照射された光を遮光する遮光部として機能し、先鋭部が開口部から入射した光をコア中に導く結合部として機能する。この光ファイバは、例えば物質の表面の光の波長より小さい領域に局在するエバネッセント光を検出するフォトン走査型顕微鏡等において、物質表面に近接させてエバネッセント光を散乱させて検出する光プローブとして使用される。

そして、この光ファイバは、先鋭部の先端を物質表面に近接させて使用され、遮光性の被覆層から露出した先鋭部の先端で、物質表面のエバネッセント光を散乱させてコアに導く。また、この光ファイバの開口部以外に照射される検出光は、遮光性の被覆層によって遮断される。このため、この光ファイバは、先鋭部の先鋭角が小さく、また開口部からのみ検出光を検出することができるので検出効率の高い光プローブとなる。

さらにまた、本発明に係る他の光ファイバは、クラッドの先端から突出したコアが先鋭化された先鋭部を有し、先鋭部の表面に遮光

性の被覆層を有し、該遮光性の被覆層から先鋭部の先端が露出すると共に、遮光性の被覆層に対して先鋭部の先端が陥没したピットを有する。また、このピットに蛍光体あるいは試薬等の周囲の環境に応じて光学特性が変化する機能性物質を付設している。

このような光ファイバでは、ピット中の機能性物質が周囲の環境に反応して、光学特性が変化する。この光学特性の変化は、光ファイバの他端において検出することができる。このため、測定の間解像度を向上させた検出を行うことができる。また、このような機能性物質は、遮光性の被覆層の先端より陥没したピット内部に付着されているため、光ファイバの先端が被測定物に衝突した場合等において、色素が直接被測定物に衝突せずに保護される。このため、耐久性を向上させることができる。

また、上述のような構造の光ファイバを製造する本発明の光ファイバの製造は、コアの先端を先鋭化して先鋭部を形成し、先鋭部の表面に遮光性の被覆層を形成し、遮光性の被覆層をエッチングして先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を形成することを特徴とするものである。

この光ファイバの製造方法では、遮光性の被覆層の先端に、先鋭部の先端が遮光性の被覆層から完全に露出した開口部を容易に形成することができ、検出効率が高い光ファイバを容易に形成することができる。

また、上述のような構造の光ファイバを製造する本発明の他の光ファイバの製造方法は、酸化ゲルマニウムを添加した石英からなり光を伝搬させるコアと石英からなりコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドより構成される光ファイバの一端をフッ化ア

アンモニウム水溶液、フッ酸及び水からなるエッチング液でエッチングすることにより石英クラッドを肉薄として径小部を形成する第1エッチング工程と、径小部の先端をフッ化アンモニウム水溶液、フッ酸及び水からなるエッチング液でエッチングすることによりコアを突出させた突出部を形成すると共に、該突出部の先端を先細り状に先鋭化して先鋭部を形成する第2エッチング工程と、突出部の表面に遮光性の被覆層を形成する第1コーティング工程と、遮光性の被覆層の先端以外の部分の表面に耐腐食性の被覆層を形成する第2コーティング工程と、突出部の遮光性の被覆層をエッチングして突出部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を形成する開口工程とを有することを特徴とするものである。

この光ファイバの製造方法では、遮光性の被覆層の先端に、先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を容易に形成することができ、検出効率が高い光ファイバを容易に形成することができる。

本発明のさらに他の目的、本発明により得られる効果、本発明のさらに具体的な構成は、以下において説明される具体的な実施例から一層明らかにされるであろう。

図面の簡単な説明

図1は、フォトン走査型顕微鏡の原理を模式的に示す図である。

図2は、図1に示すフォトン走査型顕微鏡のエバネッセント波を検出する動作を示す図である。

図3は、従来の光ファイバセンサの先端の構造を示す図である。

図 4 は、本発明の第 1 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 5 は、上記第 1 実施例の光ファイバの先端の具体的な構造を示す図である。

図 6 は、本発明の第 2 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 7 は、上記第 2 実施例の光ファイバの先端の具体的な構造を示す図である。

図 8 は、本発明の第 3 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 9 は、本発明の第 4 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 10 は、本発明の第 5 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 11 は、本発明の第 6 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 12 は、本発明の第 7 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 13 は、本発明の第 8 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 14 は、本発明の第 9 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 15 は、上記第 9 実施例の光ファイバの先端の具体的な構造を示す図である。

図 16 は、本発明の第 10 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 17 は、本発明の第 11 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 18 は、本発明の第 12 実施例の光ファイバの構造を示す図で

ある。

図 19 は、光ファイバを用いたフォトン走査トンネル顕微鏡のコレクションモードでの動作を原理的に示す図である。

図 20 は、光ファイバを用いたフォトン走査トンネル顕微鏡のイルミネーションモードでの動作を原理的に示す図である。

図 21 は、本発明の第 13 実施例に係る光ファイバの構造を示す図である。

図 22 は、本発明の第 14 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 23 は、上記第 14 実施例の光ファイバの屈折率の分布を示す図である。

図 24 は、上記第 14 実施例の光ファイバの先端の具体的な構造を示す図である。

図 25 は、シングルモードの光ファイバ中の光の伝搬を示す図である。

図 26 は、上記第 14 実施例の光ファイバ中の光の伝搬を示す図である。

図 27 は、本発明の第 15 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 28 は、本発明の第 16 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 29 は、上記第 16 実施例の光ファイバの先端の具体的な構造を示す図である。

図 30 は、本発明の第 17 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 3 1 は、本発明の第 1 8 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 3 2 は、本発明の第 1 9 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 3 3 は、本発明の第 2 0 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 3 4 は、上記第 2 0 実施例の光ファイバの遮光性の被覆層の他の具体的な構成を示す図である。

図 3 5 は、光ファイバの先端の先鋭角と伝達係数の関係を示す図である。

図 3 6 は、本発明の第 2 1 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 3 7 は、本発明の第 2 2 実施例の光ファイバの構造を示す図である。

図 3 8 は、本発明の第 2 3 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程を示す図である。

図 3 9 は、上記第 2 3 実施例の光ファイバの製造方法の第 1 エッチング工程を示す図である。

図 4 0 は、上記第 2 3 実施例の光ファイバの製造方法の第 4 エッチング工程を示す図である。

図 4 1 は、上記第 4 エッチング工程におけるコアとクラッドの間の比屈折率差と先鋭角の関係を示す図である。

図 4 2 は、上記エッチング工程においてエッチング液の組成を変化させたときの先鋭角の変化を示す図である。

図 4 3 は、上記エッチング工程においてエッチング液の組成を変

化させたときの先鋭角の変化を示す図である。

図 4 4 は、上記第 2 3 実施例の光ファイバの製造方法のコーティング工程を示す図である。

図 4 5 は、上記第 2 3 実施例の光ファイバの製造方法の開口工程を示す図である。

図 4 6 は、上記第 2 3 実施例の第 2 エッチング工程におけるエッチング時間とクラッド径及び先端の曲率半径の関係を示す図である。

図 4 7 は、上記第 2 4 実施例の光ファイバの製造方法の開口工程を示す図である。

図 4 8 は、本発明の第 2 5 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程を示す図である。

図 4 9 は、上記第 2 5 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程におけるエッチング時間とクラッド径の関係を示す図である。

図 5 0 は、本発明の第 2 6 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程を示す図である。

図 5 1 は、上記エッチング工程によって形成される突出部の先鋭角を示す図である。

図 5 2 は、本発明の第 2 7 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程を示す図である。

図 5 3 は、本発明の第 2 8 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程を示す図である。

図 5 4 は、上記第 2 8 実施例の光ファイバの製造方法の第 2 エッチング工程を示す図である。

図 5 5 は、上記第 2 8 実施例の光ファイバの製造方法の第 1 コー

ティング工程を示す図である。

図56は、上記第28実施例の光ファイバの製造方法の第1コーティング工程において先端にコーティングを行った光ファイバの構造を示す図である。

図57は、上記第28実施例の光ファイバの製造方法の第2コーティング工程において先端にコーティングを行った光ファイバの構造を示す図である。

図58は、本発明の第29実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程を示す図である。

図59は、上記第30実施例の光ファイバの製造方法のコーティング工程を示す図である。

図60は、上記第30実施例の光ファイバの製造方法の感光体層形成工程を示す図である。

図61は、上記第30実施例の光ファイバの製造方法の感光体層形成工程において感光体層を形成した光ファイバの構造を示す図である。

図62は、上記第30実施例の光ファイバの製造方法の感光体層形成工程においてクラッド径を変化させたときの感光体の付着体を示す図である。

図63は、上記第30実施例の光ファイバの製造方法の感光工程を示す図である。

図64は、上記第30実施例の感光工程に使用する原子間力顕微鏡の構成を示す図である。

図65は、上記原子間力顕微鏡における光ファイバの先端とプリズム表面の間の距離と、光ファイバの振動の振幅の関係を示す図で

ある。

図 6 6 は、上記第 3 0 実施例の露出部形成工程において露出部が形成された光ファイバの構造を示す図である。

図 6 7 は、上記露出部形成工程において形成された露出部の構造を示す拡大図である。

図 6 8 は、本発明の第 3 1 実施例の光ファイバの製造方法のピット形成工程を示す図である。

図 6 9 は、上記第 3 1 実施例の光ファイバの製造方法のピット形成工程においてピットを形成した光ファイバの構造を示す図である。

図 7 0 は、上記第 3 1 実施例の光ファイバの製造方法の色素付着工程において色素を付着させた光ファイバの構造を示す図である。

図 7 1 は、本発明の第 3 2 実施例の光ファイバの製造方法を示す図である。

図 7 2 は、本発明の第 3 3 実施例の光ファイバの製造方法を示す図である。

図 7 3 は、本発明の第 3 3 実施例の光ファイバの製造方法を示す図である。

図 7 4 は、上記第 3 3 実施例の光ファイバの製造方法により形成された光ファイバの突出部の形状を示す拡大斜視図である。

図 7 5 は、上記第 3 3 実施例の光ファイバの製造方法により形成された他の光ファイバの突出部の形状を示す拡大斜視図である。

図 7 6 は、上記第 3 3 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程におけるエッチング時間と、チップ長及び先鋭角との関係を示す図である。

図 7 7 は、上記第 3 3 実施例と上記第 2 8 実施例の光ファイバの

製造方法により形成した突出部のチップ長及び先鋭角との関係を示す図である。

図 78 は、本発明の第 36 実施例の光ファイバの製造方法を示す図である。

図 79 は、コア径及び屈折率分布が異なる 3 種類の光ファイバの屈折率分布を示す図である。

図 80 は、上記光ファイバを先鋭化したときの突出部の先端の半径の分布を示す図である。

図 81 は、上記光ファイバを先鋭化したときの突出部の先端の半径の分布を示す図である。

図 82 は、上記光ファイバを先鋭化したときの突出部の先端の半径の分布を示す図である。

図 83 は、本発明の第 37 実施例の光ファイバの製造方法を示す図である。

図 84 は、上記第 37 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程のエッチングを示す図である。

図 85 は、本発明の第 40 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程のエッチングを示す図である。

図 86 は、上記第 40 実施例のエッチング工程において使用するエッチング液の組成を変えたときに形成される光ファイバの形状を示す図である。

図 87 は、本発明の第 41 実施例の光ファイバの製造方法を示す図である。

図 88 は、上記第 41 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程における先鋭化を示す図である。

図 89 は、本発明の第 4 2 実施例の光ファイバの製造方法を示す図である。

図 90 は、上記第 4 2 実施例の光ファイバの製造方法のエッチング工程における先鋭化を示す図である。

図 91 は、本発明の第 4 4 実施例の光ファイバの製造方法を示す図である。

図 92 は、上記第 4 4 実施例の光ファイバの製造方法の第 2 エッチング工程のエッチングを示す図である。

図 93 は、本発明の第 4 6 実施例の光ファイバの製造方法を説明するための図である。

図 94 は、上記第 4 6 実施例の光ファイバの製造方法を説明するための図である。

図 95 は、上記第 4 6 実施例の光ファイバの製造方法を説明するための図である。

図 96 は、上記第 4 6 実施例の光ファイバの製造方法を説明するための図である。

図 97 は、本発明の第 4 7 実施例の光ファイバの製造方法で表面に被覆層を形成した突出部の先端の拡大図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明に係る光ファイバは、中心にコアを有し、このコアを覆ってクラッドが設けられて、長尺状の線状体として形成されている。そして、光ファイバの一端にコアの先端を先鋭化した先鋭部が設けられており、先鋭部の表面に遮光性の被覆層を有し、先鋭部の先端

が遮光性の被覆層から露出した開口部を有している。この光ファイバでは、遮光性の被覆層が開口部以外に照射される光を遮断する遮断部として機能し、開口部からのみ光を入出力するようになっている。

コア内を伝搬する光は、該コアとクラッドとの境界で反射を繰り返してコア内を伝搬し、上記先鋭部において集光されて、開口部から外部に照射される。また、開口部から先鋭部に入射した光は先鋭部を介してコア中に導かれ、コア中を伝搬する。この伝搬光は、光ファイバの他端において検出される。

本発明の第1実施例に係る光ファイバは、例えば図4に示すように、コア12径が d_c でクラッド13径が d_o の光ファイバ11の一端にクラッド13の外周からコア12の中心にかけて円錐状に先鋭化した先端角が θ_1 である先鋭部14を有している。そして、この光ファイバ10は、先鋭部14の表面に遮光性の被覆層15を有し、先鋭部14の先端が遮光性の被覆層15から露出した開口部16を有する。

具体的には、例えばコア12径 d_c は $3.4\mu\text{m}$ で、クラッド13径 d_o は $125\mu\text{m}$ で、コア12は、酸化ゲルマニウム GeO_2 を添加した石英 SiO_2 からなり、クラッド13は、石英 SiO_2 からなる。上記先鋭部14の先鋭角 θ_1 は、例えば20度乃至25度程度となっている。また、遮光性の被覆層15は、例えば金、銀、アルミニウム等の遮光性に優れた物質からなり、図5に先鋭部14の先端の拡大図を示すように、 100nm 程度の厚さで形成されている。また、上記開口部16の直径は、 30nm となっており、検出光の波長より小さくなっている。また、先鋭部14の先端の曲率

半径は、5 nm以下（すなわち、先鋭部14の先端の直径が10 nm以下）となっている。

このような構造の光ファイバ10は、例えばエバネッセント光を検出して物体の形状を測定するフォトン走査型顕微鏡においてエバネッセント光を検出する光プローブとして使用される。このフォトン走査型顕微鏡では、先鋭部14を物質表面に近接させた状態で、光ファイバ10で物質表面上を走査する。物質表面付近に存在するエバネッセント光は、先鋭部14の先端で散乱され、先鋭部14を介してコア12中に導かれる。そして、このフォトン走査型顕微鏡は、コア12に導かれた光を先鋭部14の他端において検出する。

ここで、エバネッセント光の強度は、物質表面からの距離に応じて減衰するため、先鋭部14の先端で散乱されるエバネッセント光の強度は、物質表面と先鋭部14の先端との距離に応じて変化する。したがって、上記走査に応じたエバネッセント光の検出出力の強度分布を求めることにより、物質表面の形状を測定することができる。

上述の光ファイバ10では、遮光性の被覆層15が光を遮る遮光部として機能するため、開口部16以外に照射される光がコア12に入射することを防止できる。このため、先鋭部14の先端の開口部16から開口部16の大きさに近い波長の検出光を選択的に取り込むことができる。これにより、散乱光の影響を減少させて検出効率を高くすることができ、強度が極めて弱いエバネッセント光を確実に検出することができる。

また、この光ファイバ10は、クラッド13の外周からコア12の中心にかけて円錐状に先鋭化した先鋭部14を設けているため、光ファイバ10により試料表面上を走査する際に、クラッド13の

周端部が試料表面に衝突することがなく、試料表面あるいは光ファイバ10を損傷することを防止することができる。

また、本発明の第2実施例の光ファイバは、図6に示すように、上述の第1実施例の光ファイバ10と同様に、光ファイバ11の一端にクラッド13の外周からコア12の中心にかけて円錐状に先鋭化した先鋭部24を有している。そして、この光ファイバ20は、先鋭部24の表面に遮光性の被覆層25を有し、遮光性の被覆層25の表面の先端以外の部分に耐腐食性の被覆層26を有し、先鋭部24の先端が遮光性の被覆層25及び耐腐食性の被覆層26から露出した開口部27を有する。

先鋭部24の先端の曲率半径は、図7に先鋭部24の先端の拡大図を示すように、5nm以下である。遮光性の被覆層25は、例えばアルミニウム等からなり、800nm程度の厚さで形成されている。耐腐食性の被覆層26は、例えば金などからなり、80nm程度の厚さで形成されている。また、上記開口部27の直径は、例えば40nmとなっている。

このような構成の光ファイバ20は、上述の第1実施例の光ファイバ10と同様に、フォトン走査トンネル顕微鏡においてエバネッセント光を検出する光プローブとして使用される。上記遮光性の被覆層25を構成するアルミニウムは、遮光性が高く、さらに導電性が高いため、外乱によるノイズに影響されずに測定を行うことができる。また、アルミニウムは、安価に入手できるため、遮光性の被覆層25として適当であるが、使用遮光性の被覆層25として使用することができる材質は、アルミニウムだけでなく、遮光性が高く、導電性が高い材質であれば、金、銀、白金等でもよい。

また、本発明の第3実施例の光ファイバは、図8に示すように、光ファイバ11の先端に円錐状の先鋭部33を有し、光ファイバ11の基端にクラッド13が先細り状とされた先細り部34を有し、上記先鋭部33と先細り部34との間にクラッド13径が d_1 ($d_0 < d_1 < d_0$)とされた径小部35を有する。

この光ファイバ30は、上記図8に示すように長さ L_0 の径小部35のクラッド13の径が細くなっているため、わずかな力によっても光ファイバ30の径方向にたわむようになっている。

このため、このような光ファイバ30を、例えば物質を構成する原子間に働く力を検出する原子間力顕微鏡において原子間力を測定するプローブとして使用し、共振周波数で共振させた状態で、物質表面に近接させ、原子間力による振幅の変化を測定すれば、検出感度の高い原子間力の検出を行うことができる。

また、このような光ファイバ30は、上述のフォトン走査トンネル顕微鏡の光プローブとしても用いることができる。この場合、光ファイバ30の一端からの検出光を上述のフォトン走査トンネル顕微鏡の検出部に供給することにより、上述の原子間力の検出と、エバネッセント光の検出を同時に行うことができる。

本発明の第4実施例の光ファイバは、図9に示すように、上述の第3実施例の光ファイバ30と同様に、光ファイバ11の先端に円錐状の先鋭部43を有し、光ファイバ11の基端にクラッド13が先細り状とされた先細り部44を有し、上記先鋭部43と先細り部44との間にクラッド13径が d_1 ($d_0 < d_1 < d_0$)とされた径小部45を有する。また、この光ファイバ40は、上記先鋭部43の表面に遮光性の被覆層46を有し、該遮光性の被覆層47の先

端に、コア 12 の先端が露出した開口部 47 を有する。

このような光ファイバ 40 は、上述の図 8 に示す光ファイバ 30 と同様に原子間力顕微鏡において原子間力を測定するプローブとして使用することができ、光ファイバ 40 の一端からの検出光を上述のフォトン走査トンネル顕微鏡の検出部に供給することにより、原子間力の測定と同時にエバネッセント光の測定を行う光プローブとして使用することができる。この場合、遮光性の被覆層 47 が、開口部 47 以外からコア 12 に入射する光を遮断する遮光部として機能するため、エバネッセント光の検出感度を向上させることができる。

また、本発明の第 5 実施例の光ファイバは、例えば図 10 に示すように、上記第 1 及び第 2 実施例の光ファイバと同様に、光ファイバ 11 の一端にクラッド 13 を先細り状に先鋭化した先鋭部 51 を有し、この先鋭部 51 の先端から突出したコア 12 を先鋭化した突出部 52 を有し、突出部 52 の表面に遮光性の被覆層 53 を有し、突出部 52 の先端が遮光性の被覆層 53 から露出した開口部 54 を有する。

上記第 1 及び第 2 実施例の光ファイバでは、上記図 4 及び図 6 に示すように、コア 12 の先鋭角 θ_1 が、クラッド 13 の先鋭角 θ_2 とほぼ等しくなっているが、この光ファイバ 50 では、コア 12 の先鋭角 θ_1 が、クラッド 13 の先鋭角 θ_2 より小さくなっている。

このような形状の光ファイバ 50 は、上記フォトン走査トンネル顕微鏡の光プローブとして用いることができる。この光ファイバ 50 では、遮光性の被覆層 53 を設けているため、開口部 54 からのみ検出光を入射させることができ、検出効率を向上させることがで

きる。

また、本発明の第6実施例の光ファイバは、例えば図11に示すように、上記第1及び第2実施例の光ファイバと同様に、光ファイバ11の一端にクラッド13を先細り状に先鋭化した先鋭部51を有し、この先鋭部15の先端から突出したコア12を先鋭化した突出部52を有し、突出部52の表面に遮光性の被覆層53を有し、突出部52の先端が遮光性の被覆層53から露出した開口部54を有する。

上記第5実施例の光ファイバ50では、上記図10に示すように、コア12の先鋭角 θ_1 が、クラッド13の先鋭角 θ_2 より小さくなっているが、この光ファイバ55では、コア12の先鋭角 θ_1 が、クラッド13の先鋭角 θ_2 より大きくなっている。

このような形状の光ファイバ55は、上記第5実施例の光ファイバ50と同様に、フォトン走査トンネル顕微鏡の光プローブとして用いることができる。この光ファイバ55では、遮光性の被覆層53を設けているため、開口部54からのみ検出光を入射させることができ、検出効率を向上させることができる。

ところで、光ファイバ中を伝搬する光は、コア12径が光の波長程度以下となると、コア12中に閉じこめておくことができなくなる。このため、このような光ファイバの表面に導電性の被覆層が形成されていると、コア12から洩れ出た光が導電性の被覆層によって吸収されてしまい、伝搬効率が低下する。

しかしながら、この光ファイバ55では、コア12の先鋭角 θ_1 が、クラッド13の先鋭角 θ_2 より大きくなっているために、突出部52のコア12の径が検出光の波長程度以下になる位置から、突

出部の先端までの距離が短くなっている。このため、この光ファイバ55では、突出部52での光の吸収を低減させることができ、光の伝搬効率を向上させて、光検出効率を向上させることができる。

また、本発明の第7実施例の光ファイバは、例えば図12に示すように、光ファイバ11の一端にクラッド13を径小とした径小部64を有し、この径小部64の先端にコア12を先鋭化した突出部65を有する。そして、この光ファイバ60は、上記突出部65の表面に金等からなる遮光性の被覆層66を有し、該遮光性の被覆層66の先端以外の表面に合成樹脂等からなる耐腐食性の被覆層67を形成した後、上記遮光性の被覆層66をエッチングすることにより形成され、上記突出部65の先端が遮光性の被覆層66から露出した開口部68を有する。

このような構成の光ファイバ60は、フォトン走査型トンネル顕微鏡においてエバネッセント光を検出する光プローブとして使用され、突出部65を物質表面に近接させて突出部65でエバネッセント光を散乱させ、この散乱した光をコア12に導いて検出するようになっている。この光ファイバ60では、遮光性の被覆層66が光を遮る遮光部として機能し、突出部65の先端の開口部68が検出光を散乱させて突出部65に導く検出部として機能し、開口部68から検出光を選択的に取り込むことができる。そして、突出部65に取り込まれた検出光は、突出部65からコア12に導かれる。

このため、この光ファイバ60では、開口部68以外から散乱光がコア12に入射されることがなく、散乱光の影響をなくして検出効率を高くすることができ、パワーが極めて小さいエバネッセント光を確実に検出することができる。

また、この光ファイバ60では、上述のように光ファイバ11の一端に径小部64を形成し、径小部64の先端に突出部65を形成したため、該径小部64が突出部65を延長する延長部材として機能する。このため、フォトン走査トンネル顕微鏡において試料表面を走査させたときに、クラッド13の周端部が試料表面に衝突することがなく、試料表面又は光ファイバ60の先端を損傷することを防止することができる。

また、この光ファイバ60は、径小部64の径 d_2 を径小部64の長さに対して小さく設定したため、わずかな外力によっても光ファイバ11の径方向にたわむようになる。

このため、このように構成した光ファイバ60を、例えば物質を構成する原子間に働く力を検出する原子間力顕微鏡において原子間力を測定するプローブとして使用すれば、検出感度の高い原子間力の検出を行うことができる。この場合、光ファイバ60の一端を上述のフォトン走査トンネル顕微鏡の検出部に供給することにより、原子間力の測定と同時にエバネッセントの測定を行うことができる。

また、コア12中にエルビウム Er^{3+} あるいはネオジウム Nd^{3+} 等を添加することができる。このような組成とすることにより、エルビウム Er^{3+} あるいはネオジウム Nd^{3+} 等によってコア12中を伝搬する光を増幅させることができ、コア12自体に光増幅機能を持たせることができる。

このように、コア12に光増幅機能を持たせた光ファイバを用いて構成した光ファイバを上述のフォトン走査トンネル顕微鏡等を使用した場合には、開口部68から入射した検出光をコア12内で増幅することができ、光検出感度を飛躍的に向上させることができ、

感度の高い光検出を行うことができる。

また、このような光ファイバ60を石英SiO₂からなるコア12と、フッ素Fを添加した石英SiO₂からなるクラッド13を有するシングルモードファイバを用いて形成してもよい。

また、本発明の第8実施例の光ファイバは、例えば図13に示すように、コア12とクラッド13からなる光ファイバ11の一端にクラッド13が先細り形状に形成されたテーパ部71を有し、テーパ部71の先端にクラッドが平坦とされた平坦部74を有し、円錐形状に先鋭化されたコア12が平坦部74から突出した突出部75を有する。また、この光ファイバ70は、突出部75の表面に遮光性の被覆層76及び耐腐食性の被覆層77を有し、突出部75の先端が遮光性の被覆層76及び耐腐食性の被覆層77から露出した開口部78を有している。

このような形状の光ファイバ70は、突出部75の基端にクラッド13が先細り状とされたテーパ部71が形成されているために、突出部75の基端の強度を高くすることができ、上述のフォトン走査トンネル顕微鏡に使用した場合に、試料表面に衝突したときなどに破壊されにくく、耐久性を向上させることができる。

また、本発明の第9実施例の光ファイバは、例えば図14に示すように、第7実施例の光ファイバ60と同様に、光ファイバ11の一端にクラッド13を径小とした径小部84を有し、この径小部84の先端にコア12を先鋭化した突出部85を有する。そして、この光ファイバ80は、上記突出部85の表面に金等からなる遮光性の被覆層86を有し、突出部85の先端が遮光性の被覆層86から露出した開口部87を有する。

この開口部 87 は、遮光性の被覆層 86 の表面に感光体層を形成した後、エバネッセント光により該感光体層の先端のみを選択的に露光し、露光した感光体層を除去して感光体層の先端に露出部を形成した後、露出部より露出した遮光性の被覆層 86 をエッチングすることにより形成されている。このため、この開口部 87 は、例えば図 15 に示すように、50 nm 程度の極めて小さい径を有する開口となっている。

このような、光ファイバ 80 は、上述の第 7 実施例の光ファイバ 60 と同様に、フォトン走査型トンネル顕微鏡においてエバネッセント光を検出する光プローブとして使用され、突出部 85 の先端の開口部 87 が検出光を散乱させて突出部 85 に導く検出部として機能し、開口部 87 から検出光を選択的に取り込むことができるため、散乱光の影響をなくして検出効率を高くすることができ、パワーが極めて小さいエバネッセント光を確実に検出することができる。

また、上述の第 7 実施例の光ファイバ 60 と同様に試料表面又は光ファイバ 60 の先端を損傷することを防止することができる。

また、本発明の第 10 実施例の光ファイバは、例えば図 16 に示すように、上述の第 7 及び第 9 実施例の光ファイバ 60、70 と同様に、クラッド 13 径を径小とした径小部 94 と、コア 12 を先鋭化した突出部 95 と、突出部 95 の表面に形成された遮光性の被覆層 96 とを有する。

また、この光ファイバ 90 は、遮光性の被覆層 96 の先端部が除去された開口部 91 と、開口部 91 の遮光性の被覆層 96 の先端に対して突出部 95 の先端が陥没したピット 93 を有する。このピットの径 93 は、50 nm 程度となっており、このピット 93 の中に

色素あるいは試薬等の周囲の環境に応じて光学特性が変化する物質 92 を有する。

このような形状の光ファイバ 90 は、ピット 93 に上記物質 92 として色素あるいは蛍光体等を付着させておき、ピット 93 の反対側のコア 12 にレーザ光等の光を入射すると、コア 12 を伝搬した光が突出部 95 により集光されてピット 93 中の色素あるいは蛍光体等を発光させる。そして、この発光によりピット 93 外の被測定物等を照射することにより、微小な光源として機能する。

また、このような形状の光ファイバ 90 は、ピット 93 に色素あるいは試薬等の周囲の環境に応じて光学特性が変化する物質 92 を付着させることにより、例えば発光、pH、特定の物質等のピット 93 の周囲の環境に応じて物質 92 の光学特性が変化する。この物質 92 の光学特性の変化をコア 12 を介して伝搬される光によってピット 93 の反対側で検出することにより、ピット 93 の周囲の環境を検出する光ファイバセンサとして機能する。

具体的には、被測定物の pH に応じて発光スペクトルが変化するフルオレセイナミン (fluoresceinamine) 等の色素を使用すると、この光ファイバは pH を検出する pH センサとして機能する。すなわち、このような光ファイバ 90 は、上述のように開口部 91 の径が 50 nm 程度であるため、空間解像度を向上させた pH センサとして使用することができる。

また、このような光ファイバ 90 では、周囲の環境を検出するための物質 92 がピット 93 の内部に形成されているため、光ファイバの先端が被測定物に衝突したときでも、上記物質 92 が遮光性の被覆層 96 の先端によって保護されているため剥離しにくい。このた

め、このような光ファイバ90は、色素等の検出部の剥離強度を向上させて耐久性を向上させることができる。

また、本発明の第11実施例の光ファイバは、例えば図17に示すように、コア12と、クラッド13を共に先細り状に先鋭化した先鋭部104を有し、先鋭部104の先端のクラッド13から突出したコア12が円錐状に先鋭化された突出部105を有する。この突出部105の基端の径は、100nm程度となっている。上記コア12は、酸化ゲルマニウムGeO₂を高濃度に添加した石英SiO₂からなり、クラッド13は、石英SiO₂からなる。

ここで、コア12の先端が先鋭化している光ファイバ11中を伝搬する光は、コア12径が徐々に減少すると、光が伝搬する領域の径が減少してパワー密度が増加する。したがって、コア12径を徐々に減少させることにより、コア12中を伝搬する光を集光させることができる。

しかしながら、コア12径が光の波長程度以下になると、コア12とクラッド13の境界を越えてクラッドモードで伝搬するため、伝搬光の強度が減少する。このため、コア12径が波長程度以下となる位置からコア12の先端までの距離を短くして光の減衰を低減させることが望ましい。

上記図17に示す光ファイバ100では、突出部105の基端の径が100nm程度と、検出光の波長程度以下となっているため、コア12中を伝搬する光がクラッド13中に伝搬せず、光の減衰を低減することができる。

また、本発明の第12実施例の光ファイバは、例えば図18に示すように、コア12と、クラッド13が共に先細り状に先鋭化した

先鋭部 114 を有し、先鋭部 114 のクラッド 13 の先端から円錐状に先鋭化したコア 12 が突出した突出部 115 を有し、該突出部 115 の表面に遮光性の被覆層 116 を有し、該被覆層 116 の先端から突出部 115 の先端が露出した開口部 117 を有する。該開口部 117 の直径は、30 nm 程度と検出光の波長より小さくなっている。

このような構成の光ファイバ 110 は、上述のフォトン走査トンネル顕微鏡においてエバネッセント光を検出する光ファイバとして使用される。

具体的には、図 19 に示すように、プリズム 120 上の試料 121 の裏面からレーザ光を、該プリズム 120 の全反射角で入射させる。このとき、レーザ光はプリズム 120 表面で反射されるが、プリズム 120 表面には、物質表面の光の波長程度以下の領域を伝搬するエバネッセント光が発生する。このエバネッセント光は、試料 121 を介して伝搬し、試料 121 表面の光の波長程度以下の領域にエバネッセント光の場が発生する。

このような試料 121 表面から光の波長程度以下の距離の位置に、上記光ファイバ 110 の先端の開口部 117 を近接させると、開口部 117 の先端でエバネッセント光が散乱されてコア 12 中に入射する。そして、コア 12 中に入射した光はコア 12 中を伝搬し、開口部 117 の他端に設けられている受光部 122 に入射する。

この光ファイバ 110 では、遮光性の被覆層 116 を設けているために開口部 117 以外からは、光ファイバ 11 中にエバネッセント光が入射しない。このため、検出感度及び空間解像度を向上させることができる。

上述のようなエバネッセント光の検出は、フォトン走査トンネル顕微鏡のコレクションモードの動作と呼ばれる。これに対し、フォトン走査トンネル顕微鏡のイルミネーションモードの動作では、図20に示すように、開口部117の他端からコア12中にレーザ光を入射させる。そして、上述の図17に示す光ファイバ100と同様に、先鋭部114でコア12中の光が集光される。先鋭部114で集光された光は、開口部117の径が光の波長程度以下となっているため、開口部117からエバネッセント光として試料121表面に照射される。そして、エバネッセント光により試料121を照射し、透過光をレンズ123により集光して受光部124で受光する。

この光ファイバ110は、上述の図17に示す光ファイバ100と同様に、先鋭部114でコア12の伝搬光を集光させるため、開口部117から試料121表面に照射される光の強度を増加させることができる。

また、開口部117以外からコア12外に出射する光は遮光性の被覆層116により遮断されるため、開口部117からのみ試料121表面に検出光を照射させることができる。このため、このような光ファイバ110をフォトン走査トンネル顕微鏡の光プローブとして用いることにより、測定の検出感度及び空間解像度を向上させることができる。

また、本発明の第13実施例の光ファイバは、例えば図21に示すように、光ファイバ11の一端に、クラッド13径を肉薄とした径小部126を有し、該径小部123の先端から露出したコア12を先鋭化した突出部125を有し、該突出部124の表面に遮光性

の被覆層 126 を有し、突出部 125 の先端が遮光性の被覆層 126 から露出した開口部 127 を有する。

上記突出部 125 のコア 12 の先鋭角 θ は、突出部 125 の先端ほど小さくなっている。突出部 125 の長さ L と突出部 125 の先端の先鋭角 θ は、例えば図 74 に示すように、それぞれ $2.1 \mu\text{m}$ と 28 度程度となっている。あるいは、この長さ L と先鋭角 θ は、例えば図 75 に示すように、それぞれ $1.52 \mu\text{m}$ と 36.5 度程度となっている。

このような形状の光ファイバ 120 では、突出部 125 の長さが小さくなっているために、開口部 127 から入射した光が突出部 125 と遮光性の被覆層 126 の境界で反射する際の遮光性の被覆層 126 による吸収を低減させて、損失を低下させることができる。このため、このような光ファイバ 120 を上述のフォトン走査トンネル顕微鏡の光プローブとして用いた場合に、検出効率を向上させることができる。

また、本発明の第 14 実施例の光ファイバは、例えば図 22 に示すように、クラッド 133 の一端から突出したコア 132 が円錐状に先鋭化した突出部 134 を有し、該突出部 134 の表面に遮光性の被覆層 135 を有し、突出部 134 の先端が遮光性の被覆層 135 から露出した開口部 136 を有する。

この光ファイバ 130 は、例えば図 23 に示すように、マルチモードファイバから構成されており、コア 132 のクラッド 133 に対する比屈折率差 Δn が 1% で、屈折率が徐々に変化するグレーデッドインデックス型の屈折率分布を有する。また、上記突出部 134 の先鋭角は、 50° 程度で、その先端の曲率半径は、例えば図 2

4に示すように、5 nm程度となっている。

ここで、例えば上記図12に示す光ファイバ60において、例えば図25に示すように、開口部68から突出部65に入射した検出光は、1つの伝搬モードでコア12中を伝搬する。このとき、突出部65に入射した光は必ずしも効率よく1つの伝搬モードに結合できるわけではなく、損失を生じる。

これに対し、上記図22に示す光ファイバ130では、マルチモードファイバを用いており、複数の伝搬モードの光を伝搬することができるため、例えば図26に示すように、開口部136からコア132とクラッド133との境界での反射の臨界角以内で突出部134に入射した光であれば、伝搬することができる。これにより、結合効率を向上させて検出光のピックアップ効率を向上させることができる。

また、上述の図12に示す第11実施例と同様に、突出部135の基端のクラッド133を径小とした径小部を設けてもよい。この場合、上述のフォトン走査トンネル顕微鏡に用いた場合に、クラッド133が試料表面に衝突することを防止することができる。

また、本発明の第15実施例の光ファイバは、例えば図27に示すように、コア12中の添加物質（ドーパント）を徐々にクラッド13中に拡散させ、等価的にコア12径を徐々に増加させたコア径増加部144を有する。そして、この光ファイバ140は、コア径増加部144の先端に、クラッド13から突出したコア12を円錐状に先鋭化した突出部145を有し、該突出部145の表面に遮光性の被覆層146を有し、突出部145の先端が遮光性の被覆層146から露出した開口部147を有する。

このような構造の光ファイバ140では、コア径増加部144及び突出部145がマルチモードファイバと同様の屈折率分布を有する。このため、上述の図22に示す光ファイバ130と同様に臨界角を大きくすることができ、検出光のピックアップ効率を向上させることができる。

また、本発明の第16実施例の光ファイバは、例えば図28に示すように、上述の図14に示す第9実施例の光ファイバ80と同様に、径小部154と、突出部155と、合成樹脂等からなる疎水性の被覆層156を有する。また、この光ファイバ150は、突出部155の先端が疎水性の被覆層156から露出した開口部の表面に、色素を添加した石英等の被覆層157を有する。この被覆層157は、図29に示すように、突出部155の表面に40nm程度の厚さで形成されている。

このような構成の光ファイバ150は、被覆層157中の色素が被覆層157に入射した光に応じて発光し、この光が突出部155を介してコア12に入射するため、光を検出する検出部として機能する。このような光ファイバ150では、突出部155の先端の表面に色素を添加した石英等を付着させて被覆層157を形成しているため、単に突出部155の先端の表面に色素を付着させた場合に比して色素の剥離強度が高くなっている。このため、耐久性の高い光ファイバ150となる。

また、このような光ファイバ150は、上述の色素の代わりに、pH等の周囲の環境に応じて光学特性が変化する物質を上記被覆層157を構成する石英等に添加することにより、被覆層157の周囲の環境を検出する光ファイバセンサとして機能する。

また、本発明の第17実施例の光ファイバは、例えば図30に示すように、上述の図28に示す第16実施例の光ファイバ150と同様に、径小部164と、突出部165とを有する。また、この光ファイバ160は、突出部165の表面に遮光性の被覆層166を有し、該遮光性の被覆層166の表面に合成樹脂等からなる疎水性の被覆層167を有し、突出部165の先端が遮光性の被覆層166、疎水性の被覆層167から露出した開口部の表面に、色素等を添加した石英等の被覆層158を有する。この被覆層158は、上述の図29に示す光ファイバ150と同様に、突出部165の表面に40nm程度の厚さで形成されている。

このような構成の光ファイバ160は、光ファイバ150と同様に光を検出する検出部として機能する。また、このような光ファイバ160では、遮光性の被覆層166を形成しているため、光ファイバ160の被覆層168以外に照射される光を遮断する遮光部として機能するため、外乱光の影響を低減させて検出効率を向上させることができる。

また、本発明の第18実施例の光ファイバは、例えば図31に示すように、屈折率の異なる2種類のコア172、173とクラッド174を有するダブルコアの光ファイバ171からなる。そして、この実施例の光ファイバ170は、このような光ファイバ171の一端にコア173がクラッド174から露出した露出部175を有し、該露出部175の先端にコア173が先端先細り状とされた先細り部176を有し、該先細り部176の先端から突出したコア172が円錐状に先鋭化された突出部177を有する。

上記光ファイバ171は、クラッド174が純石英からなり、コ

ア172、173が酸化ゲルマニウムを添加した石英からなる。そして、コア172、173の酸化ゲルマニウムの添加率は、それぞれ0.9モル%、0.2モル%となっており、内側のコア172の方が酸化ゲルマニウムの添加率が高くなっている。そして、先細り部176、突出部177の先鋭角は、それぞれ130°、62°となっている。

このような構成の光ファイバ170は、上述の第1及び第2実施例の光ファイバ10、20と同様に、フォトン走査トンネル顕微鏡においてエバネッセント光を検出する光プローブとして機能し、クラッド174の周端部が試料表面に衝突することがなく、試料表面あるいは光ファイバ170を損傷することを防止することができる。

また、このような構成の光ファイバ170は、コア172、173及びクラッド174の組成に応じて、エッチング液の組成比を変更することにより、1回のエッチングにより形成することができるため、容易に製造することができる。

また、本発明の第19実施例の光ファイバは、例えば図32に示すように、第18実施例の光ファイバ170と同様に、ダブルコアの光ファイバ171の一端にコア173がクラッド174から露出した露出部185を有し、該露出部185の先端にコア173が先端先細り状とされた先細り部186を有し、該先細り部186の先端から突出したコア172が円錐状に先鋭化された突出部187を有する。また、この光ファイバ170は、上記突出部187の表面に遮光性の被覆層188を有し、突出部187の先端が遮光性の被覆層188から露出した開口部189を有する。

このような構成の光ファイバ180は、上述の第19実施例と同

様に、フォトン走査トンネル顕微鏡においてエバネッセント光を検出する光プローブとして機能し、クラッド174の周端部が試料表面に衝突することがなく、試料表面あるいは光ファイバ170を損傷することを防止することができる。

また、この光ファイバ180は、突出部187の表面の遮光性の被覆層188が検出光を遮断する遮光部として機能するため、開口部189からのみ検出光を入射させることができ、検出効率を向上させることができる。

また、本発明の第20実施例の光ファイバは、例えば図33に示すように、光ファイバ11の一端にクラッド13から突出したコア12を先鋭化した突出部194を有し、該突出部194の先端に先鋭角を大きくした検出端部195を有し、突出部194の表面に遮光性の被覆層196を有し、検出端部195の先端が遮光性の被覆層196から露出した開口部197を有している。あるいは、図34に示すように、上記遮光性の被覆層196を突出部194の表面の第1の被覆層198と、検出端部195の表面の第2の被覆層199から構成し、検出端部195の先端が第2の被覆層199から露出した開口部197を有する構成としてもよい。上記突出部194の先鋭角は20°程度であり、検出端部195の基端の直径は400～600nm程度であり、検出端部195の先鋭角は50°～90°程度である。

ここで、例えば上述の図14に示すような形状の光ファイバ80において開口部87の直径を変化させて、開口部87から入出力する検出光の伝達係数を求めると、例えば図35に示すような関係になる。突出部85の先鋭角が20°、50°の光ファイバ80につ

いてこのような関係を求めると、開口部 87 の直径がコア 12 中の検出光の波長 (λ/n 、 n : コア 12 の比屈折率) 程度以上の領域では、突出部 85 の先鋭角が 20° 、 50° の場合で伝達係数がほぼ等しいことがわかる。

しかしながら、同図より、開口部 87 の直径がコア 12 中の検出光の波長程度以下となると、突出部 85 の先鋭角が 20° の場合の伝達係数が、先鋭角が 50° の場合の伝達係数より大幅に小さくなることがわかる。これは、突出部 85 の先鋭角が 20° の場合では、先鋭角が 50° の場合に比して突出部 85 の直径が検出光の波長程度以下になる位置から突出部 85 の先端までの距離が長くなり、先鋭部 75 の直径が検出光の波長程度以下となる部分での光の損失が大きくなるためである。

このため、この第 20 実施例の光ファイバでは、上述のように検出端部 195 の基端部の直径 d_A を、検出光の波長である 400 nm より大きい 600 nm 程度とし、検出端部 195 の先鋭角を $50^\circ \sim 90^\circ$ 程度とすることにより、突出部 194 の直径が検出光の波長程度以下となる位置から検出端部 195 の先端までの距離を短くしている。ここで、開口部 197 の直径 d_B がそれぞれ 200 nm 、 250 nm の場合の伝達係数は、上記図 35 中に符号 #1、#2 で示すように、それぞれ、 1.0×10^{-3} 、 9.0×10^{-4} 程度となっている。このため、この光ファイバ 190 では、検出光の減衰を低減させることができ、光検出感度を向上させて S/N の高い測定を行うことができる。

また、この光ファイバ 190 では、上述のように突出部 194 の先鋭角を 20° 程度としているため、クラッド 13 の先端から検出

端部 195 の先端までを隔離して、クラッド 13 の先端と、被検出物とが接触することを防止することができる。

また、本発明の第 21 実施例の光ファイバは、例えば図 36 に示すように、上述の図 14 に示す第 9 実施例の光ファイバ 80 と同様に、径小部 204 と、突出部 205 とを有する。また、この光ファイバ 150 は、突出部 205 の表面にゲル層あるいは該ゲル層を加熱して形成した非晶質層等からなる被覆層 206 を有し、突出部 205 の先端が被覆層 206 から露出した開口部 207 を有する。

このような構成の光ファイバ 200 の突出部 205 中を伝搬する光は、コア 12 と被覆層 206 の境界で反射されて開口部 207 から放射される。このため、被覆層 206 を設けない場合に比して、突出部の境界での光の反射率を高くすることができ、伝達効率を向上させることができる。

また、本発明の第 22 実施例の光ファイバは、例えば図 37 に示すように、上述の図 36 に示す第 21 実施例の光ファイバ 200 と同様に、径小部 214 と、突出部 215 とを有する。また、この光ファイバ 210 は、突出部 215 の表面に石英等の非晶質の被覆層 216 を有し、該非晶質の被覆層 216 の表面に遮光性の被覆層 217 を有し、突出部 215 の先端が上記非晶質の被覆層 216 及び遮光性の被覆層 217 から露出した開口部 218 を有する。

非晶質の層を設けない場合、突出部 215 外に洩れた光は、金等の導電性の材質からなる遮光性の被覆層 217 との境界で反射し、その一部が吸収される。突出部 215 内で、このような反射を繰り返すことにより光の強度が減衰する。これに対し、この光ファイバ 210 では、突出部 215 の表面に非晶質の被覆層 216 を設けて

いるため、突出部 215 の境界での光の反射率を高くすることができるため、突出部 215 中を伝搬する光が外に洩れにくい。これにより、この光ファイバ 210 では、被覆層 216 を設けない場合に比して、突出部 215 の境界での光の吸収を低減させることができ、突出部 215 中を伝搬する光の減衰を低減させて光の伝達効率を向上させることができる。

なお、上述の第 1～第 22 実施例の光ファイバは、上記先鋭部あるいは突出部がコア中を伝搬する光を集光するレンズとして機能し、集光した光を開口部から出力させて光導波路に入射する際等に使用され、光結合効率の高い光学結合素子として機能する。

また、このような光ファイバは、上記先鋭部あるいは突出部により集光した光を有機薄膜等に照射することにより、記録用光源として機能し、有機薄膜等に情報等を高密度に記録することができる。

また、本発明に係る光ファイバの製造方法では、コアとクラッドからなる光ファイバの一端をエッチングしてコアの先端を先鋭化した先鋭部を形成し、先鋭部の表面に遮光性の被覆層を形成し、遮光性の被覆層をエッチングして先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を形成する。

本発明の第 23 実施例に係る光ファイバの製造方法は、クラッド径が d_0 でコア径が d_c の光ファイバを出発材料として、図 38 に示す処理手順で上述の図 4 に示す形状の光ファイバを製造する。

この光ファイバの製造方法は、光ファイバの一端をエッチングして、クラッドの外周からコアの中心にかけて円錐状に先鋭化した先鋭部を形成する先鋭化工程と、先鋭部の表面に遮光性の素材をコーティングして遮光性の被覆層を形成するコーティング工程と、該コ

ーティング工程により形成された遮光性の被覆層をエッチングして、先鋭部の先端が露出した開口部を形成する開口工程とからなる。

また、上記先鋭化工程は、光ファイバの一端にクラッドを先細り状としたテーパ部を形成する第1エッチング工程と、コアがテーパ部のクラッドの先端に対して窪んだ凹部を形成する第2エッチング工程と、コアの先端とテーパ部の先端を面一とした平坦部を形成する第3エッチング工程と、クラッドの外周からコアの中心にかけて円錐状に先鋭化した先鋭部を形成する第4エッチング工程とからなる。

まず、光ファイバを先鋭化する第1から第4エッチング工程について説明する。

以下、クラッド13径 d_c が $125\mu\text{m}$ でコア12径 d_c が $3.4\mu\text{m}$ でコア中の酸化ゲルマニウム GeO_2 の添加率が25モル%である添加率が比較的高い光ファイバを用いた場合について説明する。

まず、第1エッチング工程において、図38(A)に示す光ファイバ11の一端220をフッ酸とフッ酸より比重の軽い液体、例えばスピンドルオイル、シリコンオイル等との界面で、例えば室温の場合では、22分から30分間程度エッチングする。

このようにフッ酸とオイルの界面で、光ファイバの一端220をエッチングすると、図39(A)に示すように、フッ酸とオイルの表面張力によって光ファイバ11の周囲の界面230が上昇し、メニスカスが形成される。そして、このメニスカスの部分では、フッ酸に接触しているクラッド13がエッチングされて円柱状の形状を保ったままで径が減少する。このメニスカスの高さ H_m は、同図

(B) に示すように、光ファイバ 1 1 がエッチングされて、クラッド 1 3 の径が減少すると高さが低くなる。したがって、クラッド 1 3 がすべてエッチングされるまで、メニスカスの高さ H_m が減少し、同図 (C) に示すように、テーパ部 2 2 1 が形成される。

そして、テーパ部 2 2 1 の先端のコア 1 2 がクラッド 1 3 から露出すると、フッ酸中のコア 1 2 のエッチング速度がクラッド 1 3 に対して速いため、露出したコア 1 2 が、すぐにエッチングされて、上記図 3 8 (B) に示すように、光ファイバ 1 1 の一端に円錐状のテーパ部 2 2 1 が形成される。

このテーパ部 2 2 1 のクラッド 1 3 の先鋭角 θ_2 は、比重が 0.833 g/cm^3 のスピンドルオイルを使用した場合は 24 度程度で、比重が 0.935 g/cm^3 のシリコンオイルを使用した場合は 20 度程度となっている。この先鋭角 θ_2 は、フッ酸とオイルの比重、粘性等に応じて決定されるため、再現性が高くなっている。

次に、第 2 エッチング工程において、テーパ部 2 2 1 をフッ酸により、例えば 2 分から 3 分間程度エッチングして、図 3 8 (C) に示すように、コア 1 2 がテーパ部 2 2 1 のクラッド 1 3 の先端に対して窪んだ凹部 2 2 2 を形成する。上述のようにこの光ファイバ 1 1 は、コア 1 2 の酸化ゲルマニウム GeO_2 の添加率が高いため、フッ酸中でのコア 1 2 のエッチング速度がクラッド 1 3 に対して非常に速いため、テーパ部 2 2 1 の先端のコア 1 2 が、先にエッチングされ、コア 1 2 がテーパ部 2 2 1 のクラッド 1 3 の先端に対して窪んだ凹部 2 2 2 が形成される。

なお、この第 2 エッチング工程のエッチングは、上記第 1 エッチングと連続して行ってもよい。すなわち、第 1 エッチング工程が終

了した後、光ファイバをフッ酸中にさらに突入して、所定時間分のエッチングを行えばよい。

また、この第2エッチング工程のエッチングを行う時間を、上述の2分から増加させると、クラッド13の径が減少する。例えばクラッド13径が125 μ mであった光ファイバに、このようなエッチングを行った後のクラッド13径は、図46中に四角形の記号で示すように、エッチング時間の増加と共に減少する。例えばエッチング時間を2分としたときに、エッチング後のクラッド13径が70 μ mとなり、エッチング時間を3分としたときに、エッチング後のクラッド13径が50 μ mとなる。したがって、このエッチング時間を制御することにより、エッチング後のクラッド13径を所望の値とすることができる。

なお、図46中の三角形の記号は、このエッチング時間を可変した場合に、最終的に得られた先鋭部14の先端の曲率半径を示すものであり、このエッチングを1.5~2分程度行うことによって先鋭部14の先端の曲率半径を非常に小さくすることができることがわかる。

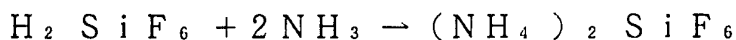
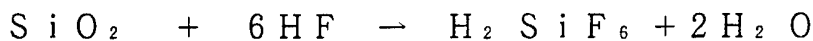
次に、第3エッチング工程において、上記フッ化アンモニウムの比率Xが1.7程度の緩衝フッ酸液を用いてテーパ部221を5~10分程度エッチングして、図38(D)に示すように、コア12の先端とテーパ部221の先端が面一となる平坦部223を形成する。この第3エッチング工程のエッチングでは、上記凹部222より先のクラッド13をエッチングすることができればよく、エッチング液の組成は、上記フッ化アンモニウムの比率Xが1以下の緩衝フッ酸液等のコア12のエッチング速度が速いものでなければ、

特に限定されない。

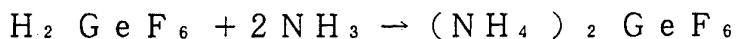
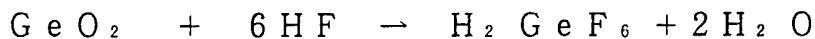
次に、第4エッチング工程においてR、テーパー部221を、例えばフッ化アンモニウム NH_4F の体積比Xが1.0の緩衝フッ酸液からなるエッチング液で、例えば60分から90分間程度エッチングする。

ここで、酸化ゲルマニウム GeO_2 を添加した石英 SiO_2 からなるコア12と、石英 SiO_2 からなるクラッド13は、濃度4.0重量%のフッ化アンモニウム水溶液と濃度5.0重量%のフッ酸と水の体積比がX : 1 : Y (Y = 任意)の緩衝フッ酸液にその端面を接触させておくと、

SiO_2 :



GeO_2 :



なる化学反応によりクラッド13とコア12がエッチングされる。

また、酸化ゲルマニウム GeO_2 を添加した石英からなるコア12と、石英からなるクラッド13とは、上記緩衝フッ酸液に対する溶解速度(エッチング速度)に差がある。このコア12とクラッド13の溶解速度の差は、フッ化アンモニウムの体積比Xに強い相関があり、液の温度によって多少の変動はあるがXが1.7程度のとときにコア12とクラッド13のエッチング速度がほぼ等しく、Xが1.7より小さいときにコア12のエッチング速度が比較的速く、Xが1.7より大きいときにクラッド13のエッチング速度が比較

的速くなる。なお、コア12とクラッド13のエッチング速度がほぼ等しくなるときのXの値は、温度等の条件により、1.5～1.7程度で変動する。

このため、Xが1.7より大きいエッチング液中で上述のようにテーパ部221及び平坦部223を形成した光ファイバ11をエッチングすると、図40に示すように、クラッド12が上記先鋭角 θ_2 を保ったままエッチングが進行する。なお、この図40は、エッチングが終了するまでの時間をTとし、エッチング開始時($t=0$)、エッチング中($t=T/2$)、エッチング終了時($t=T$)のときの光ファイバの形状を模式的に示したものである。

このとき、コア12のエッチング速度がクラッド13より速いため、エッチングが進行すると、クラッド13が先にエッチングされてコア12が徐々に突出する。このクラッド13から突出したコア12は側面からもエッチングされるため、エッチングが進行するに当たってクラッド13の先端が先鋭化され、図38(E)に示すようにクラッド13の外周からコア12の中心にかけて円錐状に先鋭化した先鋭部14が形成される。このときの先鋭角 θ_1 は、コア12とクラッド13のエッチング速度に応じて決まり、

$$\sin(\theta_1/2) = R_{core}/R_{clad}$$
(但し、 R_{core} : コアのエッチング速度、 R_{clad} : クラッドのエッチング速度)なる関係を有している。

この第4エッチング工程に使用するエッチング液は、フッ化アンモニウム NH_4F の体積比Xが10のエッチング液に限定されるものではなく、例えば $X=20$ 等としてもよい。

このため、上記第3エッチング工程において、上記フッ化アンモ

ニウムとフッ酸と水の比率が $X : 1 : 1$ ($X > 1.7$)あるいは $10 : 1 : Y$ ($Y < 30$)等であるエッチング液を用い、このエッチング液を用いて第4エッチング工程のエッチングを連続的に行うことができ、第3エッチング工程と第4エッチングの時間を短縮することができる。

具体的には、第3及び第4エッチングにおいて、例えばフッ化アンモニウム水溶液とフッ酸及び水の体積比を $10 : 1 : 1$ としたエッチング液を使用した場合には、第3及び第4エッチングを通じて全体で90分程度のエッチングを行えばよい。

また、この光ファイバ11は、コア12の中心付近の酸化ゲルマニウム GeO_2 の密度が多くなっているため、この第4エッチング工程の $X = 10$ のエッチング液中では、コア12の中心付近のエッチング速度が、コア12の周辺付近のエッチング速度に対して若干遅い。このため、先鋭部14の先端の曲率半径を小さくすることができる。

また、第4エッチング工程で形成される先鋭部14の先端角 θ_1 は、上述したようにコア12とクラッド13のエッチング速度の比に応じて決まるため、酸化ゲルマニウム GeO_2 のコア12中の分布とエッチング液中のフッ化アンモニウム NH_4F の体積比 X に依存する。

すなわち、コア12中の酸化ゲルマニウム GeO_2 の添加率を可変してコア12とクラッド13の比屈折率差 Δn を可変した場合には、例えば図41中に黒丸の点で示すように、コア12とクラッド13の比屈折率差 Δn が大きくなる程、コア12とクラッド13のエッチング速度の比である $\sin(\theta_1/2)$ が小さくなって、先

鋭角 θ_1 が小さくなる。

また、この第4エッチング工程で用いるエッチング液のフッ化アンモニウムとフッ酸と水の比率を $X : 1 : 1$ とし、フッ化アンモニウムの比率 X を変化させると、先鋭部 14 の先鋭角 θ_1 は、図 4 2 に示すように、フッ化アンモニウムの比率 X が 1.0 以下程度の場合において、フッ化アンモニウムの比率 X の増加に応じて小さくなる。これにより、フッ化アンモニウムの比率 X を選択することにより、先鋭部 14 の先鋭角 θ_1 を制御することができる。

このため、上述の第1エッチング工程においてシリコンオイルとフッ酸の界面でエッチングを行いクラッド 13 の先鋭角 θ_2 が 20 度となっている場合では、 X の値を 1.0 より小さくすることにより、上記図 1 1 に示すように、先鋭部 5 1 の先鋭角 θ_2 より、先鋭部 5 1 から突出した突出部 5 2 のコア 1 2 の先鋭角 θ_1 を大きくすることができる。

ところで、この第4エッチング工程で用いるエッチング液中のフッ化アンモニウム NH_4F の体積比 X は、 X が 1.7 程度より大きければコア 1 2 の先端を先鋭化することができるが、 X をむやみに大きくするとエッチング速度が低下し、エッチング時間が長くなる。また、図 4 2 に示すように、 X が 4.0 から 5.0 程度となると再び先鋭角 θ_1 が増大するため、 X の値は大きくても 2.0 ~ 3.0 程度とすることが望ましい。

また、この第4エッチング工程で用いるエッチング液のフッ化アンモニウムとフッ酸と水の比率を $1.0 : 1 : Y$ とし、水の比率 Y を変化させると、先鋭部 14 の先鋭角 θ_1 は、図 4 3 に示すように水の比率 Y の増加に応じて増加する。これにより、水の比率 Y を選択

することにより、先鋭部14の先鋭角 θ_1 を制御することができる。

そして、上述の第1から第4エッチング工程により、上述の図38(E)に示す構造の光ファイバ225が形成される。この光ファイバ225の先鋭部14の形状は、酸化ゲルマニウム GeO_2 の分布に依存して先鋭部14の形状が決定されるため再現性が高く、対称性のよい円錐形状を形成することができる。

次に、上述のコーティング工程とエッチング工程について説明する。このコーティング工程では、図44に示すように、真空蒸着装置を用いて真空中で光ファイバ225をその中心軸を中心として回転させ、先鋭部14の斜め下方から遮光性の素材の蒸気226を供給して蒸着することにより、上記遮光性の被覆層15を形成する。例えば同図中の ϕ を50~60度として金の蒸気226を供給してコーティングを行って、例えば図45に示すように、先鋭部14の表面に厚さが125nm程度の金の蒸着膜227を形成する。このように、真空中で先鋭部14の斜め下方から金の蒸気226を供給して蒸着を行うと、素材の蒸気の直進性が高いために、先鋭部14の先端の金の蒸着膜227の厚さが薄くなる。

ここで、遮光性の被覆層15として、使用することができる材質は、上述の金だけでなく蒸着が容易であって、開口工程においてエッチングすることができるものであれば、銀、白金、アルミニウム、パラジウム、ニッケル等でもよい。

開口工程では、遮光性の被覆層15をエッチングする。上述のように遮光性の被覆層15として金を用いる場合には、ヨードカリ溶液($\text{KI}-\text{I}_2$ 水溶液)により金の蒸着膜227の25nm程度の表面層227aをエッチングする。

このエッチングを行うエッチング液は、上記遮光性の被覆層 15 を金、白金、パラジウム等により形成した場合、上述の KI-I₂ 水溶液の他に王水、臭素溶液、KCN 溶液を用いることができる。また、上記遮光性の被覆層 15 としてアルミニウムを用いる場合は、濃度が 0.1% 程度の NaOH 水溶液あるいは KOH 水溶液等のアルカリ溶液、希塩酸等の酸等によりエッチングする。この場合、KOH 水溶液と赤血塩と水等の混合液あるいはリン酸と硝酸と酢酸等の混合液を用いてもよい。また、上記遮光性の被覆層 15 を銀から構成した場合では、アンモニウム水と加酸化水素水の混合液、希硝酸等を用いてエッチングし、上記遮光性の被覆層 15 をニッケルから構成した場合では、硝酸と酢酸とアセトンの混合液、硝酸等を用いてエッチングを行う。

このようなエッチングを行うと、上述のように遮光性の被覆層 15 の先端部の厚さが薄くなっているため、先鋭部 14 の先端が遮光性の被覆層 15 から露出して直径が 30 nm 程度の開口部 16 が形成される。これにより、上述の図 4 に示す形状の光ファイバ 10 が形成される。

ここで、このエッチング工程のエッチングを行わず、上記コーティング工程において、先鋭部 14 の斜め下方から金の蒸気 226 を供給して真空蒸着を行っただけでも、先鋭部 14 の先端の金の蒸着膜 227 の厚さが薄いために光を透過させることができ、疑似開口部として使用することができる。しかしながら、上述のフォトン走査トンネル顕微鏡の光プローブとして使用する場合には、この疑似開口部におけるエバネッセント光の吸収が大きくなる。このため、この光ファイバの製造方法では、先鋭部の先端を金の蒸着膜 227

から完全に露出させるために、遮光性の被覆層 227 をエッチングして開口部 16 を形成している。

この光ファイバの製造方法では、上記第 1 のエッチング工程においてフッ酸とフッ酸より軽い液体との界面で形成したテーパ部 221 の形状に応じてコア 12 の先鋭化の形状が決まるため、先鋭部 14 の形状の再現性を向上させることができる。また、この光ファイバの製造方法では、上記コーティング工程で形成した遮光性の被覆層を、開口工程においてエッチングして、開口部を形成しているため、先鋭部 14 の先端を遮光性の被覆層から完全に露出させて開口部を形成することができる。

また、本発明の第 24 実施例に係る光ファイバの製造方法は、上記第 23 実施例と同様に、光ファイバの一端をエッチングして、クラッドの外周からコアの中心にかけて円錐状に先鋭化した先鋭部を形成する先鋭化工程と、先鋭部の表面に遮光性の素材をコーティングして遮光性の被覆層を形成するコーティング工程と、該コーティング工程により形成された遮光性の被覆層をエッチングして、先鋭部の先端が露出した開口部を形成する開口工程とからなる。

この光ファイバの製造方法では、まず、先鋭化工程において、上記第 23 実施例の第 1 ～第 4 エッチング工程と同様なエッチングを行って、クラッド 13 の外周からコア 12 の中心にかけて円錐状に先鋭化した先鋭部 14 を形成した光ファイバ 225 を製造する。

また、この光ファイバの製造方法では、コーティング工程が、第 1 及び第 2 コーティング工程からなり、まず、第 1 コーティング工程では、上述のように形成された上記光ファイバ 225 に、アルミニウムを蒸着して厚さが 800 nm 程度の遮光性の被覆層 25 を形

成する。

この第1コーティング工程では、上述の図44に示すコーティング工程と同様に、真空蒸着装置を用いて真空中で光ファイバ225をその中心軸を中心として回転させ、先鋭部24の斜め下方からアルミニウムの蒸気226を供給して蒸着することにより、遮光性の被覆層25を形成している。この遮光性の被覆層25として使用することができる材質は、上記第23実施例のコーティング工程と同様に、アルミニウムだけでなく、遮光性が高く、導電性が高い材質であれば、金、銀、白金、パラジウム、ニッケル等でもよい。また、この第1コーティング工程では、遮光性の被覆層25をアルミニウムの1層の被覆層により形成したが、まず、先鋭部24に、例えばクロム、ゲルマニウム、シリコン等のガラスに吸着し易い素材をコーティングし、次に、例えば金等の遮光性の高い素材をコーティングして、2層の被覆層を形成することにより、剥離強度の高い被覆層を形成することができる。

ところで、この第24実施例では、後述する第2コーティング工程において、遮光性の被覆層25の先端以外の部分に耐腐食性の被覆層26を形成した後、エッチングを行って先鋭部24の先端の遮光性の被覆層25を選択的にエッチングするため、必ずしも上述のように真空蒸着を行って遮光性の被覆層25を形成する必要がない。

このため、この第1コーティング工程におけるコーティングは、素材の粒子の直進性が比較的低い方法であるスパッタリングや、親水化を行った後の無電界メッキ等のウェットプロセスによって行うことも可能である。このように、第1コーティング工程におけるコーティングをスパッタリングによって行うと、上述の真空蒸着を行

った場合と同程度の規模の装置を用いた場合に一度に処理できる光ファイバの数を増加させることができ、製造コストを低減させることができる。

次に、第2コーティング工程では、上述の図44に示すコーティング工程と同様に、真空蒸着装置を用いて真空中で光ファイバ225をその中心軸を中心として回転させ、先鋭部24の斜め下方から耐腐食性の素材の蒸気226を供給して蒸着することにより、耐腐食性の被覆層26を形成する。具体的には、上記図44中の角度 ϕ を50度程度として金の蒸気226を供給して厚さが80nm程度の金の蒸着膜を形成して耐腐食性の被覆層26とする。この耐腐食性の被覆層26として、使用することができる材質は、上述のように遮光性の被覆層25としてアルミニウムを使用した場合においては、上述の金だけでなく蒸着が容易であって、開口工程においてエッチングされないものであれば、銀、白金等でもよい。

このような真空蒸着では、スパッタリング等によりコーティングを行う場合に比較して金の蒸気226の直進性が高いため、上述のように先鋭部24に対して後方から金の蒸気226を供給すると、遮光性の被覆層25の先端に金の蒸気226が回り込まず、遮光性の被覆層25の先端に金が付着しない。これにより、例えば図47に示すように、遮光性の被覆層25の先端以外の部分に耐腐食性の被覆層26が形成され、遮光性の被覆層25の先端が耐腐食性の被覆層26から露出した露出部28が形成される。

最後に、開口工程では、上述のように遮光性の被覆層25及び耐腐食性の被覆層26が形成された光ファイバ225の先端を濃度が0.1%程度のNaOH水溶液からなるエッチング液によりエッチ

ングする。

上記耐腐食性の被覆層 26 を構成する金は、NaOH 水溶液に対して耐腐食性がある溶けず、上記遮光性の被覆層 25 を構成するアルミニウムは、NaOH 水溶液に溶けるため、上記露出部 28 の遮光性の被覆層 25 a が選択的にエッチングされる。これにより、上記図 7 に示すように、先鋭部 24 の先端が遮光性の被覆層 25 から露出した直径が 40 nm 程度の開口部 27 が形成される。

これにより、この光ファイバの製造方法では、第 2 コーティング工程において形成した耐腐食性の被覆層 26 から露出した遮光性の被覆層 25 の先端の露出部 28 を、開口工程において選択的にエッチングすることにより、遮光性の被覆層 25 に容易に開口部 27 を形成することができる。

なお、この開口工程で使用することができるエッチング液は、上記第 2 3 実施例の開口工程で用いるエッチング液と同様に、遮光性の被覆層 25 をエッチングすることができ、耐腐食性の被覆層 26 をエッチングしないものであれば、上記 NaOH 水溶液でなくともよい。

また、上記遮光性の被覆層 25 及び上記耐腐食性の被覆層 26 を構成する材質は、遮光性の被覆層 25 に比較して耐腐食性の被覆層 26 を構成する材質の開口工程で使用されるエッチング液に対する耐性が高ければよく、この条件を満たしていれば開口工程において露出部 28 の遮光性の被覆層 25 a を選択的にエッチングして開口部 27 を形成することができる。

具体的には、上述のように、遮光性の被覆層 25 としてアルミニウムを用い、開口工程のエッチング液を NaOH 水溶液とした場合

では、耐腐食性の被覆層 26 として、上述の金以外に、NaOH 水溶液に耐性のある銀、白金等の貴金属を使用することができる。

なお、これらの貴金属は、NaOH 溶液等のアルカリ溶液あるいは酸性溶液に耐性を有するため、この光ファイバを上述のフォトン走査トンネル顕微鏡に用いた場合に、アルカリあるいは酸性の溶液中の試料の形状を測定する際に、遮光性の被覆層を保護することができる。

また、例えば遮光性の被覆層 25 として金、銀、白金等の貴金属を用いる場合では、開口工程のエッチング液を KI-I₂ 水溶液とし、耐腐食性の被覆層 26 として、KI-I₂ 水溶液に耐性のある SiO₂ 等のシリカ系セラミックあるいは Al₂O₃ 等のアルミナ系セラミック等を使用することもできる。

また、本発明の第 25 実施例に係る光ファイバの製造方法は、図 48 に示す処理手順で上述の図 8 に示す形状の光ファイバを製造する。この光ファイバの製造方法では、上述の第 24 実施例と同様のテーパ形成エッチング工程においてクラッド 13 にテーパ部を形成する際に、図 48 (B) に示すように、ある程度テーパ部 231 が形成されてクラッド 13 の径が減少した径小部 232 が残った状態で、同図 (C) に示すように、光ファイバ 11 をさらに長さ L₁ だけフッ酸中に突入してエッチングを継続する。

この場合、光ファイバ 11 をフッ酸中に長さ L₁ だけ突入した後、光ファイバ 11 がさらにエッチングされるが、テーパ部 231 と径小部 232 が残ったままで、クラッド 13 径が減少する。そして、径小部 232 のクラッド 13 が溶けきると、図 48 (D) に示すように、クラッド 13 先端のテーパ部 233 と、フッ酸とシリコン

オイル等との界面 230 において形成されたテーパ部 234 との間クラッド 13 が径小となった径小部 235 が形成される。

具体的には、例えば図 49 に光ファイバ 11 を長さ L_1 だけフッ酸中に突入するタイミングと、得られる径小部 235 のクラッド 13 径との関係を示すように、フッ酸中に突入するタイミングを速くすると、径小部 235 のクラッド 13 径を細くすることができる。

このような形状の光ファイバ 236 に、上述の第 24 実施例と同様の先鋭化工程のエッチングを行うと、テーパ部 233 の先端から露出したコア 12 が先鋭化されて上記図 8 に示す形状の光ファイバ 30 が形成される。この場合、上記径小部 235 に基づく径小部 35 の径 d_1 は、上述のテーパ形成エッチング工程の途中で光ファイバ 11 をフッ酸中に突入させるタイミングに依存しているため、上述のテーパ形成エッチング工程において、光ファイバ 11 をフッ酸中に突入させるタイミングを制御することにより、所望の値とすることができる。

また、この径小部 35 の長さ L_0 は、上述のテーパ形成エッチング工程において、光ファイバ 11 をフッ酸中に突入した長さ L_1 から、テーパ部 35 の長さを引いた長さとなっているため、光ファイバ 11 をフッ酸中に突入させる長さ L_1 を制御すれば、径小部 35 の長さ L_0 を所望の値とすることができる。また、上述のように形成した光ファイバに上述の第 23 あるいは第 24 実施例と同様にコーティング工程及び開口工程の処理を施して遮光性の被覆層を形成することにより、上記図 9 に示す形状の光ファイバ 40 を形成することができる。

また、本発明の第 26 実施例に係る光ファイバの製造方法では、

まず、上述の第23実施例の第1エッチング工程と同様に、光ファイバ11の一端をフッ酸とフッ酸より比重の軽い液体との界面でエッチングして、テーパ部221を形成する。次に、このようなテーパ部221を第23実施例の第4エッチング工程と同様な緩衝フッ酸液からなるエッチング液中でエッチングする。

このとき用いるエッチング液は、例えばコア12とクラッド13の比屈折率差 Δn が2.5%以上であるときは、フッ化アンモニウム NH_4F の体積比 X を1.25から20程度とする。

このようなエッチングを行うと、クラッド13のエッチング速度がコア12より速いために、図50に示すように、テーパ部221の先端から露出したコア12が側面からもエッチングされて先鋭化され、突出部52が形成される。すなわち、このときのテーパ部221からコア12が露出する見かけ上のクラッド13のエッチング速度は、テーパ部221を θ_2 とすると、実際のクラッド253のエッチング速度 R_{clad} の $1 / \{ \sin(\theta_2 / 2) \}$ 倍になる。したがって、コア12の先鋭角 θ_1 は、

$$\sin(\theta_1 / 2) = \sin(\theta_2 / 2) \times (R_{\text{core}} / R_{\text{clad}})$$

となり、上記第23実施例の場合と比較して突出部52の先端のコア12の先鋭角 θ_1 を小さくすることができる。このようなエッチングにおいて、フッ化アンモニウム NH_4F の体積比 X を増加させると、例えば図51に示すように、 X の増加にしたがって突出部52の先鋭角 θ_1 が小さくなる。

次に、上記第23あるいは第24実施例と同様に、突出部52の表面に遮光性の被覆層53を形成した後、遮光性の被覆層53をエッチングして開口部54を形成することにより、上記図10に示す

形状の光ファイバ50が形成される。

このため、このような光ファイバの製造方法では、突出部52のコア12の先鋭角 θ_1 を小さくすることができ、検出感度を向上させた光ファイバを製造することができる。

また、本発明の第27実施例に係る光ファイバの製造方法は、上記第23実施例の第1エッチング工程と同様に、図52(A)に示す光ファイバ11の一端220をフッ酸とフッ酸より比重の軽い液体との界面で21分程度エッチングして、同図(B)に示すように、テーパ部221を形成する。この際、テーパ部221の先端にコア12が残った状態でエッチングを終了する。

次に、このようにテーパ部221を形成した光ファイバ11を、上記フッ化アンモニウム NH_4F の体積比Xを2程度としたエッチング液中で、10～15分程度エッチングする。このとき、コア12は、側面からエッチングされるが、完全に溶け切る直前でエッチングを終了することにより、テーパ部221から突出したコア12の先端が先鋭化されて突出部52が形成される。この突出部52は、コア12の先端の先鋭角 θ_1 が10度から15度程度に小さくなるが、過渡的なエッチング状態であるため先鋭角 θ_1 の制御はできない。しかしながら、先鋭角を小さくできると共に、先鋭化工程を簡略化して製造コストを低減させることができる。

また、このような形状の光ファイバを上述の第23実施例あるいは第24実施例のコーティング工程以降の処理に用いることもできる。

また、本発明の第28実施例に係る光ファイバの製造方法は、上述の図12に示す光ファイバ60を製造する方法であって、コア1

2とクラッド13からなる光ファイバ11の一端をエッチングしてクラッド13の厚さを薄くして径小部64を形成する第1エッチング工程と、径小部64の先端をエッチングすることによりコア12を先鋭化して突出部65を形成する第2エッチング工程と、突出部65の表面に遮光性の被覆層66を形成する第1コーティング工程と、遮光性の被覆層66の先端以外の部分の表面に耐腐食性の被覆層67を形成する第2コーティング工程と、突出部65の先端の遮光性の被覆層66をエッチングして突出部65の先端が遮光性の被覆層66から露出した開口部68を形成する開口工程とからなる。

この光ファイバの製造方法では、まず、図53に示す第1及び第2エッチング工程において、同図(C)に示す径小部64と突出部65とを有する形状の光ファイバ245を製造し、第1及び第2コーティング工程において、この光ファイバ245の突出部65に上述の遮光性の被覆層66及び耐腐食性の被覆層67を形成し、開口工程において、開口部68を形成するようになっている。

以下、クラッド13径 d_c が $125\mu\text{m}$ でコア12径 d_c が $3.4\mu\text{m}$ でコア12中に酸化ゲルマニウム GeO_2 を添加した光ファイバ11を用いた場合について説明する。なお、この光ファイバ11は、コア2に添加する GeO_2 のコア2の中心部の密度が高く、コア2の外周部の密度が低い状態となるように密度分布を持たせてある。

まず、第1エッチング工程において、図53(A)に示す光ファイバ11の一端240を、濃度40重量%のフッ化アンモニウム水溶液と濃度50重量%のフッ酸と水からなる体積比が $X:1:Y$ ($Y = \text{任意}$)の緩衝フッ酸液であって、フッ化アンモニウム NH_4

Fの体積比Xが1.7程度である緩衝フッ酸液をエッチング液として用いて70～80分程度エッチングを行う。

これにより、例えば同図(B)に示すように、エッチング液に接触しているクラッド13がエッチングされて径小部64が形成される。この径小部64の径 d_2 は、エッチング液中の NH_4F の体積比X、エッチング時間を可変することにより制御することができる。また、径小部64の長さは、光ファイバ11のエッチング液中に浸漬する部分の長さを調節することによって可変することができる。

次に、第2エッチング工程において、フッ化アンモニウム NH_4F の体積比Xが1.7より大きい緩衝フッ酸液をエッチング液として用いてエッチングを行う。具体的には、温度が23度のときに、体積比Xが5乃至10程度のエッチング液を使用し、体積比Xが5のエッチング液を使用した場合には60分程度、体積比Xが10のエッチング液を使用した場合には120分程度のエッチングを行う。この第2エッチング工程で用いるエッチング液は、フッ化アンモニウム NH_4F の体積比Xが5乃至10であるため、クラッド13のエッチング速度がコア12のエッチング速度より速い。

このようなエッチングを行うと、コア12のエッチング速度がクラッド13より速いため、エッチングが進行すると、クラッド13が先にエッチングされてコア12が徐々に突出する。このクラッド13から突出したコア12は側面からもエッチングされるため、図54に示すように、エッチングが進行するにしたがって、クラッド13から露出したコア12が円錐状に先鋭化される。

これにより、図53(C)に示すように、径小部64の先端のクラッド13からコア12が突出した突出部65が形成される。

また、この光ファイバは、上述のようにコア12の中心部のGeO₂の密度が高いため、コア12の中心部のエッチング速度が若干低く、コア12の周辺部になるに連れてエッチング速度が高くなる。これにより、突出部65のコア12の周辺部が先にエッチングされてコア12の先端が先細り状となって突出部65が円錐状に先鋭化される。

この場合、先鋭化される突出部65の先端角 θ_1 は、酸化ゲルマニウムGeO₂のコア12中の分布とエッチング液中のフッ化アンモニウムNH₄Fの体積比Xに依存する。このときの突出部65の先鋭角 θ_1 は、上述の第23実施例と同様に、コア12とクラッド13のエッチング速度に応じて決まり、フッ化アンモニウムNH₄Fの体積比Xを変化させると、上記図41に示すように変化する。例えばフッ化アンモニウムNH₄Fの体積比Xが5のエッチング液を使用した場合には、エッチング時間、コア12中のGeO₂の密度分布等にもよるが、先端角 θ_1 を20度程度とすることができる。また、このエッチングでは、コア12中に添加した酸化ゲルマニウムGeO₂の分布に依存して突出部65の形状が決定されるため再現性が高く、対称性のよい円錐形状を形成することができる。

また、コア12中の分布が一定となるように酸化ゲルマニウムGeO₂が添加され、コア12とクラッド13の屈折率がステップ状に変化するシングルモードファイバを用いても上述の図53(C)に示すような形状の光ファイバを形成することもできる。

この場合は、上述のようにコア12に添加するGeO₂に密度分布を持たせた光ファイバを使用した場合と異なり、GeO₂に密度分布に基づく突出部65の先鋭化は期待できない。しかしながら、

コア12とクラッド13のエッチング速度の比に応じた先鋭化が行われ、例えばクラッド13径が125 μ mでコア12の径が8 μ m程度とされたシングルモードファイバに、上述の第2エッチングにおいて使用したエッチング液と同様な組成で、 NH_4F の体積比Xが10程度であるエッチング液を用いて、温度が25度の条件で、3時間15～20分程度のエッチングを行った場合においても、突出部65の先鋭角 θ_1 が若干大きく（105度程度）なるが、上述の第2エッチング工程と同様に円錐状に先鋭化された突出部65が形成される。また、この場合では、使用できるエッチング液中の NH_4F の体積比Xは、上述の10以外でも突出部65の先鋭化を行うことができる。なお、このシングルモードファイバを使用した場合においても、上述の第1エッチング工程と同様なエッチングを行うことにより、径小部64を形成できる。

また、石英 SiO_2 からなるコア12と、フッ素Fを添加した石英 SiO_2 からなるクラッド13を有するシングルモードファイバを用いても、突出部65の先鋭角が77度程度であるが、上述の図53(C)に示すような形状の光ファイバを形成することもできる。

このような光ファイバを用いた場合には、例えばフッ化アンモニウム NH_4F の体積比Xを1.7程度とした比較的エッチング速度が速いエッチング液を用いることにより、1回のエッチングで径小部64の形成と、突出部65の先鋭化を行うことができ、1回のエッチングで上記第1及び第2エッチング工程の処理を行うことができる。このため、製造工程を簡略化することができ、製造コストを低減することができる。

次に、第1及び第2エッチング工程及び開口工程について説明す

る。第1コーティング工程では、図55に示すように、上述の第1及び第2エッチング工程によって形成された光ファイバ245に、突出部65の上方向から金の蒸気を供給する。これにより、図56に示すように突出部65の表面に金からなる400nm程度の膜厚の遮光性の被覆層66が形成される。

この遮光性の被覆層66として使用することができる材質は、上記第23実施例のコーティング工程と同様に、アルミニウムだけでなく、遮光性が高く、開口工程においてエッチングできるものであれば、金、銀、白金などでもよい。また、この第1コーティング工程では、遮光性の被覆層66をアルミニウムの1層の被覆層により形成したが、まず、突出部65に、例えばクロム、ゲルマニウム、シリコン等のガラスに吸着し易い素材をコーティングし、次に、例えば金等の遮光性の高い素材をコーティングして、2層の被覆層を形成することにより、剥離強度の高い遮光性の被覆層66を形成することができる。なお、この第1コーティング工程におけるコーティングは、遮光性の被覆層66を形成することができれば、蒸着だけではなく、スパッタリングあるいは親水化処理を行った後、無電界メッキを行う等の粒子の直進性が比較的低い方法によっても行うことができる。

この第1コーティング工程におけるコーティングをスパッタリングによって行うと、真空蒸着を行った場合に比較して、同程度の規模の装置を用いた場合に一度に処理できる光ファイバの数を増加させることができ、製造コストを低減させることができる。

また、第2コーティング工程では、上述の第1コーティング工程において遮光性の被覆層66を形成した光ファイバ245を合成樹

脂を溶かした溶剤に浸漬した後、溶剤から引き上げる。具体的には、合成樹脂を溶かした溶剤としては、市販のアクリル塗料を使用した。

溶剤から引き上げられると、突出部 6 5 の遮光性の被覆層 6 6 に付着した溶剤が表面張力によって、径小部 6 4 側に引き寄せられ、突出部 6 5 の先端の遮光性の被覆層 6 6 が溶剤から露出する。ここで、合成樹脂を溶かしておく溶剤は、溶剤から引き上げた際に、表面張力によって突出部 6 5 の先端の遮光性の被覆層 6 6 が溶剤から露出する程度に粘性が低いものであればよい。また、合成樹脂は、開口工程で使用されるエッチング液によりエッチングされないものであればよい。

そして、溶剤が蒸発すると遮光性の被覆層 6 6 の表面には、合成樹脂が残り、図 5 7 に示すように、突出部 6 5 の先端の遮光性の被覆層 6 6 が合成樹脂性からなる耐腐食性の被覆層 6 7 から露出した露出部 6 9 が形成される。

ここで、上記合成樹脂を溶かした溶剤の粘性が高い場合には、突出部 6 5 の先端の遮光性の被覆層 6 6 が耐腐食性の被覆層 6 7 から露出しない場合がある。しかしながら、耐腐食性の被覆層 6 7 の先端の厚さが薄くなるため、耐腐食性の被覆層 6 7 を全体的にエッチングすることにより、遮光性の被覆層 6 6 の先端が露出した露出部 6 9 を形成することができる。このとき使用するエッチング液は、NaOH 等のアルカリ溶液あるいは希塩酸等の酸を用いることができる。

次に、開口工程として、上述のように突出部 6 5 の表面に遮光性の被覆層 6 6 及び耐腐食性の被覆層 6 7 が形成された光ファイバ 2 4 5 を、ヨウ化カリウム KI - I₂ 水溶液あるいはシアン化カリウ

ム水溶液等からなるエッチング液によりエッチングする。

上記耐腐食性の被覆層 67 を構成する合成樹脂は、KI-I₂ 水溶液に対して耐腐食性があり、上記遮光性の被覆層 66 を構成する金は、KI-I₂ 水溶液に溶けるため、このエッチングにより、上記露出部 69 から露出した遮光性の被覆層 66 が選択的にエッチングされ、上記図 12 に示すように、上記突出部 65 の先端が遮光性の被覆層 66 から露出した開口部 68 が形成される。

具体的には、上述のコア 12 中に添加した GeO₂ に密度分布を持たせた光ファイバを使用し、突出部 65 の先鋭角が 20 度で金を 400 nm 程度コーティングした光ファイバ 245 を、KI と I₂ と水の重量比が、20 : 1 : 100 の比率となっている KI-I₂ 溶液を、水で 100 倍程度に希釈したものをエッチング液として、1 ~ 3 分程度エッチングしたところ、30 nm 程度の開口部 68 が得られた。

また、上述のシングルモードファイバを使用し、先鋭角が 105 度程度で、金を 150 nm 程度コーティングした光ファイバ 245 を、KI と I₂ と水の重量比が、20 : 1 : 400 の比率となっている KI-I₂ 溶液を、水で 5.0 倍程度に希釈したものをエッチング液として、5 分程度エッチングしたところ、100 nm 程度の開口部 68 が得られた。

なお、この開口工程で使用することができるエッチング液は、上述の第 23 実施例の開口工程と同様に、遮光性の被覆層 66 をエッチングすることができ、耐腐食性の被覆層 67 をエッチングしないものであればよい。このようなエッチング液を用いることにより、上述と同様に、開口工程において露出部 69 の遮光性の被覆層 66

を選択的にエッチングして開口部 6 8 を形成することができる。また、プラズマエッチング等によるドライエッチングによっても可能である。

この光ファイバの製造方法では、開口工程において、突出部 6 5 の遮光性の被覆層 6 6 をエッチングする際に、耐腐食性の被覆層 6 7 が形成されていない突出部の先端の露出部 6 9 の遮光性の被覆層 6 6 を選択的にエッチングすることができ、容易に開口部 6 8 を形成することができる。

また、本発明の第 2 9 実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、光ファイバをエッチングして図 5 8 (E) に示す形状の光ファイバ 2 5 3 を形成し、該光ファイバ 2 5 3 に上述の第 2 8 実施例の第 1 コーティング工程以降の処理と同様の処理を行って上述の図 1 3 に示す光ファイバ 7 0 を製造する。

すなわち、この光ファイバの製造方法では、まず、図 5 8 (A) に示す光ファイバ 1 1 の一端 2 5 0 をフッ酸とフッ酸より比重の軽い液体、例えばスピンドルオイル、シリコンオイル等との界面で、例えば 2 5 分から 3 0 分間程度エッチングする。

フッ酸とスピンドルオイル又はシリコンオイル等との界面付近では、上述のようにメニスカスが形成され、このメニスカスの高さは、クラッド 1 3 がエッチングされるにしたがって低くなるために、クラッド 1 3 が先細り状にエッチングされ、図 5 8 (B) に示すようにクラッド 1 3 にテーパ部 7 1 が形成される。

次に、上述のように形成されたテーパ部 7 1 をフッ酸により、例えば 2 分から 3 分間程度エッチングする。フッ酸中ではコア 1 2 のエッチング速度がクラッド 1 3 より速いため、このエッチングに

よって、図 5 8 (C) に示すように、コア 1 2 がテーパー部 7 1 のクラッド 1 3 の先端に対して窪んだ凹部 2 5 1 が形成される。

さらに、テーパー部 7 1 を、フッ化アンモニウム NH_4F の体積比 X が 1.7 程度で、水の体積比 Y が 1 ののである緩衝フッ酸液からなるエッチング液で、例えば 90 分程度エッチングする。このとき、30 分程度エッチングした段階で、図 5 8 (D) に示すように、コア 1 2 の先端とテーパー部 7 1 の先端が平坦となる平坦部 2 5 2 が形成される。そして、さらにエッチングを続けると、上述のような組成のエッチング液中ではコア 1 2 のエッチング速度に対してクラッド 1 3 のエッチング速度が速いため、図 5 8 (E) に示すように、クラッド 1 3 が先にエッチングされて平坦部 7 4 が形成され、コア 1 2 が平坦部 7 4 のクラッド 1 3 から突出し、先端が円錐状に先鋭化された突出部 7 5 が形成される。

次に、このような形状の光ファイバ 2 5 3 に、上述の第 2 8 実施例と同様の第 1 及び第 2 コーティング工程と開口工程の処理を行うことにより、遮光性の被覆層及び開口部を形成すると、上述の図 1 3 に示す形状の光ファイバ 7 0 が形成される。

また、本発明の第 3 0 実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、上述の第 2 8 実施例と同様の第 1 及び第 2 エッチング工程の処理を行って、上述の図 5 3 (C) に示す形状の光ファイバ 2 4 5 を形成する。次に、コーティング工程において、突出部 6 5 の表面に遮光性の被覆層 6 6 を形成し、感光体層形成工程において、遮光性の被覆層 6 6 の表面に感光体層を形成し、露光工程において、エバネッセント光により感光体層の先端のみを選択的に露光し、露出部形成工程において、露光した感光体層を除去して感光体層の先端

に露出部を形成する。そして、開口工程において、感光体層の先端に形成された露出部より露出した遮光性の被覆層 66 をエッチングすることにより上記突出部 65 の先端が遮光性の被覆層 66 から露出した開口部 87 を形成した後、感光体層除去工程において、突出部 65 の表面の感光体層を除去して上述の図 14 に示す形状の光ファイバ 80 を製造するようになっている。

上記コーティング工程では、イオンスパッタ装置を用いて、上述の第 1 及び第 2 エッチング工程により形成された光ファイバ 245 の突出部 65 に、突出部 65 の先端方向から金の粒子を供給する。これにより、上述の図 56 に示すように、突出部 65 の表面に厚さが 200 nm 程度の金の層からなる遮光性の被覆層 66 が形成される。この遮光性の被覆層 66 の厚さは、コーティングを行う時間を可変することによって制御することができる。また、この遮光性の被覆層 66 として使用することができる材質は、金だけでなく、上記第 23 実施例のコーティング工程と同様に、遮光性が高く、開口工程においてエッチングできるものであれば、アルミニウム、銀、白金などでもよい。

また、あるいは、このコーティング工程において、図 59 に示すように、真空中で突出部 65 の先端に対して斜め上方から、金の蒸気 247 を供給して真空蒸着を行って遮光性の被覆層 66 を形成してもよい。この場合は、突出部 65 の表面に均一に蒸着を行うために、光ファイバ 245 をその中心軸を中心として回転させながら蒸着を行う。また、このコーティング工程において、まず、クロム、ゲルマニウム、シリコン等のガラスに吸着し易い素材を突出部 65 にコーティングした後、金等の遮光性の高い素材をコーティングす

ることによって、遮光性の被覆層 66 を 2 層として剥離強度の高い被覆層を形成することができる。

なお、このコーティング工程におけるコーティングは、遮光性の被覆層 66 を形成することができれば、上述のスputタリング、蒸着だけではなく、無電界メッキ等の方法によっても行うことができる。

このコーティング工程において、上述のようにスputタリングによってコーティングを行うと、真空蒸着を行った場合に比較して、同程度の規模の装置を用いた場合に一度に処理できる光ファイバの数を増加させることができ、製造コストを低減させることができる。

次に、感光体層形成工程では、上述のコーティング工程において遮光性の被覆層 66 を形成した光ファイバ 245 の突出部 65 に感光体を付着させて感光体層を形成する。この感光体層を形成する感光体としては、いわゆるフォトレジストを使用する。そして、図 60 に示すように、フォトレジストが充填された注射器を微動台に固定し、フォトレジストを押し出して注射器の針 255 の先端にフォトレジストの滴 256 を垂下させる。

次に、垂下したフォトレジストの滴 256 の下方に、突出部 65 が上となるように光ファイバ 245 を固定する。そして、図 60 中に実線矢印で示すように、垂下したしたフォトレジストの滴 256 が落ちないように、微動台を静かに操作しながら注射器を下方に移動させてフォトレジストの滴 256 を突出部 65 に接触させる。そして、フォトレジストを付着させた後、同図中に波線矢印で示すように、再び注射器を上方に移動させる。これにより、突出部 65 の遮光性の被覆層 66 の表面にフォトレジストが付着し、このフォ

レジストを乾燥させると、図 6 1 に示すように、突出部 6 5 の表面に形成した遮光性の被覆層 6 6 の表面に感光体層 8 8 が形成される。

この感光体層 8 8 の先端部分の厚さは、フォトレジストの粘度と径小部 6 4 の径によって決まる。粘度が $50 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ であるフォトレジストを使用して、径小部 6 4 の径を $30 \mu\text{m}$ 、 $20 \mu\text{m}$ 、 $15 \mu\text{m}$ に変化させた場合に、先鋭部 5 5 に付着されるフォトレジスト層の断面形状を調べたところ、図 6 2 (a)、同図 (b) 及び同図 (c) に示す結果が得られた。

すなわち、径小部 6 4 の径が大きくなると、感光体層 8 8 の先端部分の厚さが厚くなり、逆に径小部 6 4 の径が小さくなると、感光体層 8 8 の先端部分の厚さが薄くなる。例えば図 6 2 (b) に示す径小部 6 4 の径が $20 \mu\text{m}$ である場合は感光体層 8 8 の先端部分の厚さは 100 nm であり、同図 (c) に示す径小部 6 4 の径が $15 \mu\text{m}$ である場合は感光体層 8 8 の先端部分の厚さは 35 nm であった。

また、この感光体層 8 8 の先端部分の厚さは、フォトレジストの粘度が高くなると厚くなり、フォトレジストの粘度が低くなると薄くなる。また、この感光体層 8 8 の厚さは、遮光性の被覆層 6 6 の厚さによっても変化し、遮光性の被覆層 6 6 が厚くなって、径小部 6 4 の先端と突出部 6 5 とがより平坦な形状に近づくと、フォトレジストが付着しやすくなって、感光体層 8 8 の厚さが増加する。

径小部 6 4 の径は、上述したように、第 1 エッチング工程のエッチング時間を可変することによって制御することができるため、第 1 エッチング工程のエッチング時間を可変することにより、感光体層 8 8 の先端部分を所望の厚さとすることができる。あるいは、コ

ーティング時間を制御することにより、遮光性の被覆層 66 の厚さを制御しても同様に感光体層 88 の先端部分を所望の厚さとすることが出来る。

また、以上の説明では、フォトレジストにより感光体層 88 を形成した例を示したが、感光体層 88 を形成する素材は、感光性を有し、開口工程で使用されるエッチング液によりエッチングされないものであれば特に限定されない。また、上述の説明では、フォトレジストを充填した注射器を移動させて、突出部 65 にフォトレジストを付着させているが、光ファイバ 245 を移動してフォトレジストを付着させてもよい。

次に、露光工程では、感光体層 88 の先端のみをエバネッセント光により選択的に露光する。具体的には、図 63 に示すように、プリズム 257 に He-Cd レーザ等のレーザ光 258 を全反射角以上の角度で入射してエバネッセント光の場 258 を形成する。すなわち、全反射角以上で入射したレーザ光 258 は、プリズム 257 と空気との界面 257a で反射されるが、プリズム 257 の表面からレーザ光 258 の波長程度の距離の領域には、エバネッセント光の場 259 が形成される。

次に、このようにエバネッセント光の場 259 が形成されたプリズム 257 の表面に感光体層 88 が形成された光ファイバ 245 を接近させる。

エバネッセント光の場 259 におけるエバネッセント光の強度は、プリズム 257 の表面からの距離が増加するに従って指数関数的に減少するようになっている。このため、プリズム 257 の表面と光ファイバ 245 の先端の間の距離 R をレーザ光 258 の波長程度

以下とした場合、突出部 65 先端でのエバネッセント光の光強度は、突出部 65 の基端での光強度に対して非常に強くなり、感光体層 88 の先端のみに光が当たっている状態と等価となり、感光体層 88 の先端がエバネッセント光によって露光され、上記図 63 に示すように、感光体層 88 の先端に露光部 88 a が形成される。

このように露光を行うためには、突出部 65 の先端をレーザー光 258 の波長程度以下の精度でプリズム 257 表面に接近させる必要がある。このため、この露光工程では、図 64 に示すような構成の原子間力顕微鏡を用いて、光ファイバ 245 とプリズム 257 の位置の制御を行っている。

すなわち、この原子間力顕微鏡は、その固有振動数で振動させた光ファイバ 245 とプリズム 257 表面との間に働く原子間力を検出して、光ファイバ 245 の先端とプリズム 257 との間の距離を測定するようになっており、原子間力に基づく光ファイバ 245 の振動の振幅を検出する変位検出部と、光ファイバ 245 及びプリズム 257 を移動させる駆動部と、変位検出部により検出された光ファイバ 245 の振動の振幅に応じて駆動部等の制御を行う制御部等を備えている。

変位検出部は、レーザーダイオード 260 によって発生したレーザー光をレンズ 261 によって平行光線とし、変位検出光としてミラー 262 によって反射させて光ファイバ 245 の側面に照射し、光ファイバ 245 によって散乱された変位検出光を光ファイバ 245 に対してミラー 262 と対向して設けられたスリット 263 を介してフォトダイオード 264 で受光し、このフォトダイオード 264 の出力をアンプ 265 で増幅した後、ロックインアンプ 266 で検出

する。

ここで、圧電素子等を用いて固有振動数で振動させた光ファイバ245をプリズム257表面に接近させる際に、光ファイバ245の先端とプリズム257の表面との距離が10nm以下程度となると、光ファイバ245の先端とプリズム257の表面との距離に応じて原子間力が働き、光ファイバ245の振幅が減少する。この光ファイバ245の振幅は、例えば図65に示すように、光ファイバ245の先端とプリズム257の表面の距離が10nm以下程度となると急激に減少する。

このように光ファイバ245の振幅が変化すると、フォトダイオード264の出力の振幅が変化する。そして、ロックインアンプ266は、アンプ265を介して供給されるフォトダイオード264の出力の振幅を検出して光ファイバ245の振幅を求め、光ファイバ245とプリズム257の表面との距離を検出する。

制御部267は、上述の変位検出部で検出した光ファイバ245の先端とプリズム257の表面との距離に基づいて駆動部の動作を制御する。駆動部では、PZT駆動部268が、制御部267からの制御に基づいて光ファイバ245が固定されたPZT269aと、プリズム257が固定されたPZT269bを駆動する。これにより、変位検出部によって検出された光ファイバ245の先端とプリズム257の表面との距離に応じて、PZT269a、269bが駆動され、光ファイバ245の先端とプリズム257の表面との距離がレーザ光258の波長程度に保持される。なお、光ファイバ245は、露光終了後に取り外す必要があるため、光ファイバ245に付設された磁石m1によって、PZT269aに設けられた磁石

m 2 に固定されている。このように、磁石 m 1、m 2 によって光ファイバ 2 4 5 を固定しているため、光ファイバ 2 4 5 の交換が容易となる。

このような状態で、レーザ光源 2 7 0 で発生したレーザ光 2 5 8 をミラー 2 7 1 によって反射させ、シャッタ 2 7 2 を介してプリズム 2 5 7 に入射すると、上述したようにプリズム 2 5 7 の表面に、エバネッセント光の場 2 5 9 が形成され、感光体層 8 8 の先端に露光部 8 8 a が形成される。

次に、露出部形成工程では、上述の露光工程で露光された感光体層 8 8 の露光部 8 8 a を除去して、図 6 6 に示すように、感光体層 8 8 の先端に露出部 8 9 を形成する。すなわち、感光体層 8 8 を形成するフォトレジストは、有機系アルカリ溶液等からなる現像液により現像すると露光部 8 8 a が除去され、図 6 7 に示すように、感光体層 8 8 の先端から遮光性の被覆層 6 6 が露出した露出部 8 9 が形成される。

なお、この図 6 7 は、上述の第 1 エッチング工程において、フッ化アンモニウム水溶液とフッ酸と水の比率を 1. 7 : 1 : 1 とした緩衝フッ酸液をエッチング液として 7 8 分程度エッチングした後、フッ化アンモニウム水溶液とフッ酸と水の比率を 1 0 : 1 : 1 とした緩衝フッ酸液をエッチング液として 1 2 0 分程度エッチングし、2 0 0 n m 程度の厚さに金をコーティングし、フォトレジスト層を形成した後、プリズム 2 5 7 に入射するレーザ光のパワーを 0. 2 5 m W とし、0. 1 2 5 秒の露光を行った後、3 0 秒の現像を行った場合の形状を示している。

次に、開口工程では、上述の露出部形成工程において露出部 8 9

が形成された光ファイバ245をエッチングして、突出部65の先端が遮光性の被覆層66から露出した開口部87を形成する。具体的には、ヨウ化カリウム $KI-I_2$ 水溶液あるいはシアン化カリウム水溶液等をエッチング液として遮光性の被覆層66を形成する金をエッチングする。感光体層88を構成するフォトレジストは、 $KI-I_2$ 水溶液に対して耐腐食性があり、遮光性の被覆層66を構成する金は、 $KI-I_2$ 水溶液に溶けるため、このようなエッチングを行うことにより、上記露出部89から露出した遮光性の被覆層66が選択的にエッチングされ、突出部65の先端が遮光性の被覆層66から露出した開口部87が形成される。

なお、この開口工程で 사용할 ことができるエッチング液は、上記第23実施例の開口工程と同様に、遮光性の被覆層66をエッチングすることができ、感光体層88をエッチングしないものであれば、例えば王水、ヨウ素あるいは臭素等のハロゲン溶液等を使用してもよく、あるいは、プラズマエッチング等のドライエッチングを使用しても、開口工程において露出部89から露出した遮光性の被覆層66を選択的にエッチングして開口部87を形成することができる。

最後に、感光体層除去工程において、光ファイバ245の表面の感光体層88を除去すると、上述の図14に示す構造の光ファイバ80が形成される。この光ファイバ80の開口部87の直径は、光ファイバ80の先端の顕微鏡写真を図15に示すように、50nm程度となっている。

なお、上記図14に示す光ファイバ80は、コア12中に添加した GeO_2 に密度分布を持たせた光ファイバを使用し、突出部85

の先鋭角が20度で、金を200nm程度コーティングした光ファイバ245を、KIとI₂と水の重量比が、20:1:400の比率となっているKI-I₂水溶液を水で50倍程度に薄めた水溶液をエッチング液として、10分程度エッチングしたものである。また、この感光体層除去工程の処理を行わず、遮光性の被覆層66の表面に感光体層88を残したままとしてもよい。

この第30実施例の光ファイバの製造方法では、露光工程において、エバネッセント光を用いて感光体層88の先端のみを露光しているため、従来の通常の光を用いて露光を行った場合に比して微小な領域のみを露光させることができる。また、この光ファイバの製造方法では、露出部形成工程において、露光された感光体を除去して露出部89を形成した後、開口工程において、突出部65の遮光性の被覆層66をエッチングするだけで、露出部89から露出した遮光性の被覆層66を選択的にエッチングすることができ、容易に微小な開口部87を形成することができる。このため、光ファイバの製造が容易となり、製造コストを低減させることができる。

ところで、上述の第28実施例による開口部の形成では、合成樹脂を溶かした溶剤の表面張力により露出した突出部65の先端の遮光性の被覆層66をエッチングして開口部68を形成しているために、適用対象が突出部65の基端に径小部64を有する形状の光ファイバに限定される。これに対し、この第30実施例では、エバネッセント光によって露光された感光体層88の露光部88aを除去して形成された露出部89から露出した遮光性の被覆層66をエッチングして開口部87を形成しているため、上述の図53(C)に示す形状の光ファイバ245だけでなく、上記図38(E)に示す

ようなクラッドの外周からコア 1 2 の中心にかけて先鋭化した先鋭部 1 4 を有する形状の光ファイバの先端にも開口部を形成することができる。

また、本発明の第 3 1 実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、上述の第 2 9 あるいは第 3 0 実施例と同様な第 1 及び第 2 エッチング工程と、コーティング工程と、感光体層形成工程と、露光工程と、露出部形成工程と、開口工程の処理を行って、図 1 4 に示す光ファイバの表面に耐腐食性の被覆層 6 7 あるいは感光体層 8 8 が残存した状態の光ファイバを形成する。

次に、ピット形成工程において、図 6 8 に示すように、開口工程までで形成された開口部 8 7 から露出した突出部 6 5 を緩衝フッ酸液によりエッチングする。このとき、遮光性の被覆層 6 6 を形成する金は、緩衝フッ酸液によってエッチングされず、開口部 8 7 から露出した突出部の先端 5 5 a が選択的にエッチングされ、図 6 9 に示すように、突出部 6 5 の先端が遮光性の被覆層 6 6 の先端に対して陥没したピット 9 3 が形成され、ピット 9 3 の先端に開口部 9 1 が形成される。

なお、このピット形成工程においては、必ずしも感光体層 8 8 を残しておく必要はないが、上記コーティング工程によって形成された遮光性の被覆層 6 6 にクラック等があると、このクラック等からエッチング液が浸透して、先鋭部 5 5 をエッチングする虞があるため、上述のように感光体層 8 8 を除去せずピット形成工程のエッチングを行っている。

次に、上述のピット形成工程において形成したピット 9 3 に色素あるいは試薬等の周囲の環境に応じて光学特性が変化する物質を付

着させる。具体的には、色素等を含ませた溶剤等に光ファイバの先端を浸し、ピット93に溶剤を付着させた後、感光体層88の表面の溶剤を除去する。これにより、図70に示すように、ピット93中に色素等の物質92が付着され、この後、遮光性の被覆層66の表面の感光体層88を除去すると、上述の図16に示す形状の光ファイバ90が形成される。

あるいは、遮光性の被覆層66の表面の感光体層88を除去した後にピット93に色素あるいは色素を混合した溶剤等の物質を付着させても、同様にピット93中に色素等の物質92を付着させた光ファイバ90を形成することができる。

これにより、この光ファイバの製造方法では、遮光性の被覆層66から突出部65のコアが陥没したピット93に、周囲の環境を検出するための物質を付着させることができ、色素等の周囲の環境を検出する物質の剥離強度を向上させ、耐久性を向上させた光ファイバを容易に製造することができる。

また、上述したように光ファイバ90の開口部91の径が50nmとなっているため、この光ファイバの製造方法では、空間解像度を向上させた光ファイバを容易に製造することができる。

また、本発明の第32実施例に係る光ファイバの製造方法では、酸化ゲルマニウム GeO_2 を添加した石英 SiO_2 からなるコア12と、石英 SiO_2 からなるクラッド13から構成される光ファイバ11を加熱した状態で引き伸ばしてコア12とクラッド13が共に先細り状とされた先鋭部を形成する先鋭部形成工程と、外先鋭部をエッチングして先鋭部の先端から突出したコア12が先鋭化された突出部を形成するエッチング工程とからなる。

まず、先鋭部形成工程では、マイクロピペットプラーを用い、図71(A)に示すように、光ファイバ11を加熱しながら引き伸ばして、コア12及びクラッド13の径を減少させる。そして、コア12及びクラッド13が所望の径となるまで、光ファイバ11を引き延ばして切断すると、図71(B)に示すように、光ファイバ11の一端に、コア12とクラッド13が共に先細り状とされた先鋭部104が形成される。

次に、エッチング工程において、フッ化アンモニウム水溶液とフッ酸と水の体積比が $X : 1 : Y$ ($Y = \text{任意}$)で、フッ化アンモニウム水溶液の体積比 X が10程度であるエッチング液を用いて先鋭部104をエッチングする。

このようなエッチング液で、上述のような組成の光ファイバ11を、エッチングすると、上述の第28実施例と同様に、コア12のエッチング速度に対して、クラッド13のエッチング速度が速いために、先鋭部104の先端のコア13が先にエッチングされ、上述の図17に示すように、先鋭部104の先端のクラッド13からコア12が突出し、該突出したコア12が円錐状に先鋭化された突出部105が形成される。

また、この光ファイバ11は、上述の第23実施例と同様に、コア12の中心部の酸化ゲルマニウムの密度が高くなっているため、突出部105は、酸化ゲルマニウム GeO_2 の分布に依存して先鋭化され、対称性のよい円錐形状となる。

これにより、この光ファイバの製造方法では、コア12とクラッド13が共に先細り状とされた先鋭部104の先端に、容易にクラッド13の先端から円錐状に先鋭化したコア12が突出した突出部

105を形成することができる。

また、本発明の第33実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、上第32実施例の先鋭部形成工程と同様の処理を行って、上記図71(B)に示すように光ファイバ11の一端に先鋭部104を形成する。

次に、このように形成された先鋭部104の先端をフッ酸によりエッチングする。このようなフッ酸中では、コア12のエッチング速度がクラッド13に対して速いため、図72に示すように、コア12が先にエッチングされて凹部106が形成される。

次に、上述の第32実施例と同様なエッチング工程により先鋭部104をエッチングする。そして、第32実施例のエッチング時間に対してやや長い時間エッチングを行うと、上述の第32実施例と同様に、先鋭部104の先端のクラッド13からコア12が突出し、該突出したコア12が円錐状に先鋭化された突出部105が形成される。

また、本発明の第34実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、上記第32実施例あるいは第33実施例と同様の処理を行って、上記図17に示す形状の光ファイバ100を形成する。

次に、このように形成された光ファイバ100の突出部105の表面に上述の第29あるいは第30実施例と同様にコーティングを行って遮光性の被覆層116を形成し、さらに、第29あるいは第30実施例と同様に開口工程の処理を行って、突出部105の先端が遮光性の被覆層116から露出した開口部117を形成する。これにより、上記図18に示す形状の光ファイバ110が形成される。

また、本発明の第35実施例に係る光ファイバの製造方法では、

まず、上述の第28実施例の第1及び第2エッチング工程と同様なエッチングを行って、上記図53(C)に示すように、光ファイバ11の一端に径小部64及び突出部65を形成する。

次に、このように突出部65を形成した光ファイバを、水の体積比Y (Y:30以上)とした上述の緩衝フッ酸液をエッチング液としてエッチングを行う。具体的には、上記第2エッチング工程において、上記フッ化アンモニウムの体積比Xを10とした緩衝フッ酸液をエッチングとして20分程度のエッチングを行って突出部65を形成した後、フッ化アンモニウムの体積比Xを10とし、水の体積比Yを30とした緩衝フッ酸液をエッチング液として15分程度のエッチングを行う。

このようなエッチング液によってエッチングを行うと、コア12とクラッド13のエッチング速度がほぼ同じであるために、突出部65が表面からエッチングされて細くなり、エッチング時間の増加と共に、図76に示すように、突出部65の長さ(チップ長)Lが減少すると共に先鋭角 θ が増大する。そして、図73に示すように、先端程先鋭角 θ が小さい突出部125が形成される。この突出部125のチップ長L及び先端の先鋭角 θ は、例えば図74に突出部125の拡大図を示すように、それぞれ $2.1\mu\text{m}$ と28度程度となっている。

ここで、このようなエッチングを行ったときの突出部125と、上記第28実施例の第1及び第2エッチング工程により形成した突出部65について、チップ長L及び先端の先鋭角 θ との関係を求めると、図77に示すように、同じ先鋭角 θ のときの突出部125のチップ長Lが小さくなっている。なお、この図77において黒丸の

点が突出部 125 を表し、四角の点が突出部 65 を表している。すなわち、この光ファイバの製造方法では、チップ長 L を小さくすることができる。

最後に、このように形成した突出部 125 の表面に上記第 29 あるいは第 30 実施例と同様に遮光性の被覆層 126 及び開口部 127 を形成する。これより、上記図 21 に示す形状の光ファイバ 120 が形成される。

また、上記第 2 エッチング工程において、上記フッ化アンモニウムの体積比 X を 10 とした緩衝フッ酸液をエッチングとして 15 分程度のエッチングを行って突出部 65 を形成した後、フッ化アンモニウムの体積比 X を 10 とし、水の体積比 Y を 50 とした緩衝フッ酸液をエッチング液として 15 分程度のエッチングを行った場合の突出部 125 のチップ長 L 及び先端の先鋭角 θ は、例えば図 75 に示すように、それぞれ $1.52 \mu\text{m}$ と 36.5 度程度となっている。この場合、フッ化アンモニウムの体積比 X を 10 とし、水の体積比 Y を 50 とした緩衝フッ酸液中のコア 12 のエッチング速度がクラッドに対してやや速いため、突出部 125 の基端がクラッド 13 の先端に対して若干窪んだ形状となる。

また、本発明の第 36 実施例に係る光ファイバの製造方法では、コア 132 のクラッド 133 に対する比屈折率差 Δn が 1% で、屈折率が徐々に変化するグレーデッドインデックス型の屈折率分布を有するマルチモードファイバからなる光ファイバ 131 の一端をエッチングして、図 78 (B) に示すように、クラッド 133 の一端から突出したコア 132 が円錐状に先鋭化した突出部 134 を形成する。このマルチモードの光ファイバは、クラッド径 d_0 が 250

μm 程度で、コア132径 d_c が $50\mu\text{m}$ 程度となっている。

具体的には、フッ化アンモニウム水溶液とフッ酸と水の比率を10 : 1 : 1とした緩衝フッ酸液中で17時間程度エッチングすると、上記図24に示すように、先鋭角が 50° で、先端の曲率半径が 5nm 程度の突出部134が形成される。また、このようなエッチングを行うためには、上述のようにコア132とクラッド133の径の比が1 : 5以上である必要がある。

なお、このエッチングに先立ってフッ化アンモニウム水溶液とフッ酸と水の比率を1.7 : 1 : 1とした緩衝フッ酸液中でクラッド133径を減少させて径小部を形成してもよい。

そして、このような突出部134の表面に上述の第29あるいは第30実施例と同様にコーティングを行って遮光性の被覆層135を形成し、さらに、第29あるいは第30実施例と同様に開口工程の処理を行って、突出部134の先端が遮光性の被覆層135から露出した開口部136を形成する。これにより、マルチモードファイバを用いて上記図22に示す形状の光ファイバ130が形成される。

ところで、図79に示すコア12径及び屈折率分布が異なる3種類の光ファイバを用いて上述の第28実施例の第2エッチング工程と同様のエッチングを行って、各々20個のサンプルを作成したところ、図80から図82に示すように、形成される突出部の先端の直径の分布が異なることがわかった。

すなわち、図79(A)に示すコア12径が $4\mu\text{m}$ で、コア12とクラッド13の屈折率分布がステップ(階段)インデックス型となっている光ファイバを用いた場合には、図80に示すように、突

出部の先端の直径が10～25 nmを中心として分布している。

また、図79 (B) に示すコア12径が8～9 μmで、コア12とクラッド13の屈折率分布がステップインデックス型となっている光ファイバを用いた場合には、図81に示すように、突出部の先端の直径が10～15 nmを中心として分布しているが、上記図81に示す場合よりばらつきが大きい。

これに対し、図79 (C) に示すコア12径が14 μmで、コア12とクラッド13の屈折率分布がステップ状となっており、コア12の中心部の4 μmの範囲で屈折率分布がグレーデッドインデックス型となっている光ファイバを用いた場合には、図82に示すように、突出部の先端の直径が5 nm程度を中心として分布しており、上記図80、図81に対してばらつきが小さい。

これらの結果から、コア12径が小さい程、突出部の先端の直径のばらつきが小さくなり、比屈折率差の分布がグレーデッドインデックス型である方が突出部の先端の直径が小さくなり、ばらつきも小さくなることがわかる。

また、本発明の第37実施例に係る光ファイバの製造方法は、光ファイバ11のコア12中の添加物質（ドーパント）を徐々にクラッド13中に拡散させ、等価的にコア12径を増加させた、コア径増加部144を形成する拡散工程と、該コア径増加部144を形成した光ファイバ11の一端をエッチングしてコア12がクラッド13から突出した突出部を形成するエッチング工程等からなる。

まず、拡散工程において、図83 (A) に示すように、光ファイバ11を回転させながらその一部を加熱する。これにより、コア12中に添加されているドーパントがクラッド13中に拡散され、等

価的にコア 1 2 径が増加したコア径増加部 1 4 4 が形成される。このコア径増加部 1 4 4 では、コア 1 2 の中心から周辺に向かってドーパントの密度が徐々に低下している。また、光ファイバ 1 1 を回転させながら加熱する代わりに、光ファイバ 1 1 の一端を発熱体に接触させて光ファイバの長手方向に加熱すると、コア径増加部 1 4 4 の径をさらに増加させることができる。

次に、このように形成されたコア径増加部 1 4 4 のコア径 1 2 が最大となる位置で光ファイバを切断し、図 8 3 (B) に示す端部 1 4 8 を形成する。そして、この端部 1 4 8 を、例えばフッ化アンモニウム水溶液とフッ酸と水の比率を 1 0 : 1 : 1 とした緩衝フッ酸液中でエッチングする。このような緩衝フッ酸液中では、クラッド 1 3 のエッチング速度がコア 1 2 より速いため、クラッド 1 3 が先にエッチングされてコア径増加部 1 4 4 のコア 1 2 がクラッド 1 3 から突出する。クラッド 1 3 から突出したコア 1 2 は、側面からもエッチングされ、図 8 4 に示すように、コア 1 2 の先端が円錐状に先鋭化されて突出部 1 4 5 が形成される。

また、このコア径増加部 1 4 4 では、コア 1 2 の中心から周辺に向かってドーパントの密度が徐々に低下しているため、突出したコア 1 2 の中心から周辺に向かってエッチング速度が若干速くなるため、突出部 1 4 5 の先端の曲率半径が小さくなる。

このように形成された突出部 1 4 5 の表面に上述の第 2 9 あるいは第 3 0 実施例と同様にコーティングを行って遮光性の被覆層 1 4 6 を形成し、さらに、第 2 9 あるいは第 3 0 実施例と同様に開口工程の処理を行って、突出部 1 4 5 の先端が遮光性の被覆層 1 4 6 から露出した開口部 1 4 7 を形成することにより、上記図 2 7 に示す

形状の光ファイバ140が形成される。

また、本発明の第38実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、上述の第28実施例の第1及び第2エッチング工程と同様な処理を行って、上記図53(C)コア12を径小とした径小部64と、突出部65とを形成した形状の光ファイバ245を形成する。

次に、第28実施例の第2コーティング工程と同様なコーティングを行って突出部65の表面に樹脂等の疎水性の被覆層を形成すると共に、突出部65の先端のコア12が疎水性の被覆層から露出した開口部を形成する。

次に、このように形成した光ファイバ245の突出部65を、石英 SiO_2 を過剰に溶解させて飽和状態となっている H_2SiF_6 溶液中に浸漬する。このような H_2SiF_6 溶液中の石英 SiO_2 は、石英等の親水性の物質表面に析出しやすく、樹脂等の疎水性の物質表面に析出しにくい。このため、疎水性の被覆層が形成された突出部55の表面には石英 SiO_2 が析出せず、露出した開口部のコア12の表面には石英 SiO_2 が析出して石英の被覆層が形成される。

ここで、上述の H_2SiF_6 溶液中に予め色素を混合しておくことにより、突出部155の先端が被覆層156から露出した開口部の表面に、色素を添加した石英等の被覆層157が形成され、上記図28及び図29に示す構造の光ファイバ150が形成される。このように色素を添加した石英等の被覆層157を形成することにより、色素の剥離強度を向上させ、耐久性のよい光ファイバを製造することができる。

なお、上述の H_2SiF_6 溶液中に色素の代わりにpH等の周囲の環境に応じて光学特性が変化する物質を混合しておくことにより、

これらの物質を含む被覆層157を形成することができる。

また、本発明の第39実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、上述の第28実施例の第1及び第2エッチング工程、第1及び第2コーティング工程、開口工程と同様な処理を行って、上述の図12に示す形状の光ファイバ60を形成する。

次に、このような光ファイバ60を、上述の第38実施例と同様に、色素等を混合した H_2SiF_6 溶液中に浸漬する。これにより、開口部68から露出したコア12の表面に H_2SiF_6 溶液中の石英 SiO_2 が析出し、上記図30に示すように、色素等を添加した石英等の被覆層168が形成された光ファイバ160が形成される。

また、本発明の第40実施例に係る光ファイバの製造方法では、屈折率の異なる2種類のコア172、173とクラッド174を有するダブルコアの光ファイバ171をエッチングして、上述の図31に示す光ファイバ170を形成する。

上記光ファイバ171は、クラッド174が純石英からなり、コア172、173が酸化ゲルマニウムを添加した石英からなる。コア172、173の酸化ゲルマニウムの添加率は、それぞれ0.9モル%、0.2モル%となっており、内側のコア172の方が酸化ゲルマニウムの添加率が高くなっている。

そして、このような光ファイバ171をフッ化アンモニウム水溶液とフッ酸と水の比率を10:1:1とした緩衝フッ酸液中で10時間程度エッチングする。このような緩衝フッ酸液中では、クラッド174のエッチング速度がコア173より速いため、図85に示すように、クラッド174が先にエッチングされてコア173がクラッド174から徐々に露出し、露出したコア173が側面からも

エッチングされて先鋭化されて先細り部 176 が形成される。

また、このような緩衝フッ酸液中では、コア 173 のエッチング速度がコア 172 より速いため、上記先細り部 176 の先端においてコア 173 が先にエッチングされてコア 172 がコア 173 から徐々に露出し、露出したコア 172 が側面からもエッチングされて先鋭化されて突出部 177 が形成される。

フッ化アンモニウムの比率 X を 10 とした緩衝フッ酸液でエッチングを行った場合、上述の緩衝フッ酸液中のコア 172、173 とクラッド 174 のエッチング速度をそれぞれ R_1 、 R_2 、 R_3 とすると、上記先細り部 176 の先鋭角 θ_3 は、上述の第 23 実施例の第 4 エッチング工程と同様に、コア 173 とクラッド 174 のエッチング速度の比に応じて決まり、

$\sin(\theta_3 / 2) = R_2 / R_3$ (但し、 R_2 : コア 173 のエッチング速度、 R_3 : クラッドのエッチング速度) なる関係を有している。また、上記突出部 177 の先鋭角 θ_1 は、上述の第 23 実施例の第 4 エッチング工程と同様に、コア 172 とコア 173 のエッチング速度の比に応じて決まり、

$\sin(\theta_1 / 2) = R_1 / R_2$ (但し、 R_1 : コア 172 のエッチング速度) なる関係を有している。

ここで、上述の説明では、緩衝フッ酸液中のフッ化アンモニウムの比率 X を 10 としたが、比率 X が 1.7 のときに、コア 172、173 のエッチング速度 R_1 、 R_2 とクラッド 174 のエッチング速度 R_3 が等しくなるために、フッ化アンモニウムの比率 X が 1.7 の緩衝フッ酸液を用いてエッチングを行うことにより、クラッド 174 の径を制御することができる。そして、さらにフッ化アンモ

ニウムの比率Xが1.7より大きい緩衝フッ酸液を用いることによって突出部177を形成することができる。

また、上記エッチング速度 R_1 、 R_2 、 R_3 は、石英中に添加した酸化ゲルマニウムの比率に応じて変化する。また、この酸化ゲルマニウムの比率に応じて屈折率が変化するため、上記 $\sin(\theta_3/2)$ 、 $\sin(\theta_1/2)$ は、上記図41に示すように、それぞれコア173とクラッド174との間の比屈折率差 Δn_2 とコア172とコア173との間の比屈折率差 Δn_1 に依存して変化する。

したがって、この光ファイバの製造方法では、上述のようなダブルコアの光ファイバ171を用いることにより、クラッド174及びコア172、173のエッチング速度の違いに基づいて、光ファイバ171の先端を先鋭化することができ、1回乃至2回のエッチングにより上記図31に示す光ファイバ170を形成することができるため、光ファイバの製造を容易にすることができる。

また、この光ファイバの製造方法では、コア172、173に添加する酸化ゲルマニウムの比率を調整しておくことによって、上記先細り部176の先鋭角 θ_3 と突出部177の先鋭角 θ_1 を制御することができる。

上述の第23実施例では、第1エッチング工程において、フッ酸とシリコンオイル等の界面において、メニスカスの高さが光ファイバの径に応じて減少する現象を利用して上記図38(B)に示すテーパ部221を形成しているが、外部からの振動等によって界面の状態が影響を受け易く、エッチングの安定性及びテーパ部221の先鋭角 θ_2 の再現性の面でやや問題がある。

これに対し、この光ファイバの製造方法では、クラッド174と

コア 173 のエッチング速度の比に応じて上記先細り部 176 の先鋭角 θ_3 が決まるため、エッチングの安定性及び先鋭角 θ_3 の安定性を向上させることができる。

また、本発明の第 41 実施例に係る光ファイバの製造方法では、酸化ゲルマニウムを添加した石英からなるコアと、該コアを覆う石英からなるクラッドと、該クラッドを覆うフッ素あるいはホウ素を添加したクラッドとからなるダブルクラッドの光ファイバをエッチングして、上述の第 40 実施例と同様に、上記図 31 に示す形状の光ファイバを製造する。

ところで、このようにクラッドにフッ素あるいはホウ素を添加し、中心のコアに酸化ゲルマニウムを添加したダブルクラッドの光ファイバを、上述のフッ化アンモニウムの比率 X を 0 とした緩衝フッ酸液でエッチングした場合には、コア 172 のエッチング速度がコア 173 より速くなるため、図 86 (A) に示すように、コア 172 の先端が先細り部 176 の先端のコア 173 に対して窪んだ凹部 179 が形成される。

また、このような光ファイバを、フッ化アンモニウムの比率 X を 1.7 とした緩衝フッ酸液でエッチングした場合には、コア 172 とコア 173 のエッチング速度がほぼ等しくなるため、図 86 (B) に示すように、上記先細り部 176 の先端にコア 172 とコア 173 の先端を面一とすることができる。

また、このような光ファイバを、フッ化アンモニウムの比率 X を 1.0 とした緩衝フッ酸液でエッチングした場合には、コア 173 のエッチング速度がコア 172 より速くなるため、図 86 (C) に示すように、先細り部 176 の先端のコア 172 が先鋭化された突出

部 177 が形成される。

このため、この光ファイバの製造方法では、まず、第 1 エッチング工程において、光ファイバの一端に上記図 86 (B) に示すテーパ部と平坦部を形成する。具体的には、例えば図 87 に示すように、光ファイバ 251 の一端 250 を、フッ化アンモニウムの比率 X を 1.7 とした緩衝フッ酸液でエッチングする。

このような緩衝フッ酸液中では、フッ素あるいはホウ素を添加した最外周のクラッド 254 のエッチング速度が、石英のクラッド 253 及び酸化ゲルマニウムを添加したコア 252 に対して速いために、エッチングが進行するにしたがってクラッド 254 からクラッド 253 が突出する。この突出したクラッド 252 は、側面からもエッチングされるため、上記図 87 中に破線で示すように先鋭化される。このときの先鋭角 θ_3 は、上述の第 40 実施例と同様に、クラッド 254 とクラッド 253 のエッチング速度の比に応じて決まる。

これにより、図 88 に示すようにクラッド 253 の先端が先鋭化されて先細り部 255 が形成され、該先細り部 255 の先端のクラッド 253 とコア 252 が面一となった平坦部 256 が形成される。

ここで、この第 1 エッチング工程でのエッチング時間が長くなると、平坦部 256 がさらにエッチングされて先鋭化されてしまうが、続く第 2 エッチング工程のエッチングを行うためには、クラッド 254 が完全にエッチングする必要がある。このため、クラッド 254 の径は、この第 1 エッチングにおいて完全にエッチングされる程度に小さくすることが望ましい。すなわち、クラッド 254 のエッチング速度 R_3 とし、平坦部 256 を残して、先細り部 255 を形

成するまでのエッチング時間を t_1 とすると、クラッド 254 の厚さ δ_3 は、 $\delta_3 \leq R_1 t_1$ であればよい。

次に、第 2 エッチング工程において、上述のように先細り部 255 及び平坦部 256 が形成された光ファイバを上記フッ化アンモニウムの比率 X が 1.7 より大きい、例えば 10 である緩衝フッ酸液中でエッチングする。

このような緩衝フッ酸液中では、上記第 23 実施例と同様に、コア 252 のエッチング速度がクラッドより遅いため、エッチングが進行するにしたがってコア 252 がクラッド 253 から徐々に突出する。この突出したコア 252 は、側面からもエッチングされて先鋭化され、上記図 88 中に破線で示すように、上述の第 40 実施例と同様に、先細り部 176 に接続した突出部 177 が形成される。

この突出部 177 の先鋭角 θ_1 は、上述の第 40 実施例と同様に、コア 252 と、クラッド 253 のエッチング速度に応じて決まる。具体的には、このようなダブルクラッドの光ファイバを、フッ化アンモニウムとフッ酸と水の体積比が 10 : 1 : 1 である上述の緩衝フッ酸液によりエッチングを行った場合、コア 252 と、コア 253 のエッチング速度の比である $\sin(\theta_1 / 2)$ は、上記図 41 中に四角の点で示すように、コアとクラッドの比屈折率差 Δn が 0.2% のときに、0.63 程度で、 Δn が 0.7% のときに 0.87 程度となる。

この光ファイバの製造方法では、上述の第 40 実施例と同様に、クラッド 254 とコア 253 のエッチング速度の比に応じて上記先細り部 176 の先鋭角 θ_3 が決まるため、エッチングの安定性及び先鋭角 θ_3 の安定性を向上させることができる。

また、本発明の第42実施例に係る光ファイバの製造方法では、上述の第41実施例と同様のダブルクラッドの光ファイバをエッチングして先鋭化を行う。

まず、第1エッチング工程において、上述の第41実施例と同様のダブルクラッドの光ファイバの一端を、上述のフッ化アンモニウムの比率Xが1.7より大きい、例えば10である緩衝フッ酸液を用いてエッチングする。

このような緩衝フッ酸液中では、クラッド254のエッチング速度に対してクラッド253のエッチング速度が速く、クラッド253のエッチング速度に対してコア252のエッチング速度が速い。このため、このような緩衝フッ酸液でエッチングを行うと、図89に示すように、クラッド254からクラッド253が徐々に突出し、クラッド254から露出したクラッドが側面からエッチングされて先鋭角 θ_3 で先鋭化された先細り部255が形成され、先細り部255のクラッド253の先端からコア252が突出し、突出したコア252が側面からエッチングされて先鋭角 θ_1 で先鋭化された突出部257が形成される。

次に、第2エッチング工程において、このような光ファイバをさらにフッ化アンモニウムの比率Xが1.7より大きい緩衝フッ酸液中でエッチングすると、図90に示すように、上述の第41実施例の第2エッチング工程と異なり、先鋭部255の先端にコア252が突出した突出部257を形成しているために、突出部257が側面からエッチングされると共に、先細り部255から露出した突出部255の基端のコア252が側面からエッチングされて、先鋭角 θ_1 の小さい突出部177を形成することができる。

このようなエッチングを行う際に、突出部 257 の基端のコア 252 が露出する見かけ上のクラッド 253 のエッチング速度は、先鋭角 θ_3 の先細り部 255 を形成しているために、実際のクラッド 253 のエッチング速度 R_2 の $1 / \{ \sin(\theta_3) \}$ 倍になる。

このため、突出部 177 の先鋭角 θ_1 は、コア 252、クラッド 253、254 のエッチング速度をそれぞれ R_1 、 R_2 、 R_3 とすると、

$$\begin{aligned} \sin(\theta_1 / 2) &= \sin(\theta_3 / 2) \times (R_1 / R_2) \\ &= (R_2 / R_3) \times (R_1 / R_2) \\ &= R_1 / R_3 \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

なお、このような形状の光ファイバは、上述の第 40 及び第 41 実施例のエッチング時間を延長しても形成することができる。例えば第 40 実施例において、フッ化アンモニウムの比率 X を 10 程度として 10 時間程度のエッチングを行ってもよい。

また、本発明の第 43 実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、上述の第 40 実施例と同様なエッチングを行って上記図 31 に示す形状の光ファイバ 170 を形成する。あるいは、上述の第 41 あるいは第 42 実施例と同様なエッチングによって、このような形状の光ファイバ 170 を形成してもよい。

次に、このように形成した光ファイバ 170 の突出部 177 の表面に上述の第 29 あるいは第 30 実施例と同様にコーティングを行って遮光性の被覆層 186 を形成し、さらに、第 29 あるいは第 30 実施例と同様に開口工程の処理を行って、突出部 177 の先端が遮光性の被覆層 186 から露出した開口部 189 を形成する。これにより、上記図 32 に示す形状の光ファイバ 180 が形成される。

また、本発明の第44実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、第1エッチング工程において、図91(A)に示す光ファイバ11の一端を、フッ化アンモニウム水溶液とフッ酸と水の比率を1.8 : 1 : 1とした緩衝フッ酸液中で85分程度エッチングする。このような緩衝フッ酸液中では、クラッド13のエッチング速度がコア12に対して若干速いため、図91(B)に示すように、クラッド13から突出したコア12が先鋭化された突出部198が形成される。

次に、第2エッチング工程において、このように突出部198が形成された光ファイバを、フッ化アンモニウム水溶液とフッ酸と水の比率を10 : 1 : 1とした緩衝フッ酸液中で85分程度エッチングする。このような緩衝フッ酸液中では、クラッド13のエッチング速度がコア12に対して比較的速いため、図92に示すように、クラッド13が先にエッチングされる。このとき、突出部198の形状を保ったまま、クラッド13から露出したコア12が先鋭化され、図91(C)に示すように、クラッド13から突出したコア12が先鋭化された突出部194と、該突出部194の先端の先鋭角を大きくした検出端部195が形成される。

次に、このように形成した光ファイバの突出部194の表面に上述の第29あるいは第30実施例と同様にコーティングを行って遮光性の被覆層196を形成し、さらに、第29あるいは第30実施例と同様に開口工程の処理を行って、検出端部195の先端が遮光性の被覆層196から露出した開口部197を形成する。これにより、上記図33に示す形状の光ファイバ190が形成される。

ところで、上述の第28実施例の第2コーティング工程及び開口

工程と同様な方法により、検出端部 195 の先端に開口部 197 を形成する場合、検出端部 195 の先鋭角が大きいため、第 2 コーティング工程において、耐腐食性の被覆層から遮光性の被覆層が露出する露出部の径を制御することが難しいため、開口部 197 の径を制御することは困難である。

このため、まず、第 28 実施例の第 2 コーティング工程及び開口工程と同様な処理を行って、上記図 34 に示す第 1 の被覆層 198 を形成する。そして、該第 1 の被覆層 198 から露出した突出部 194 及び検出端部 195 の表面に、上記第 23 あるいは第 24 実施例のコーティング工程と同様に真空蒸着により第 2 の遮光性の被覆層 199 を形成する。最後に、上記第 23 あるいは第 24 実施例の開口工程と同様に第 2 の遮光性の被覆層 199 をエッチングして開口部 197 を形成する。

このように、2 層の遮光性の被覆層を形成することにより、検出光の波長程度以下の開口径を有する開口部 197 を容易に形成することができる。

また、本発明の第 45 実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、上述の第 28 実施例の第 1 及び第 2 エッチング工程と同様な処理を行って、上記図 53 (C) コア 12 を径小とした径小部 64 と、突出部 65 とを形成した形状の光ファイバ 245 を形成する。

次に、金属アルコキシドのアルコール溶液に水、触媒を加えて形成したゾル中に上記突出部 65 の先端を浸漬させる。このように、突出部 65 の先端をゾル中に浸漬させると、突出部 65 の表面に該ゾルが付着してゾル層が形成される。このようなゾル層を乾燥させると、ゾルが固体のゲルとなり、上記図 36 に示すように、ゲル層

からなる被覆層 207 が形成される。この被覆層 207 は、クラッド 13 と同様に機能するため、突出部 65 と該被覆層 207 の境界での光の反射率を高くすることができ、伝達効率を向上させることができる。

なお、上述のように形成したゲル層を加熱して非晶質の層としてもよい。また、上述のようにゲル層を形成した後、さらに突出部 65 にゾルを付着させて、ゲル層を積層して形成してもよい。

また、本発明の第 46 実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、上述の第 28 実施例の第 1 及び第 2 エッチング工程と同様な処理を行って、上記図 53 (C) コア 12 を径小とした径小部 64 と、突出部 65 とを形成した形状の光ファイバ 245 を形成する。

次に、このように形成した光ファイバ 245 の突出部 65 を、上述の第 38 実施例と同様に、石英 SiO_2 を過剰に溶解させて飽和状態となっている H_2SiF_6 溶液中に浸漬する。このような溶液中に、突出部 65 を浸漬すると、突出部 65 の表面に H_2SiF_6 溶液中の石英 SiO_2 が析出して、図 93 に示すように、突出部 65 の表面に石英の被覆層 216 が形成される。そして、このような石英の被覆層 216 の表面に金等の遮光性の素材をコーティングする。これにより、図 94 に示すように、石英の被覆層 216 の表面に遮光性の被覆層 217 が形成される。

次に、遮光性の被覆層 217 を合成樹脂を溶かした溶剤中に浸漬させ、遮光性の被覆層 217 の表面に付着した溶剤を蒸発させると、図 95 に示すように、遮光性の被覆層 217 の表面に耐腐食性の被覆層 218 が形成される。遮光性の被覆層 217 の先端は、上記溶剤の表面張力によって、耐腐食性の被覆層 218 から露出している。

そして、該耐腐食性の被覆層 218 から露出した遮光性の被覆層 217 の先端部をエッチングした後、耐腐食性の被覆層 218 を除去すると、図 96 に示すように、石英の被覆層 216 の先端が遮光性の被覆層 217 から露出した露出部 219 が形成される。

最後に、この露出部 219 を、フッ化アンモニウム水溶液とフッ酸と水からなる緩衝フッ酸液あるいは水酸化ナトリウム水溶液によってエッチングすることにより、突出部 65 の先端が石英の被覆層 216 から露出した開口部 218 が形成され、上述の図 37 に示す形状の光ファイバ 210 が形成される。

また、本発明の第 47 実施例に係る光ファイバの製造方法では、まず、上述の第 28 実施例の第 1 及び第 2 エッチング工程と同様な処理を行って、上記図 53 (C) コア 12 を径小とした径小部 64 と、突出部 65 とを形成した形状の光ファイバ 245 を形成する。

次に、メッキを行い易くするために、突出部 65 の表面にパラジウム等の触媒金属核を析出させて活性化処理を行う。具体的には、突出部 65 を塩化スズ SnCl_2 、塩化パラジウム PdCl_2 、塩酸等の混合液に浸漬する。これにより、突出部 65 の表面にパラジウムが析出する。

あるいは、活性化処理として、まず、突出部 65 を塩化スズ SnCl_2 の水溶液中に浸漬する。これにより、突出部 65 の表面にスズが吸着する。次に、このように表面にスズを析出させた突出部 65 を塩化パラジウム PdCl_2 の水溶液中に浸漬する。これにより、突出部 65 の表面のスズがパラジウムに置換される。

そして、上述のように活性化処理を行った突出部 65 の表面に無電界メッキによりニッケルの被覆層を形成すると、突出部 65 の先

端には、ニッケルの被覆層が形成されにくく、図 9 7 に示すように、突出部 6 5 の先端がニッケルの被覆層から露出した開口部 6 8 が形成される。

このように、突出部 6 5 の表面に活性化処理を施した後、無電界メッキを行うことにより、容易に開口部 6 8 を形成することができる。

なお、ニッケルは比較的電気抵抗が高いため、ニッケルの被覆層の上に、さらに金を無電界メッキして金の被覆層を形成することができる。

また、本発明の第 4 8 実施例に係る光ファイバの製造方法では、上述の第 2 3 実施例の第 1 から第 4 エッチング工程と同様の処理を行って、上記図 3 8 (E) に示すように、クラッド 1 3 の外周からコア 1 2 の中心にかけて円錐状に先鋭化した先鋭部 1 4 を有する光ファイバ 2 2 5 を形成する。

次に、上述の第 4 7 実施例と同様の活性化処理及び無電界メッキを施すことにより、先鋭部 1 4 の表面に遮光性の被覆層を形成すると共に、該遮光性の被覆層の先端に開口部を容易に形成することができる。

産業上の利用可能性

上述したように、本発明の光ファイバは、光ファイバの一端にクラッドの該周からコアの中心にかけて先鋭化した先鋭部を有し、先鋭部の表面に遮光性の被覆層を有し、先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を有する。このような光ファイバでは、先鋭

部の表面の遮光性の被覆層は、開口部以外に照射される光を遮断する遮光部として機能する。これにより、開口部からのみ光を入出力することができ、散乱光等の影響を低減させて検出効率を向上させることができる。

このような光ファイバを、例えばエバネッセント光を検出するフォトン走査型顕微鏡において、エバネッセント光を散乱させて検出する光プローブとして使用し、先鋭部の先端を物質表面に近接させ、先鋭部の先端で、物質表面のエバネッセント光を散乱させてコアに導くことにより、検出効率よくエバネッセント光を検出することができる。

また、本発明の光ファイバは、光ファイバの一端にクラッドの厚さを小さくした径小部を有し、この径小部の先端にコアを先鋭化した先鋭部を有し、先鋭部の表面に遮光性の被覆層を有し、該遮光性の被覆層から先鋭部の先端が露出すると共に、遮光性の被覆層に対して先鋭部の先端が陥没したピットを有する。また、このピットに蛍光体あるいは試薬等の周囲の環境に応じて光学特性が変化する機能性物質を付設している。このような光ファイバでは、ピット中の機能性物質が周囲の環境に反応して、光学特性が変化する。この光学特性の変化は、光ファイバの他端において検出することにより、測定の間解像度を向上させた検出を行うことができる。

また、このような光ファイバでは、遮光性の被覆層の先端より陥没したピット内部に機能性物質を付着されているため、光ファイバの先端が被測定物に衝突した場合等において、色素が直接被測定物に衝突せずに保護される。このため、光ファイバの耐久性を向上させることができる。

請 求 の 範 囲

1. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバにおいて、

光ファイバの一端のクラッドから突出したコアを先端先細り状に先鋭化した先鋭部と、

該先鋭部の表面に形成された遮光性の被覆層と、

上記先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部とを有する

ことを特徴とする光ファイバ。

2. 前記先鋭部の基端側のクラッドを先端先細り状に先鋭化したことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

3. 前記先鋭部の先端の先鋭角が、前記先鋭化したクラッドの先鋭角に対して小さくなっている

ことを特徴とする請求項2に記載の光ファイバ。

4. 前記先鋭部の先端の先鋭角が、前記先鋭化したクラッドの先鋭角に対して大きくなっている

ことを特徴とする請求項2に記載の光ファイバ。

5. 前記先鋭部の基端側のクラッドを肉薄とした径小部を有することを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

6. 前記コアがエルビウム又はネोजウムを添加した石英からなる

ことを特徴とする請求項5に記載の光ファイバ。

7. 前記クラッドがフッ素を添加した石英からなる

ことを特徴とする請求項6に記載の光ファイバ。

8. 前記先鋭部の先端に、該先鋭部より大きな先鋭角を有する検出端部を有し、

該検出端部の先端が前記開口部から露出した

ことを特徴とする請求項5に記載の光ファイバ。

9. 前記検出端部の基端の直径が、コアに入出力する光の波長程度以上となっている

ことを特徴とする請求項8に記載の光ファイバ。

10. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバにおいて、

光ファイバの一端のクラッドを先細り状に先鋭化したテーパー部と、

該テーパー部の先端に形成され、クラッドが肉薄とされた径小部と、

該径小部の先端に形成され、径小部の外周からコアの中心にかけて先細り状に先鋭化された先鋭部とを有する

ことを特徴とする光ファイバ。

11. 前記先鋭部の表面に遮光性の被覆層を有し、

前記先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を有する

ことを特徴とする請求項10に記載の光ファイバ。

12. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバにおいて、

光ファイバの一端のコアを先鋭化した先鋭部と、

該先鋭部の表面に形成された遮光性の被覆層と、

該遮光性の被覆層から先鋭部の先端が露出すると共に、遮光性の被覆層に対して先鋭部の先端が陥没したピットとを有する

ことを特徴とする光ファイバ。

13. 前記ピットに、周囲の環境に応じて光学特性が変化する機能性の物質が付設されている

ことを特徴とする請求項12に記載の光ファイバ。

14. 前記ピットに、周囲の環境に応じて光学特性が変化する機能性の物質が非晶質中に分散されて付設されている

ことを特徴とする請求項12に記載の光ファイバ。

15. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバにおいて、

光ファイバの一端のコアとクラッドを共に先細り状に先鋭化した先鋭部と、

該先鋭部の先端のクラッドから突出したコアが先鋭化された突出部とを有する

ことを特徴とする光ファイバ。

16. 前記突出部の表面に形成された遮光性の被覆層と、突出部の先端が被覆層の先端から露出した開口部とを有する

ことを特徴とする請求項15に記載の光ファイバ。

17. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなるマルチモードの光ファイバにおいて、

光ファイバの一端のクラッドから突出したコアを先鋭化した突出部と、

該突出部の表面に形成された遮光性の被覆層と、

突出部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部とを有する

ことを特徴とする光ファイバ。

18. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバにおいて、
光ファイバの一端のコア径を徐々に増加させたコア径増加部と、
該コア径増加部の先端のコアを先鋭化した突出部と、
該突出部の表面に形成された遮光性の被覆層と、
突出部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部とを有することを特徴とする光ファイバ。
19. 前記突出部の基端のクラッドを肉薄とした径小部を有することを特徴とする請求項17又は請求項18のいずれか1項に記載の光ファイバ。
20. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバにおいて、
光ファイバの一端のクラッドを径小とした径小部と、
該径小部の先端にコアを先細り状に先鋭化した突出部を有し、
該突出部の表面に形成された疎水性の被覆層と、
突出部の先端が疎水性の被覆層から露出した開口部と、
該開口部から露出した突出部の表面に形成された色素を添加した非晶質層とを有することを特徴とする光ファイバ。
21. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバにおいて、
光ファイバの一端のクラッドを径小とした径小部と、
該径小部の先端のコアを先細り状に先鋭化した突出部と、
該突出部の表面に形成された遮光性の被覆層と、
該遮光性の被覆層の表面に形成された疎水性の被覆層と、

突出部の先端が遮光性の被覆層及び疎水性の被覆層から露出した開口部と、

該開口部から露出した突出部の表面に形成された色素を添加した非晶質層とを有する

ことを特徴とする光ファイバ。

22. 光を伝搬させる第1のコアと、この第1のコアを覆う第2のコアと、この第2のコアを覆うクラッドとからなる光ファイバにおいて、

光ファイバの一端の第2のコアがクラッドから露出した露出部と、
該露出部の先端の第2のコアが先端先細り状とされた先細り部と、
該先細り部の先端から突出した第1のコアが先鋭化された突出部とを有する

ことを特徴とする光ファイバ。

23. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆う第1のクラッドと、この第1のクラッドを覆う第2のクラッドとからなる光ファイバにおいて、

光ファイバの一端の第1のクラッドが第2のクラッドから露出した露出部と、

該露出部の先端の第1のクラッドが先端先細り状とされた先細り部と、

該先細り部の先端から突出したコアが先鋭化された突出部とを有する

ことを特徴とする光ファイバ。

24. 前記突出部の表面に遮光性の被覆層と、

突出部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部とを有する

ことを特徴とする請求項 22 又は請求項 23 のいずれか 1 項に記載の光ファイバ。

25. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバにおいて、

光ファイバの一端のクラッドから突出したコアを先鋭化した突出部と、

該突出部の表面に形成されたゲル層又は非晶質層からなる被覆層と、

突出部の先端が上記被覆層から露出した開口部とを有する

ことを特徴とする光ファイバ。

26. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバにおいて、

光ファイバの一端のクラッドから突出したコアを先鋭化した突出部と、

該突出部の表面に形成された非晶質の被覆層と、

該非晶質の被覆層の表面に形成された遮光性の被覆層と、

突出部の先端が上記非晶質の被覆層及び遮光性の被覆層から露出した開口部とを有する

ことを特徴とする光ファイバ。

27. 前記突出部の基端のクラッドを肉薄とした径小部を有する

ことを特徴とする請求項 25 又は請求項 26 のいずれか 1 項に記載の光ファイバ。

28. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端をエッチングしてクラッドの外周からコアの中心にかけて円錐状に先鋭化した先

鋭部を形成する先鋭化工程と、

上記先鋭部に遮光性の素材をコーティングして遮光性の被覆層を形成するコーティング工程と、

上記先鋭部の先端を遮光性の被覆層から露出させて開口部を形成する開口工程とを有する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

29. 前記コアが酸化ゲルマニウムを高濃度に添加した石英からなり、

前記クラッドが石英からなり、

前記先鋭化工程が、前記光ファイバの一端をフッ酸又はフッ化アンモニウム水溶液、フッ酸及び水からなるエッチング液と該エッチング液より比重の軽い流体との界面でエッチングしてクラッドを先細り状としたテーパ部を形成する第1エッチング工程と、

上記テーパ部をフッ酸によりエッチングしてコアがテーパ部のクラッドの先端に対して窪んだ凹部を形成する第2エッチング工程と、

上記テーパ部をフッ化アンモニウム水溶液、フッ酸及び水からなるエッチング液でエッチングして、コアの先端とテーパ部の先端を面一とした平坦部を形成する第3エッチング工程と、

上記テーパ部をフッ化アンモニウム水溶液、フッ酸及び水からなるエッチング液でエッチングしてクラッドの外周からコアの中心にかけて円錐状に先鋭化した先鋭部を形成する第4エッチング工程とからなる

ことを特徴とする請求項28に記載の光ファイバの製造方法。

30. 前記第4エッチング工程において、濃度40重量%のフッ

化アンモニウム水溶液と濃度50重量%のフッ酸と水からなり、フッ化アンモニウム水溶液とフッ酸及び水の体積比を X ($X > 1.7$) : 1 : Y ($Y = \text{任意}$) としたエッチング液を用いて、エッチングを行う

ことを特徴とする請求項29に記載の光ファイバの製造方法。

31. 前記コーティング工程において、光ファイバをその中心軸を中心として回転させると共に、先鋭部の側面又は斜め下方から遮光性の素材の蒸気を供給して先鋭部に遮光性の被覆層を形成する

ことを特徴とする請求項28乃至請求項30のいずれか1項に記載の光ファイバの製造方法。

32. 前記開口工程において、遮光性の被覆層をエッチングして開口部を形成する

ことを特徴とする請求項28乃至請求項31のいずれか1項に記載の光ファイバの製造方法。

33. 前記遮光性の被覆層が、金の被覆層からなり、

前記開口工程において、 $KI-I_2$ 水溶液により、上記金の被覆層をエッチングして開口部を形成する

ことを特徴とする請求項32に記載の光ファイバの製造方法。

34. 前記遮光性の被覆層が、アルミニウムの被覆層からなり、

前記開口工程において、 $NaOH$ 水溶液又は KOH 水溶液により、上記アルミニウムの被覆層をエッチングして開口部を形成する

ことを特徴とする請求項32に記載の光ファイバの製造方法。

35. 前記コーティング工程は、前記先鋭部の表面に遮光性の素材をコーティングして遮光性の被覆層を形成する第1コーティング工程と、

上記遮光性の被覆層の先端以外の部分の表面に耐腐食性を有する素材をコーティングして耐腐食性の被覆層を形成する第2コーティング工程とからなり、

前記開口工程において、前記先鋭部の遮光性の被覆層をエッチングして先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を形成する

ことを特徴とする請求項28に記載の光ファイバの製造方法。

36. 前記第1コーティング工程において、前記先鋭部にクロムをコーティングした後、アルミニウムをコーティングして遮光性の被覆層を形成する

ことを特徴とする請求項35に記載の光ファイバの製造方法。

37. 前記第2コーティング工程において、前記光ファイバをその中心軸を中心として回転させると共に、前記先鋭部の側面又は斜め下方から耐腐食性の素材の蒸気を供給して先鋭部の先端以外の部分に前記耐腐食性の被覆層を形成する

ことを特徴とする請求項35又は請求項36のいずれか1項に記載の光ファイバの製造方法。

38. 前記第2コーティング工程において、前記先鋭部の先端以外の部分の表面に金をコーティングして耐腐食性の被覆層を形成し、前記開口工程において、KI-I₂水溶液により前記先鋭部をエッチングして前記開口部を形成する

ことを特徴とする請求項37に記載の光ファイバの製造方法。

39. 前記先鋭化工程は、前記光ファイバの一端をフッ酸又はフッ化アンモニウム水溶液、フッ酸及び水からなるエッチング液と該エッチング液より比重の軽い流体との界面でエッチングしてクラック

ドを先細り状としたテーパ部を形成するテーパ形成エッチング工程と、

上記テーパ部をフッ化アンモニウム水溶液、フッ酸及び水からなるエッチング液でエッチングしてクラッドの外周からコアの中心にかけて円錐状に先鋭化した先鋭部を形成する先鋭化エッチング工程とを有する

ことを特徴とする請求項28に記載の光ファイバの製造方法。

40. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端をエッチングすることによりクラッドの厚さを薄くして径小部を形成する第1エッチング工程と、

径小部の先端側をエッチングすることにより上記コアを先鋭化して突出部を形成する第2エッチング工程と、

上記突出部の表面に遮光性の被覆層を形成する第1コーティング工程と、

上記遮光性の被覆層の先端以外の部分の表面に耐腐食性の被覆層を形成する第2コーティング工程と、

上記耐腐食性の被覆層から露出した遮光性の被覆層をエッチングして突出部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を形成する開口工程とを有する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

41. 前記第1コーティング工程において、金をコーティングすることにより前記遮光性の被覆層を形成し、

前記第2コーティング工程において、前記突出部を合成樹脂を溶かした溶剤に浸漬させた後、溶剤から引き上げることにより、上記

遮光性の被覆層の先端以外の部分の表面に前記耐腐食性の被覆層を形成し、

前記開口工程において、KI-I₂水溶液により、上記遮光性の被覆層とした金をエッチングすることにより、開口部を形成する

ことを特徴とする請求項40に記載の光ファイバの製造方法。

42. 前記第2のエッチング工程で用いたエッチング液とコア及びクラッドのエッチング速度の比が異なるエッチング液を用いて前記突出部をエッチングし、突出部の先端に該突出部より先鋭角が大きな検出端部を形成した後、前記第1のコーティング工程により遮光性の被覆層を形成する

ことを特徴とする請求項40又は請求項41のいずれか1項に記載の光ファイバの製造方法。

43. 前記第2のエッチング工程で形成した突出部を、コアとクラッドのエッチング速度が略等しいエッチング液によりエッチングし、突出部の先鋭角を小さくすると共に突出部の長さを低減させる

ことを特徴とする請求項40又は請求項41のいずれか1項に記載の光ファイバの製造方法。

44. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端をエッチングして上記コアの先端を先鋭化して突出部を形成する先鋭化工程と、

上記突出部の表面に遮光性の被覆層を形成するコーティング工程と、

上記遮光性の被覆層の表面に感光体層を形成する感光体層形成工程と、

エバネッセント光により上記感光体層の先端のみを選択的に露光

する露光工程と、

露光した感光体層を除去して感光体層から遮光性の被覆層の先端が露出した露出部を形成する露出部形成工程と、

露出部より露出した遮光性の被覆層をエッチングすることにより上記突出部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を形成する開口工程とを有する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

45. 前記感光体層形成工程において、感光体層を形成する液状の感光体の滴を垂下し、該垂下した液状の感光体に下方から前記突出部を接触させた後、突出部を離間させることにより、突出部の先端に感光体層を形成する

ことを特徴とする請求項44に記載の光ファイバの製造方法。

46. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端をエッチングすることによりコアを先鋭化して先鋭部を形成する先鋭化工程と、

上記先鋭部の表面に遮光性の被覆層を形成するコーティング工程と、

上記遮光性の被覆層の表面に感光体層を形成する感光体層形成工程と、

エバネッセント光により上記感光体層の先端のみを選択的に露光する露光工程と、

露光した感光体層を除去して感光体層から遮光性の被覆層の先端が露出した露出部を形成する露出部形成工程と、

露出部より露出した遮光性の被覆層をエッチングすることにより上記先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を形成する

開口工程と、

開口部より露出した先鋭部の先端をエッチングして先鋭部の先端が遮光性の被覆層に対して陥没したピットを形成するピット形成工程とを有する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

47. 前記ピット形成工程において形成されたピットに周囲の環境に応じて光学特性が変化する機能性の物質を付設する付設工程を有する

ことを特徴とする請求項46に記載の光ファイバの製造方法。

48. 前記付設工程において、非晶質を飽和状態に溶解させた溶媒に前記機能性の物質を混合し、この溶媒に前記ピットを浸漬させて、ピットに機能性の被覆層を拡散させた非晶質を析出させる

ことを特徴とする請求項47に記載の光ファイバの製造方法。

49. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端を加熱しながら引き延ばし、コアとクラッドを共に先鋭化して先鋭部を形成する先鋭化工程と、

該先鋭部をエッチングしてクラッドから突出したコアを先鋭化して突出部を形成するエッチング工程とを有する。

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

50. 上記突出部の表面に遮光性の被覆層を形成するコーティング工程と、

遮光性の被覆層をエッチングして、突出部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を形成する開口工程とを有する

ことを特徴とする請求項49に記載の光ファイバの製造方法。

5 1. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなるマルチモードの光ファイバの一端をエッチングすることによりコアの先端を先鋭化して突出部を形成する先鋭化工程と、

上記突出部の表面に遮光性の被覆層を形成するコーティング工程と、

上記遮光性の被覆層の先端に突出部の先端が露出した開口部を形成する開口工程とを有する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

5 2. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端に、コア径を徐々に増加させたコア径増加部を形成するコア径増加工程と、

該コア径増加部が形成された光ファイバの一端をエッチングすることによりコア径増加部の先端を先鋭化して突出部を形成する先鋭化工程と、

上記突出部の表面に遮光性の被覆層を形成するコーティング工程と、

上記遮光性の被覆層の先端に突出部の先端が露出した開口部を形成する開口工程とを有する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

5 3. 前記コア径増加工程において、光ファイバの一端を加熱して、コア中の添加物をクラッド中に拡散させることによりコア径増加部を形成する

ことを特徴とする請求項 5 2 に記載の光ファイバの製造方法。

5 4. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬す

る光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端をエッチングして上記コアの先端を先鋭化して突出部を形成する先鋭化工程と、

該突出部の先端以外の表面に疎水性の被覆層を形成するコーティング工程と、

該被覆層から露出した突出部の先端の表面に色素を添加した非晶質層を形成する非晶質層形成工程とを有する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

55. 前記コーティング工程において、突出部の表面に遮光性の被覆層を形成した後、疎水性の被覆層を形成する

ことを特徴とする請求項54に記載の光ファイバの製造方法。

56. 光を伝搬させる第1のコアと、この第1のコアを覆う第2のコアと、この第2のコアを覆うクラッドとからなる光ファイバの一端をエッチングして光ファイバの一端に第2のコアがクラッドから露出した露出部を形成し、

該露出部の先端に第2のコアを先端先細り状とした先細り部を形成し、

該先細り部の先端から突出した第1のコアを先鋭化した突出部を形成する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

57. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆う第1のクラッドと、この第1のクラッドを覆う第2のクラッドとからなる光ファイバの一端をエッチングして光ファイバの一端に第1のクラッドが第2のクラッドから露出した露出部を形成し、

該露出部の先端に第1のクラッドを先端先細り状とした先細り部を形成し、

該先細り部の先端から突出したコアを先鋭化した突出部を形成する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

58. 前記コアが酸化ゲルマニウムを添加した石英からなり、
前記第1のクラッドが石英からなり、
前記第2のクラッドがフッ素又はホウ素を添加した石英からなり、
フッ化アンモニウム水溶液とフッ酸及び水の体積比を1.7 : 1 : Y (Y = 任意) としたエッチング液により前記光ファイバをエッチングして、第1のクラッドが第2のクラッドから露出した露出部を形成すると共に、第1のクラッドを先鋭化し、先鋭化した第1のクラッドの先端とコアの先端が面一となる平坦部を形成した後、フッ化アンモニウム水溶液とフッ酸及び水の体積比をX (X > 1.7) : 1 : Y としたエッチング液により上記平坦部を形成した光ファイバをエッチングして前記先細り部及び突出部を形成する

ことを特徴とする請求項57に記載の光ファイバの製造方法。

59. 前記突出部の表面に遮光性の被覆層を形成するコーティング工程と、

上記遮光性の被覆層の先端に突出部の先端が露出した開口部を形成する開口工程とを有する

ことを特徴とする請求項56又は請求項57又は請求項58のいずれか1項に記載の光ファイバの製造方法。

60. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端をエッチングして上記コアの先端を先鋭化して突出部を形成する先鋭化工程と、

突出部の表面にゲル層からなる被覆層を形成する被覆層形成工程

と、

突出部の先端が上記被覆層から露出した開口部を形成する開口工程とを有する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

61. 前記被覆層形成工程において形成したゲル層を加熱して非晶質層を形成して被覆層を形成することを特徴とする

ことを特徴とする請求項60に記載の光ファイバの製造方法。

62. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端をエッチングして上記コアの先端を先鋭化して突出部を形成する先鋭化工程と、突出部の表面に非晶質の被覆層を形成する非晶質層形成工程と、非晶質の被覆層の表面に遮光性の被覆層を形成するコーティング工程と、

突出部の先端が上記非晶質の被覆層及び遮光性の被覆層から露出した開口部を形成する開口工程とを有する

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

63. 前記非晶質形成工程において、非晶質を飽和状態に溶解させた溶媒に突出部を浸漬させることにより、突出部の表面に非晶質を析出させて被覆層を形成する

ことを特徴とする請求項62に記載の光ファイバの製造方法。

64. 光を伝搬させるコアと、このコアを覆ってコア内を伝搬する光を遮光するクラッドとからなる光ファイバの一端をエッチングして上記コアの先端を先鋭化して先鋭部を形成する先鋭化工程と、先鋭部の表面に活性化処理を施す活性化工程と、

無電界メッキにより先鋭部の表面に遮光性の被覆層を形成すると

共に先鋭部の先端が遮光性の被覆層から露出した開口部を形成する
コーティング工程とを有する
ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

1/75

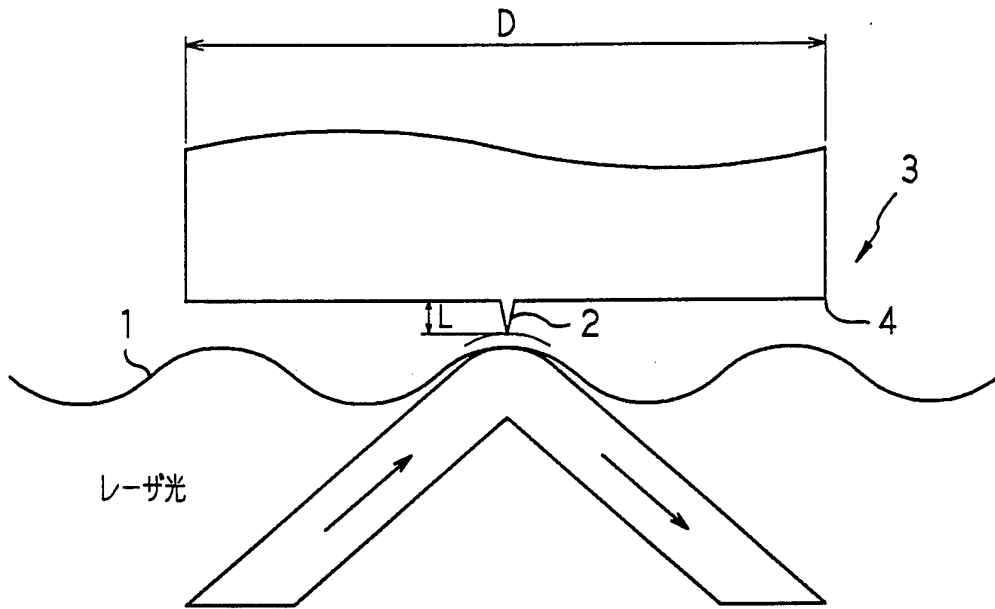


FIG. 1

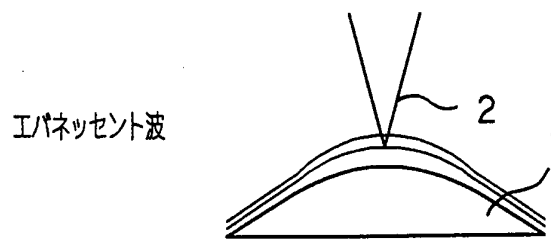


FIG. 2

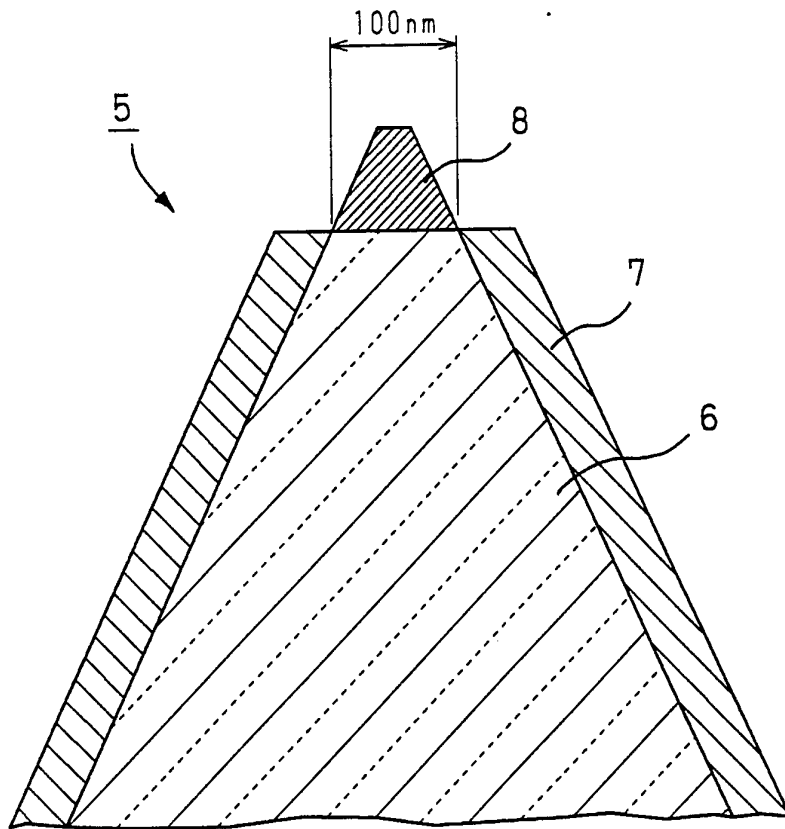


FIG. 3

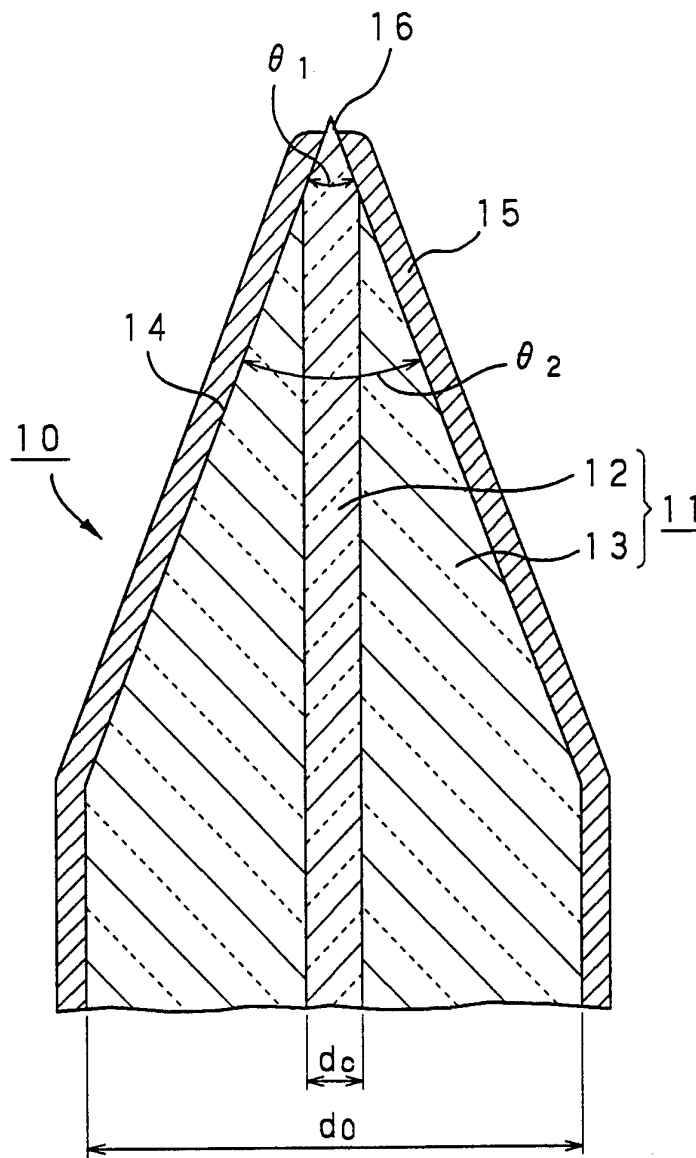


FIG. 4

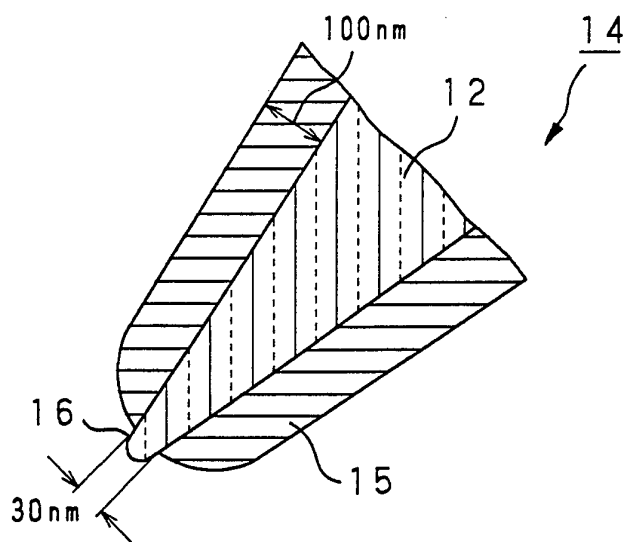


FIG. 5

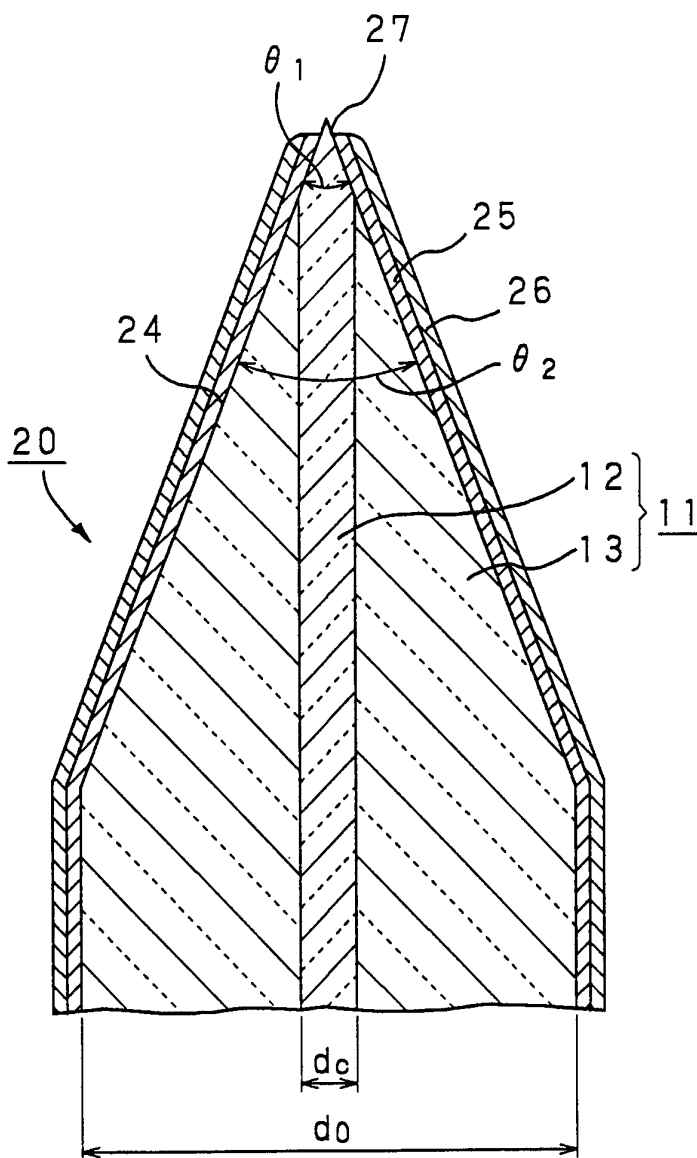


FIG. 6

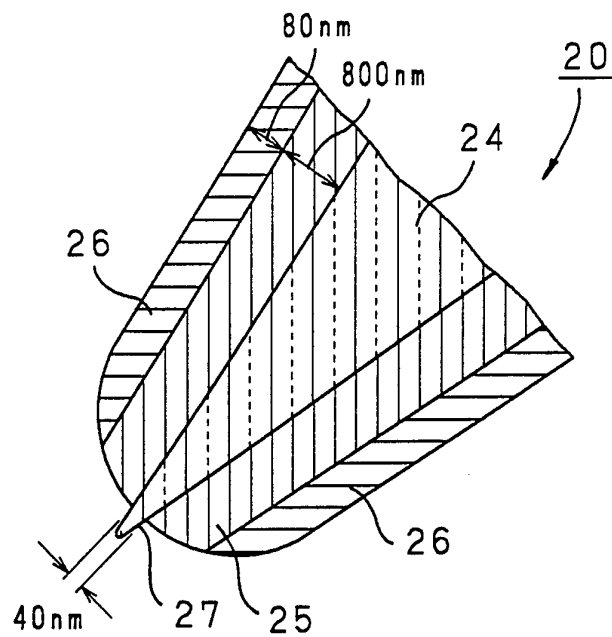


FIG. 7

7/75

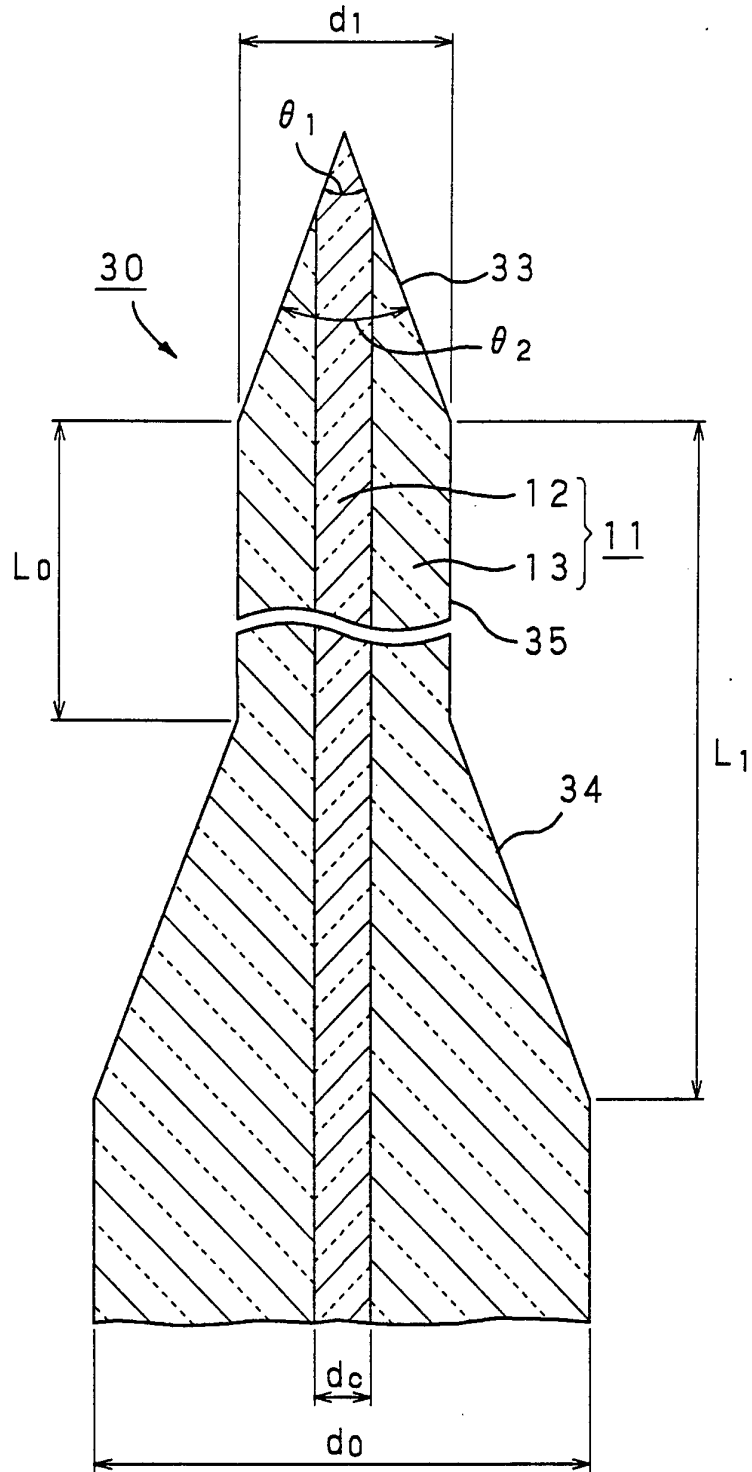


FIG. 8

8/75

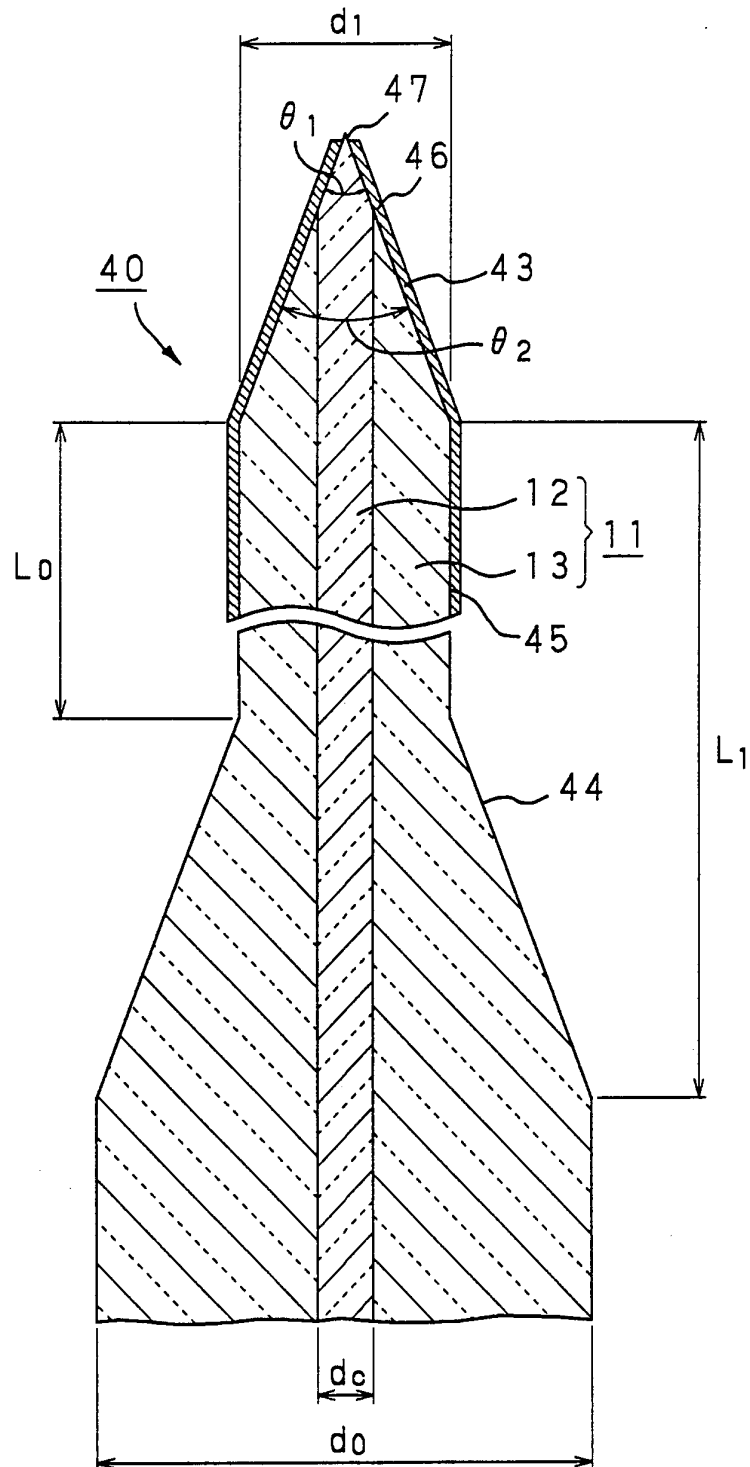


FIG. 9

9/75

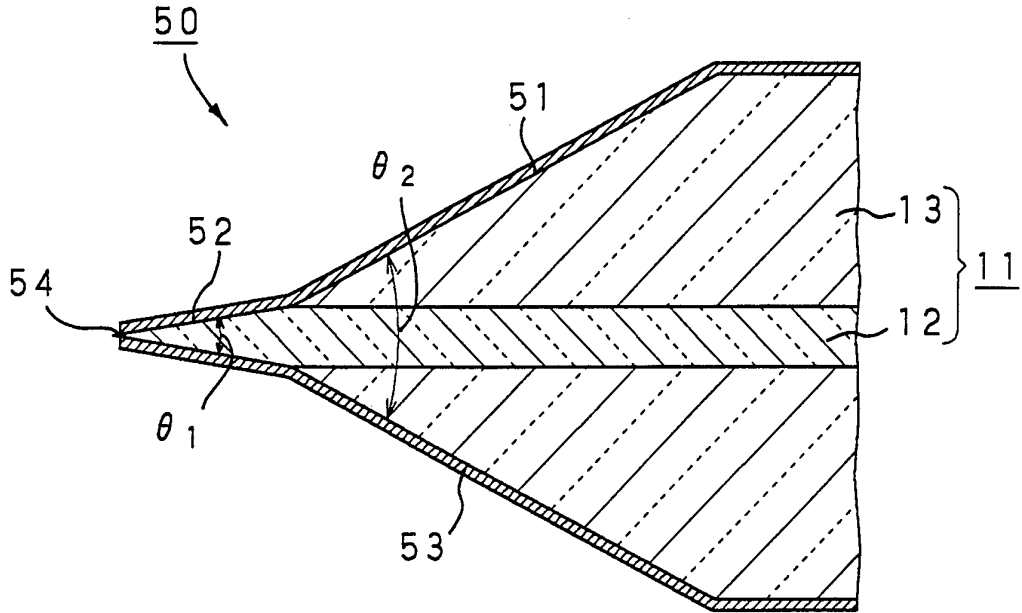


FIG. 10

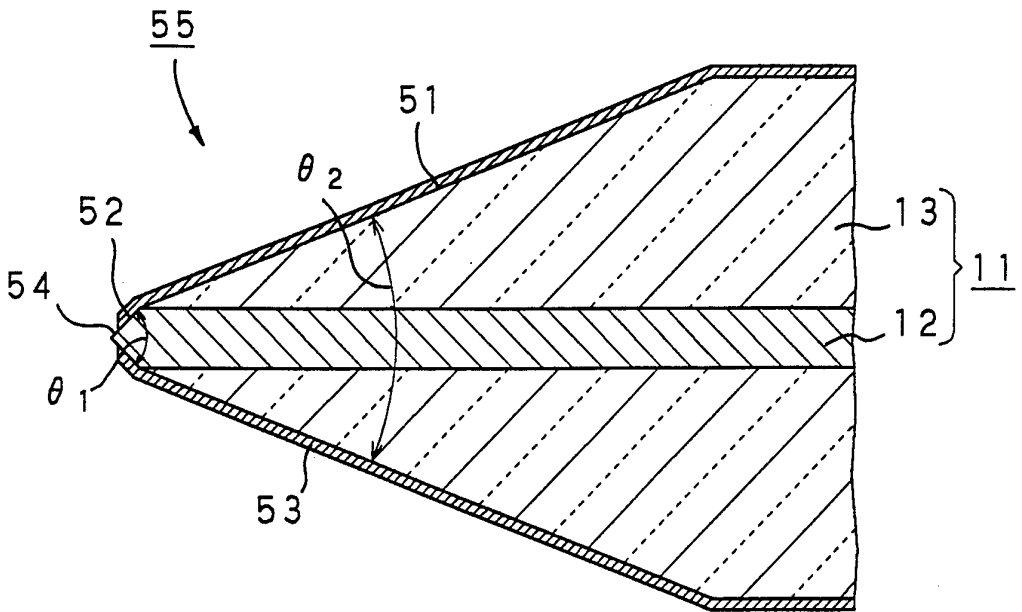


FIG. 11

10/75

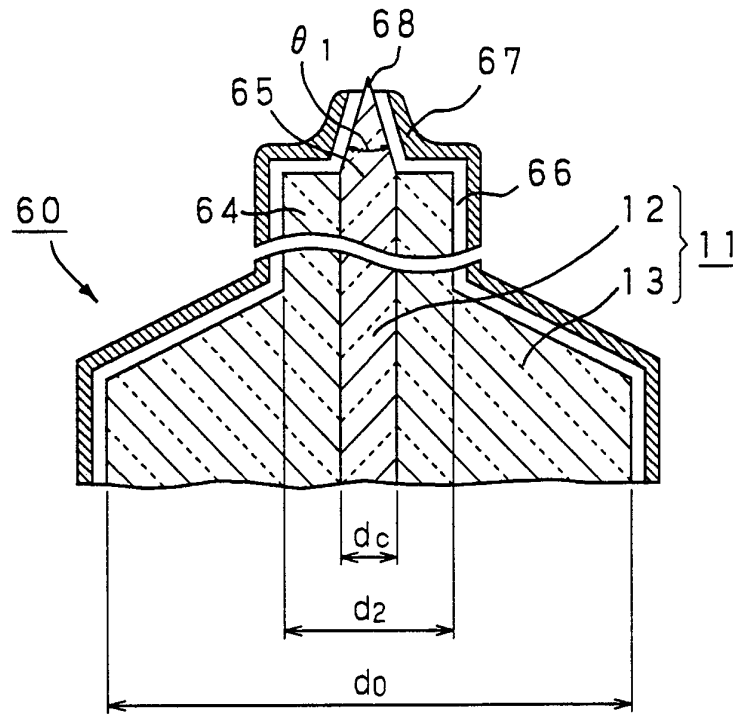


FIG. 12

11/75

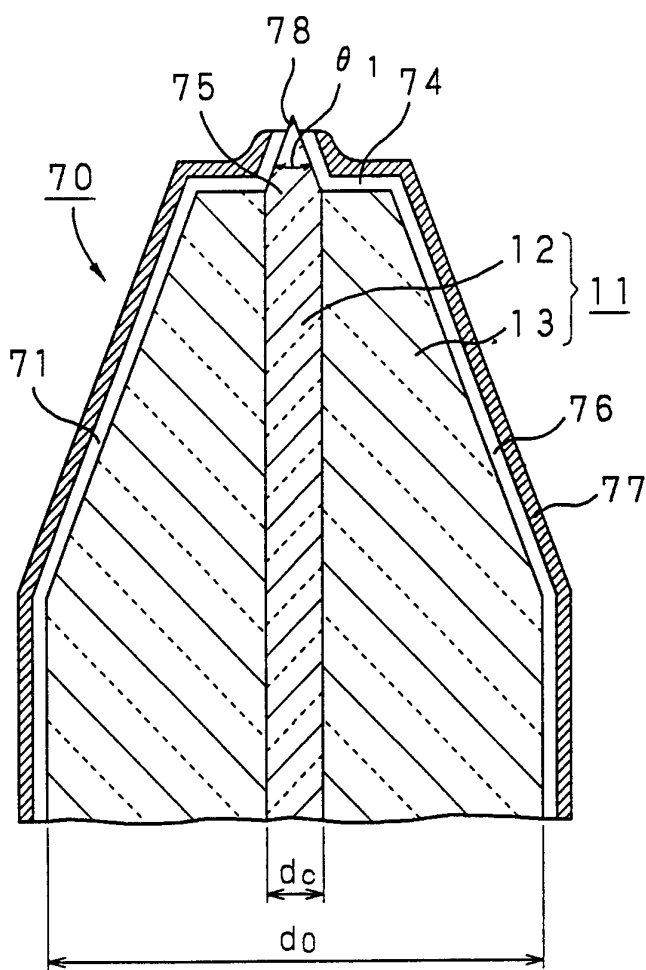


FIG. 13

12/75

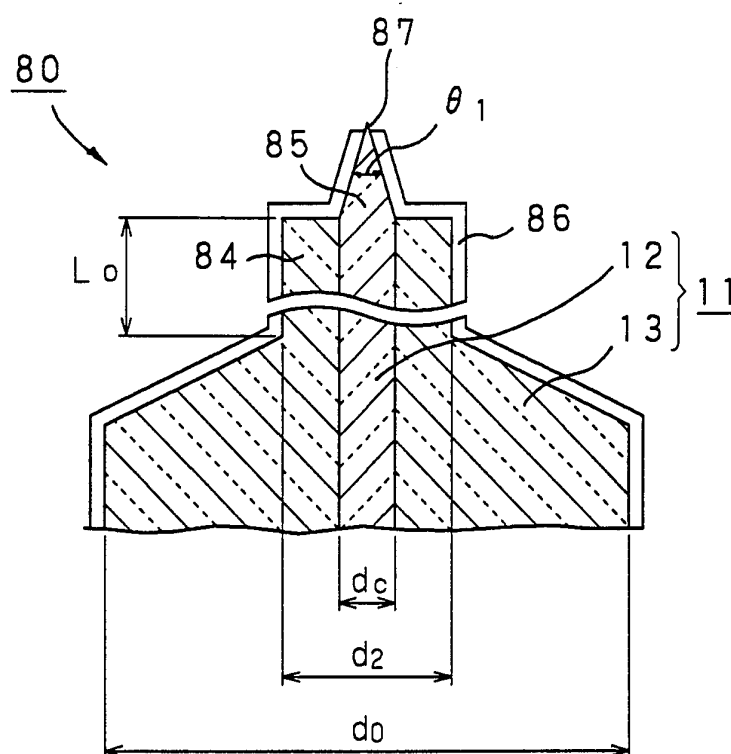


FIG. 14

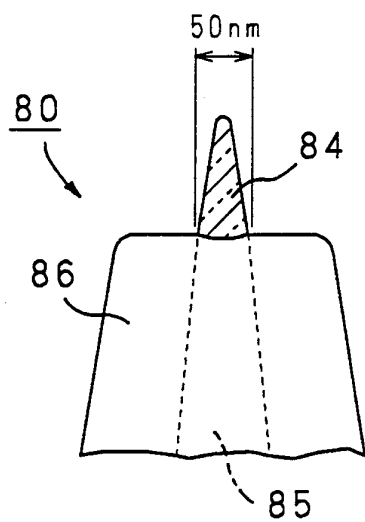


FIG. 15

14/75

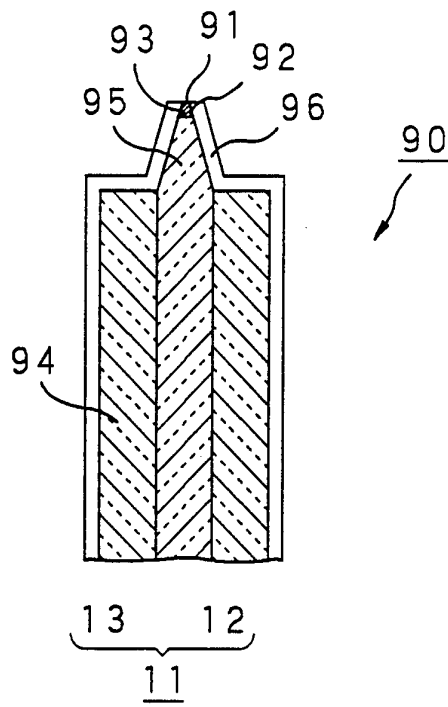


FIG. 16

15/75

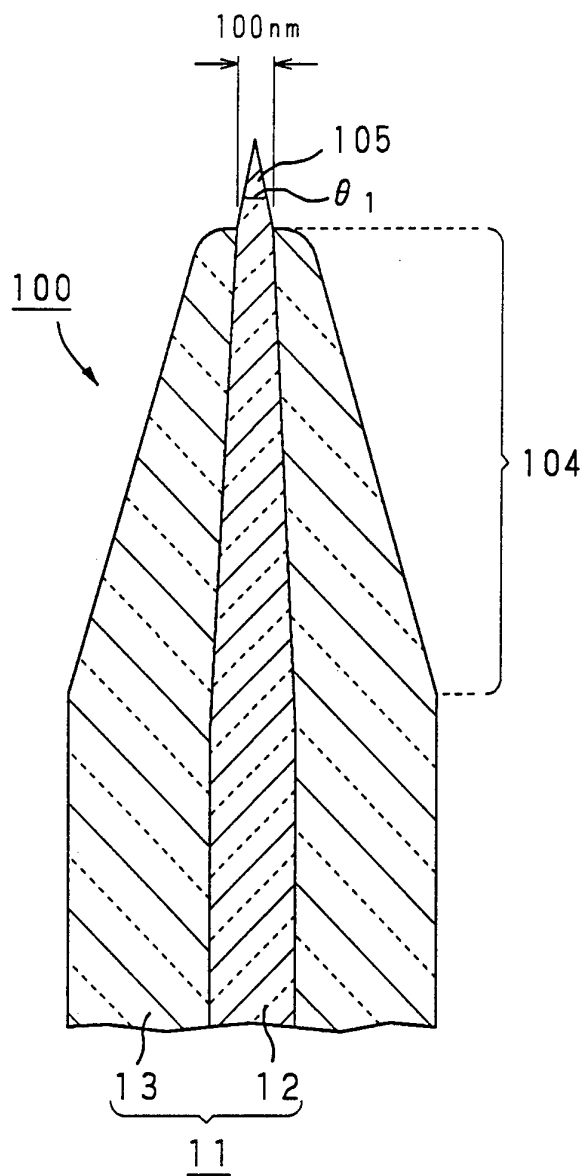


FIG. 17

16/75

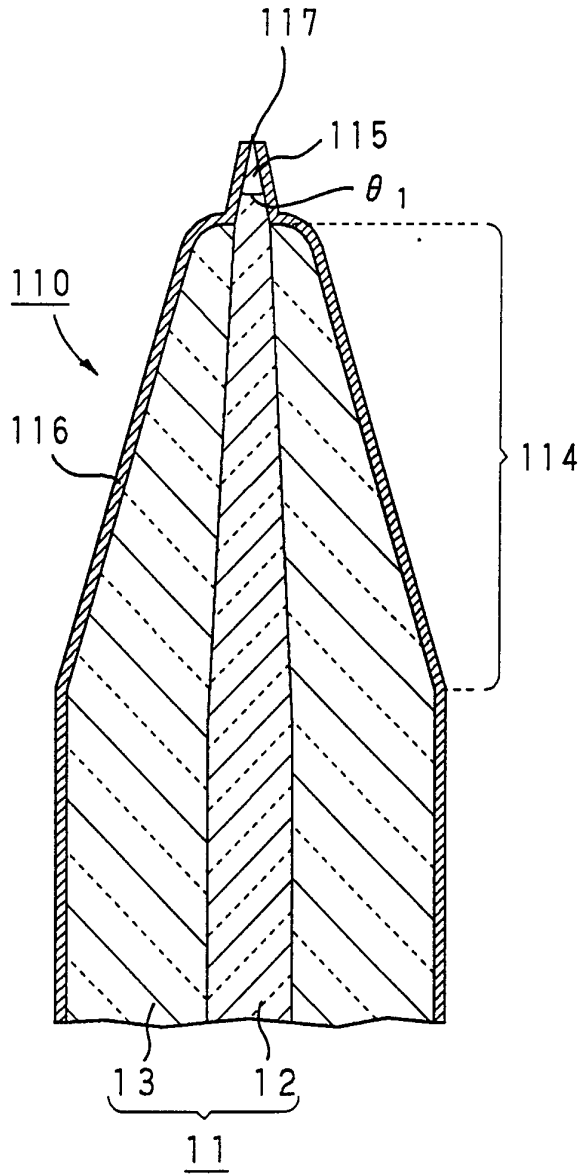


FIG. 18

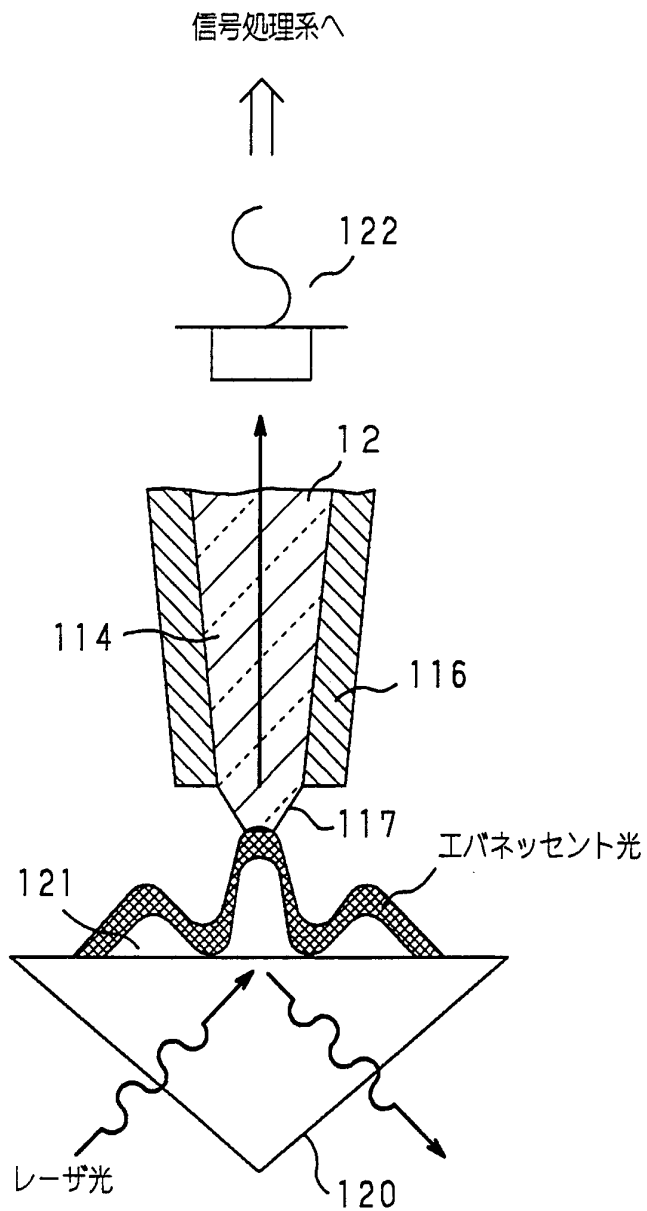


FIG. 19

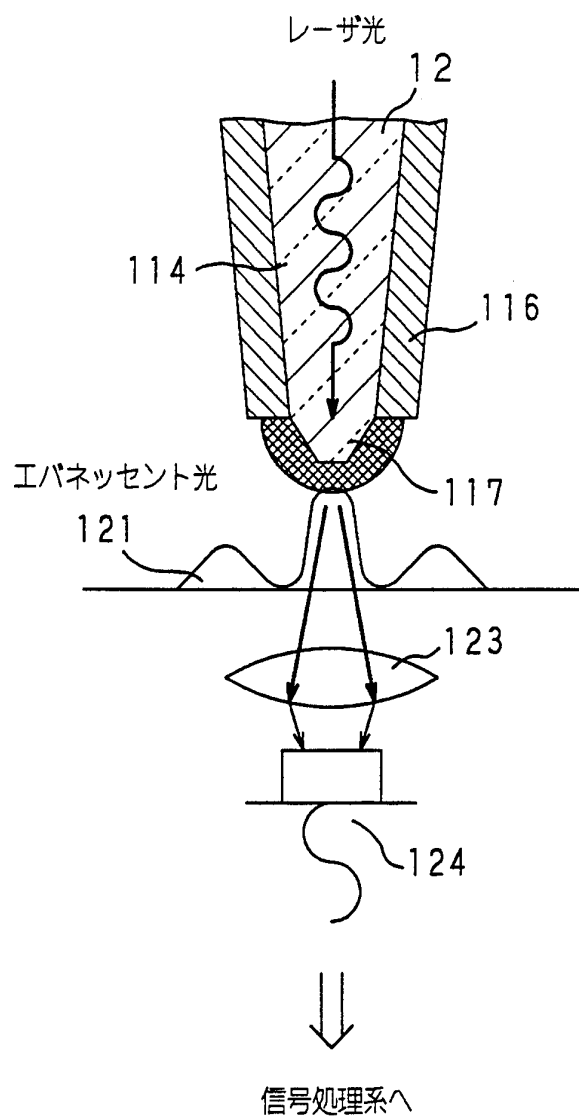


FIG. 20

19/75

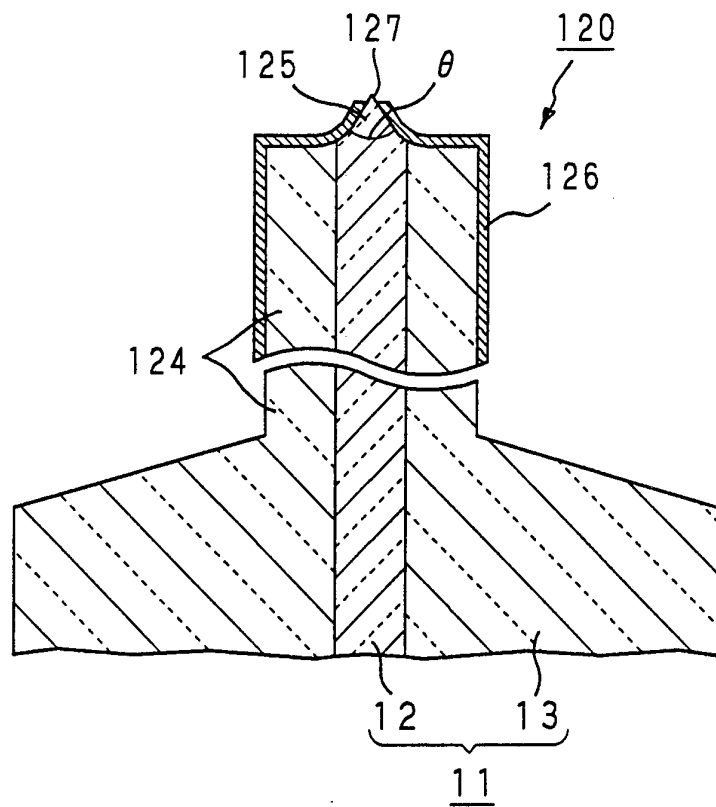


FIG. 21

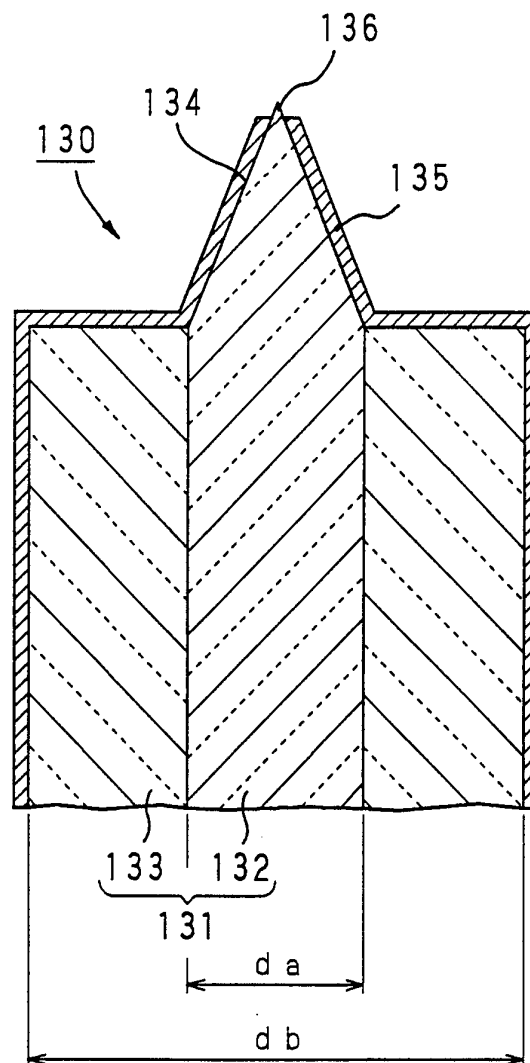


FIG. 22

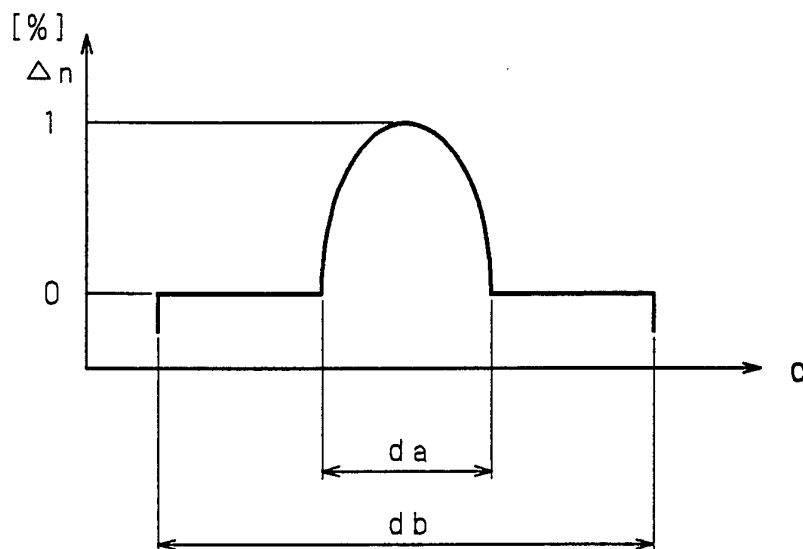


FIG. 23

22/75

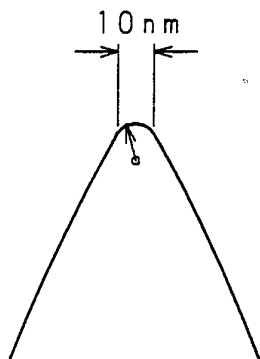


FIG. 24

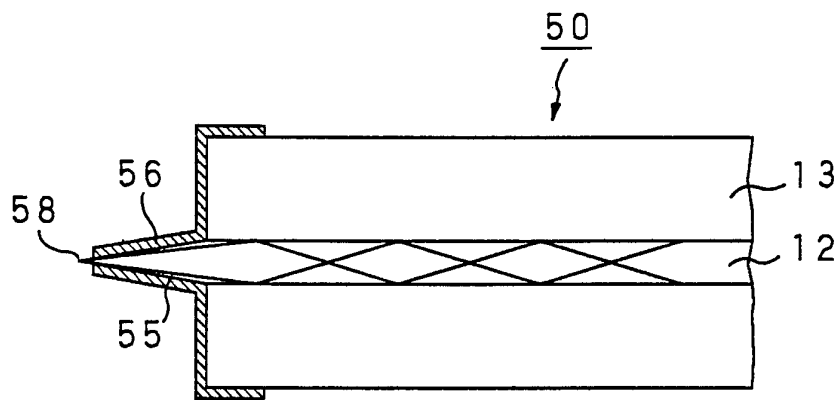


FIG. 25

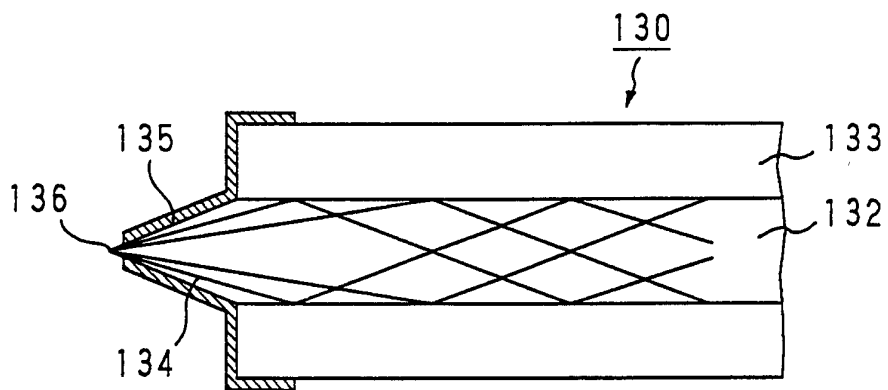


FIG. 26

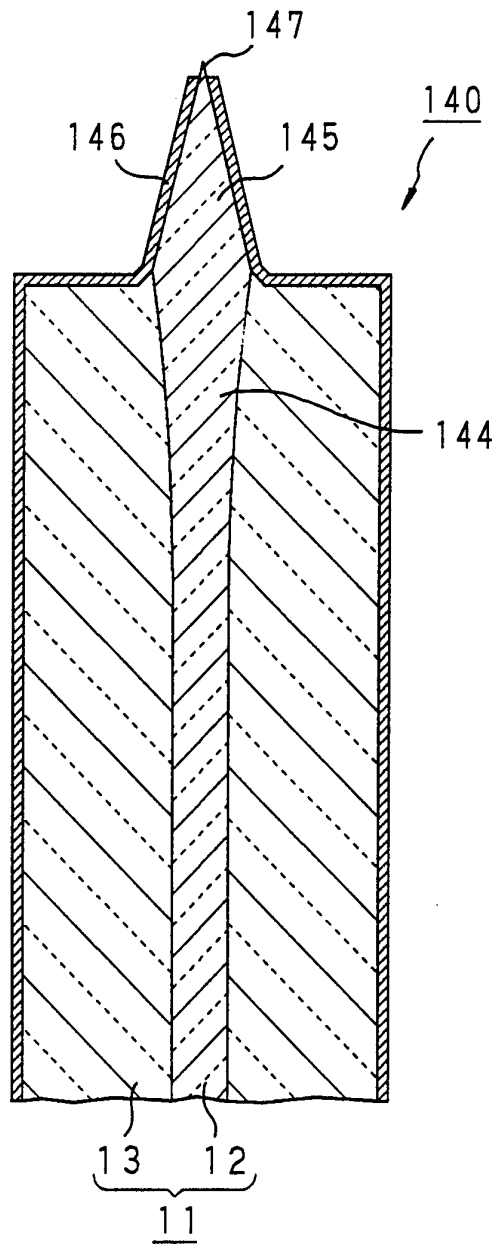


FIG. 27

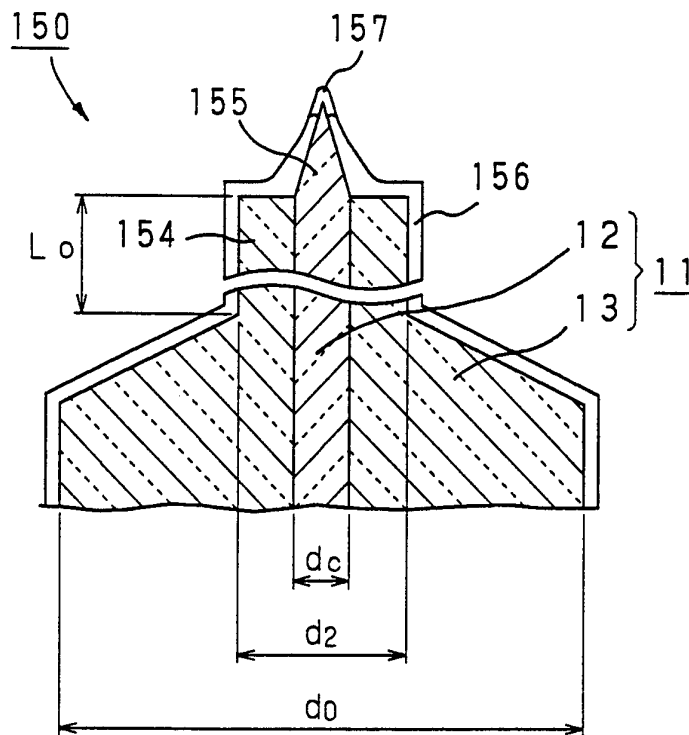


FIG. 28

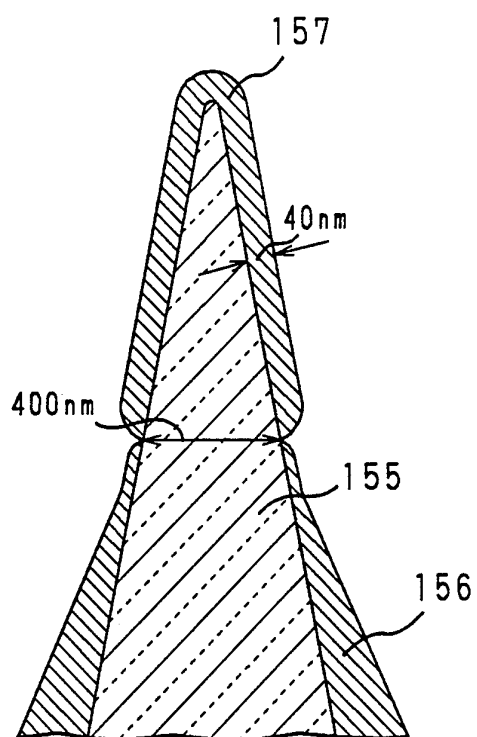


FIG. 29

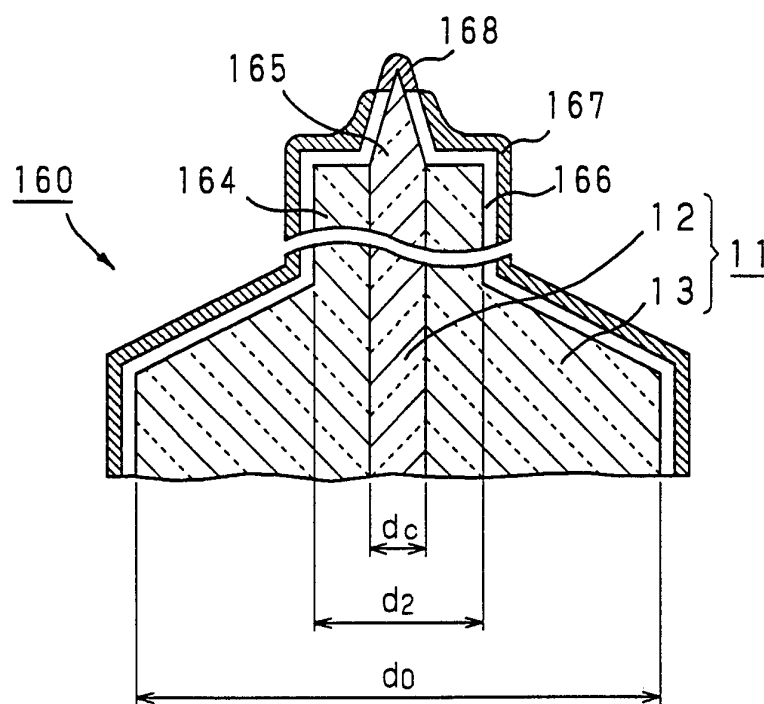


FIG. 30

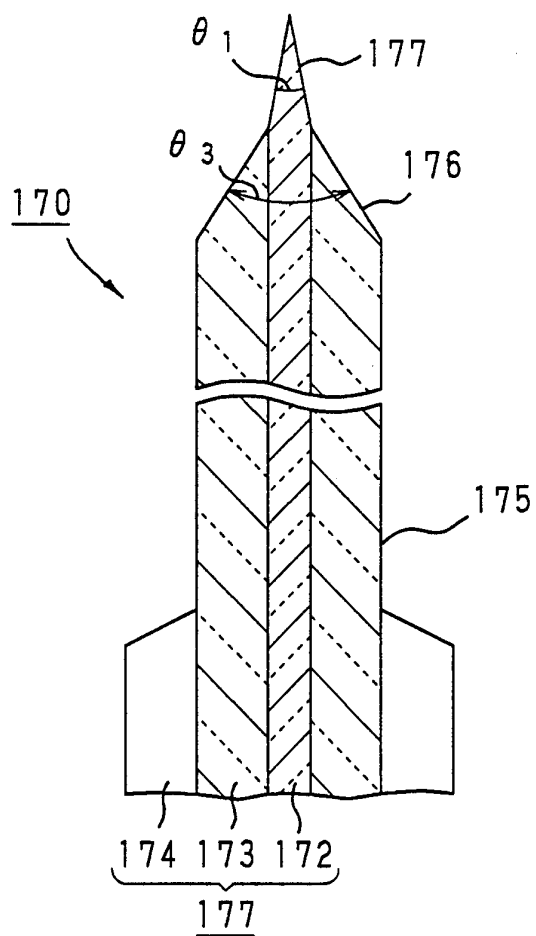


FIG. 31

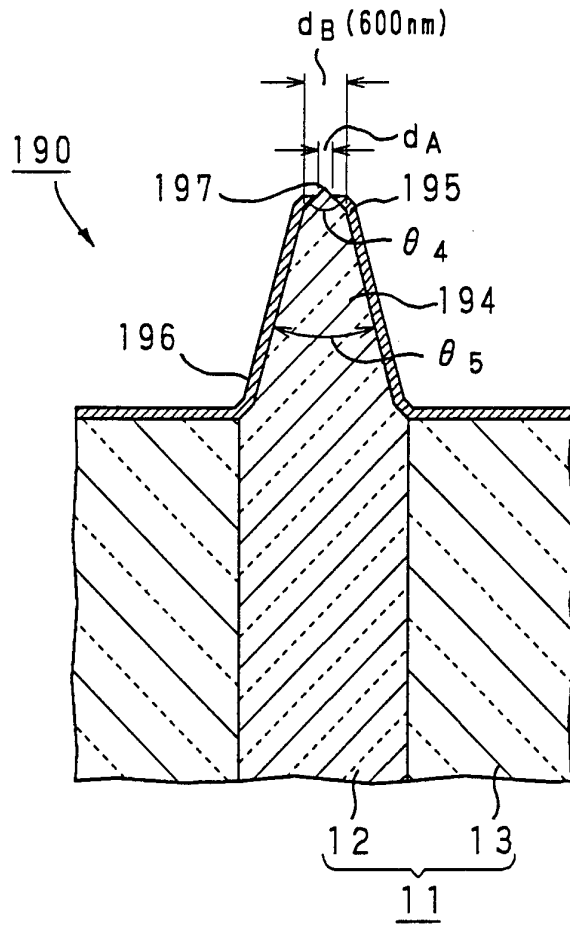


FIG. 33

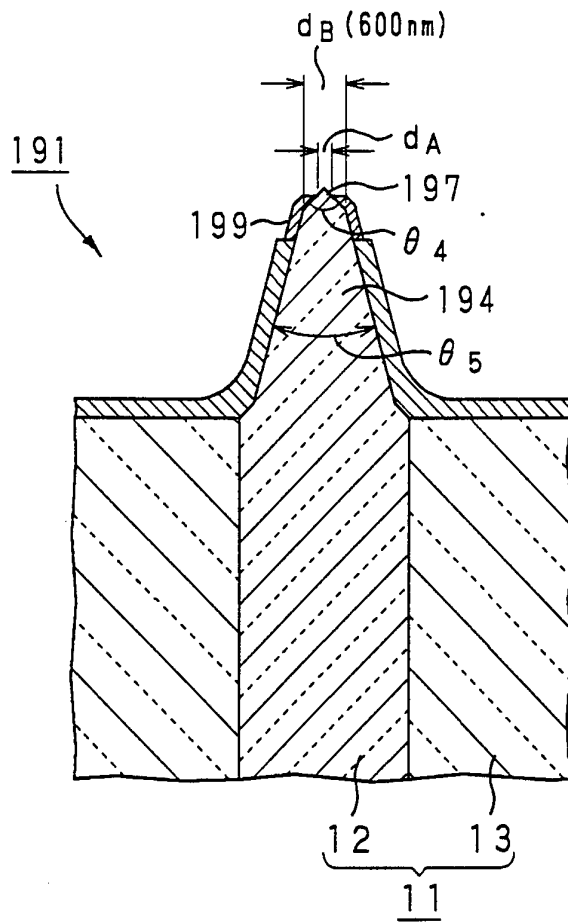


FIG. 34

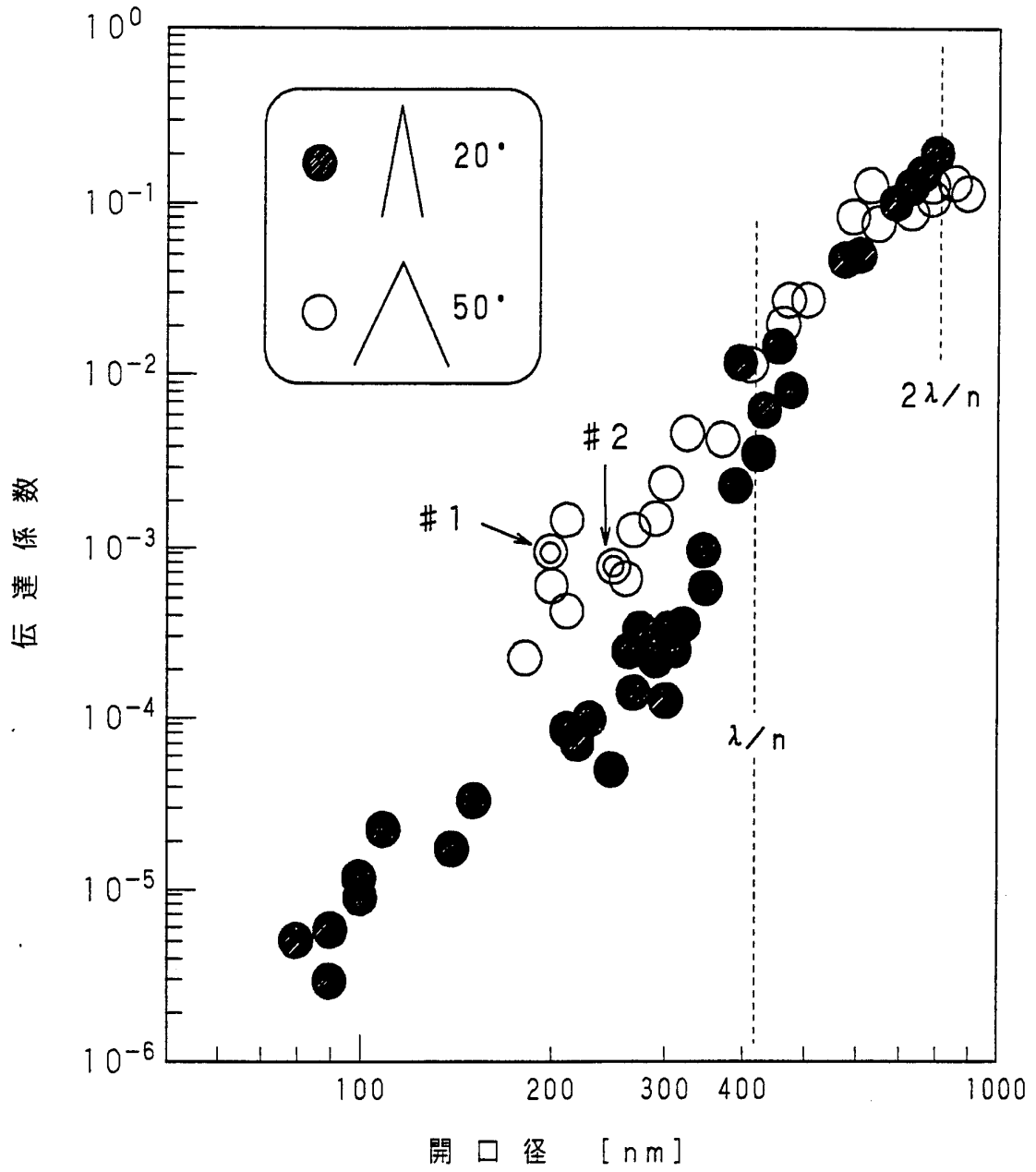


FIG. 35

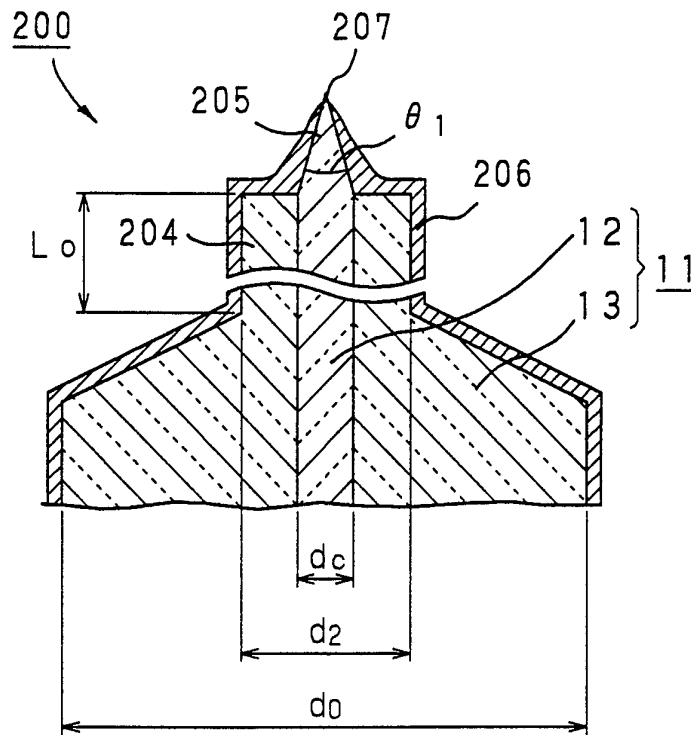


FIG. 36

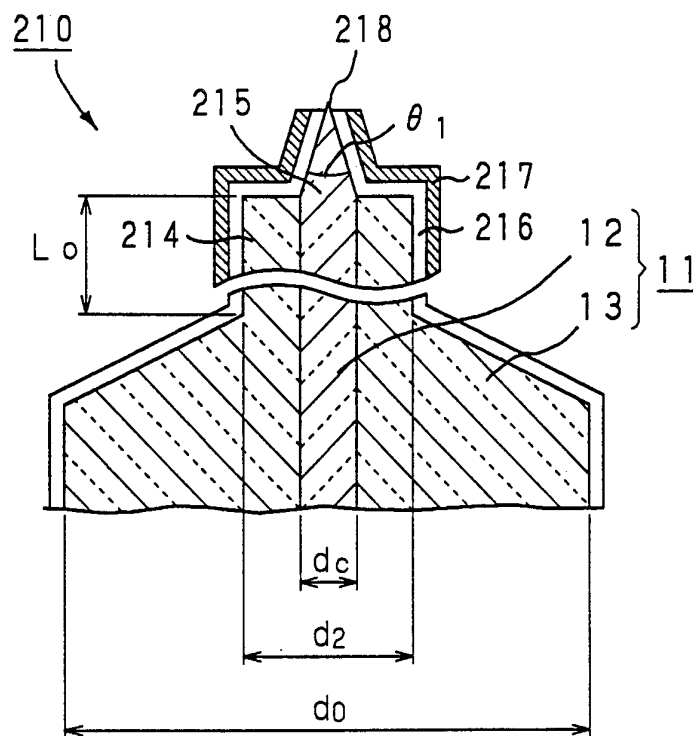


FIG. 37

34/75

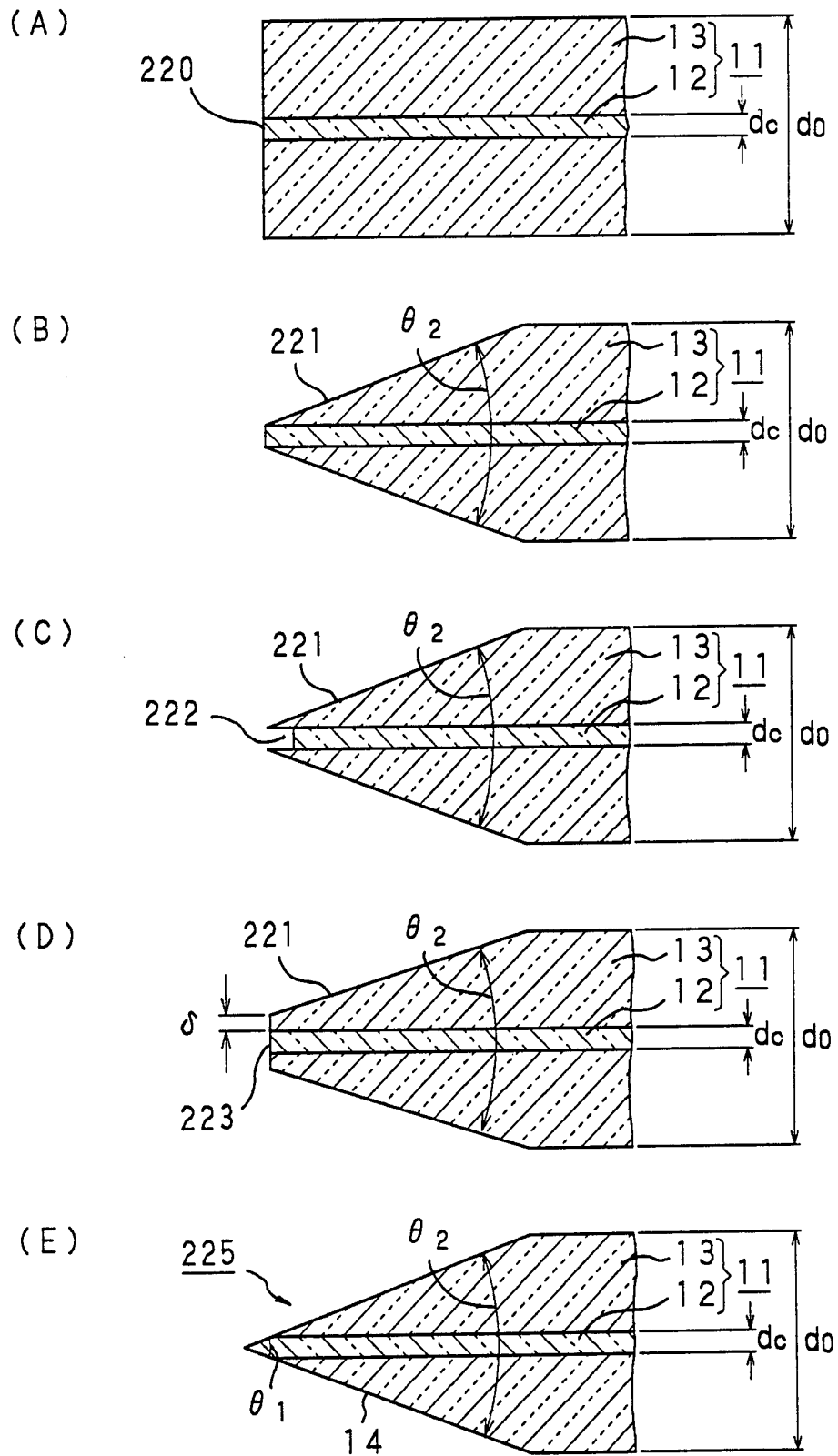


FIG. 38

35/75

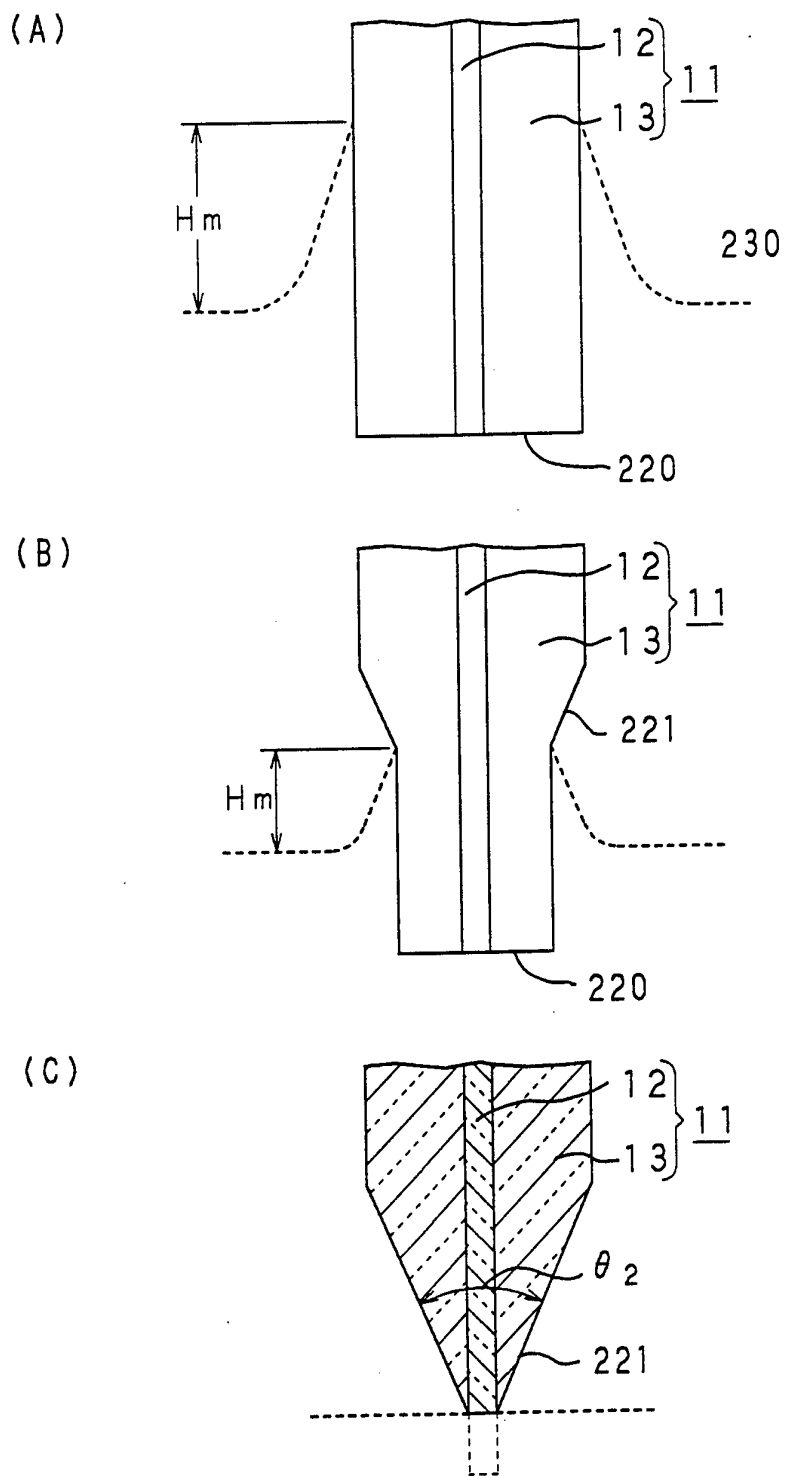


FIG. 39

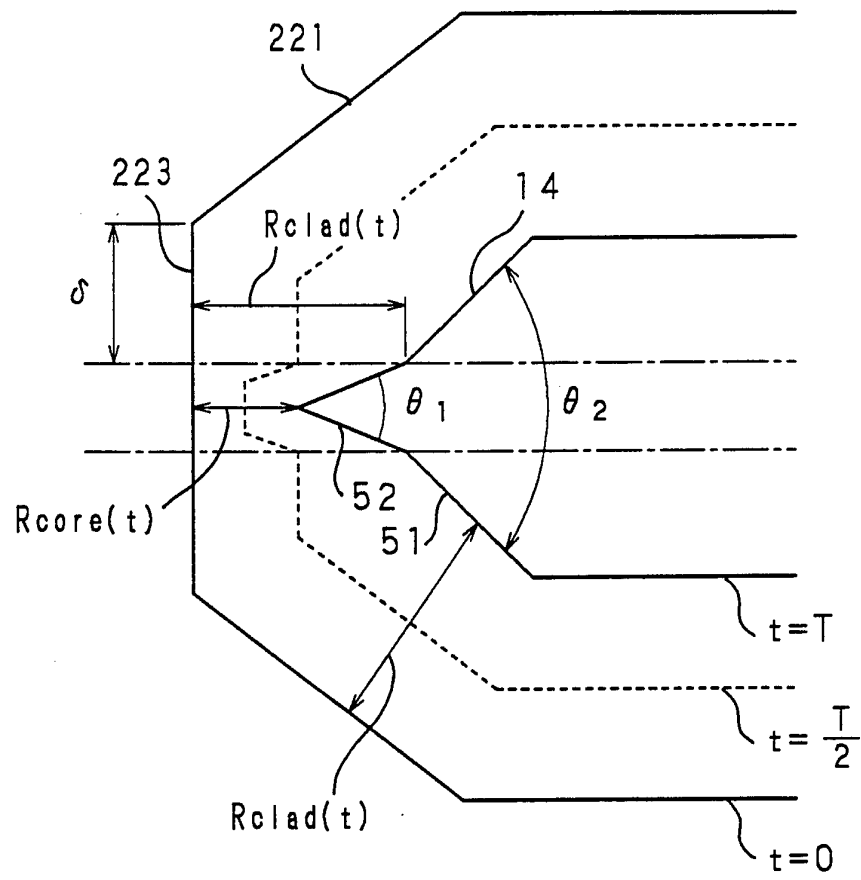


FIG. 40

37/75

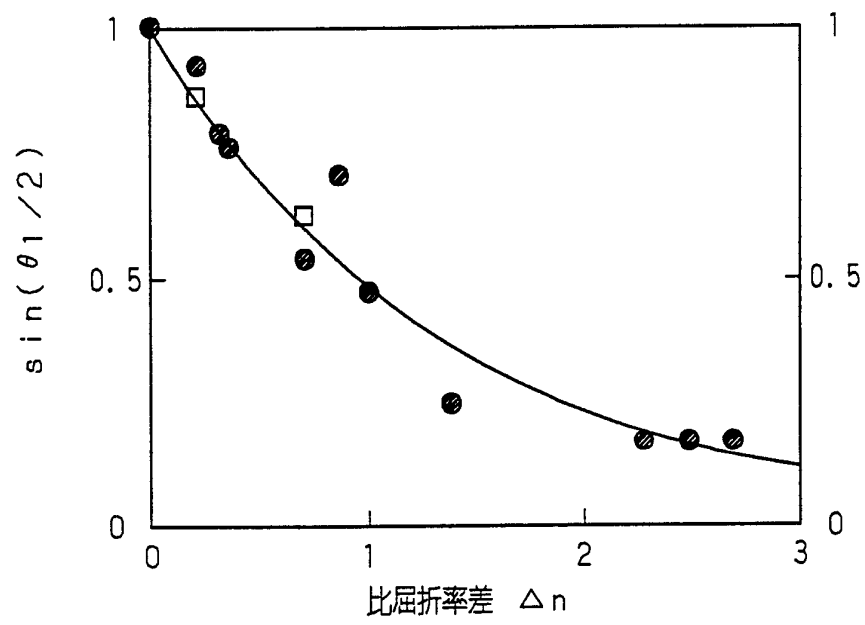


FIG. 41

38/75

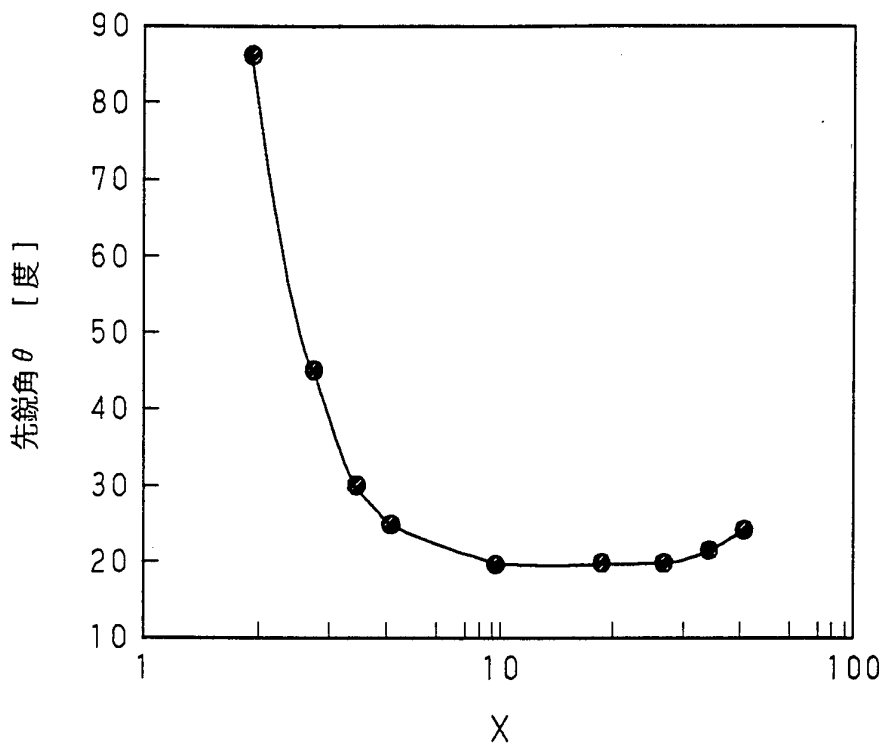


FIG. 42

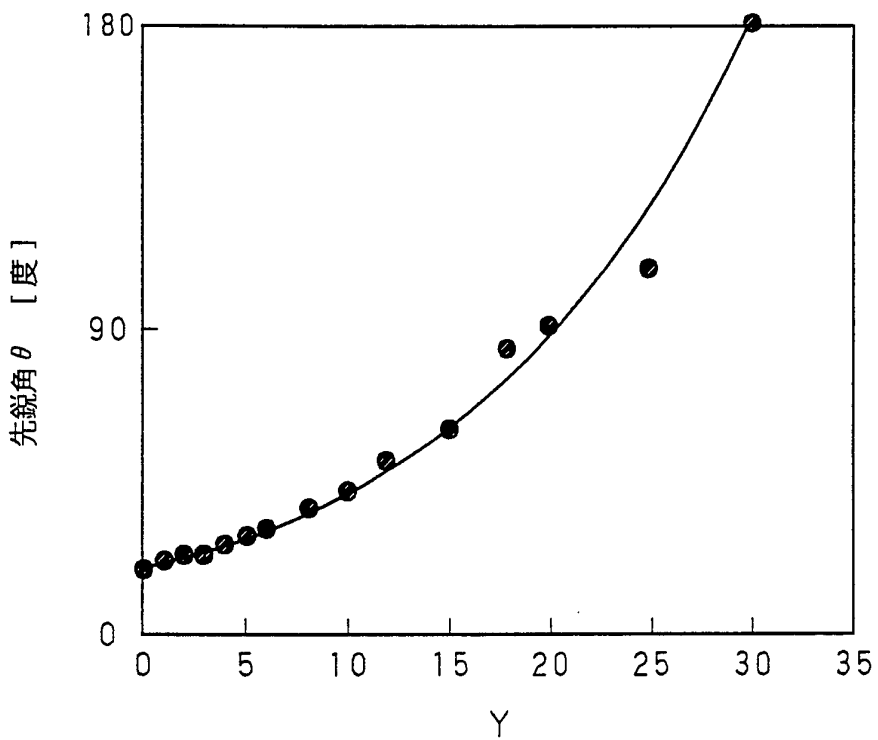


FIG. 43

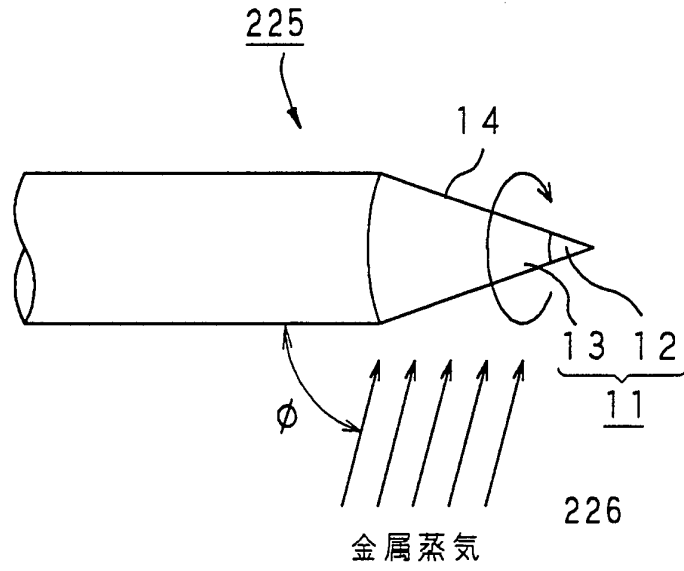


FIG. 44

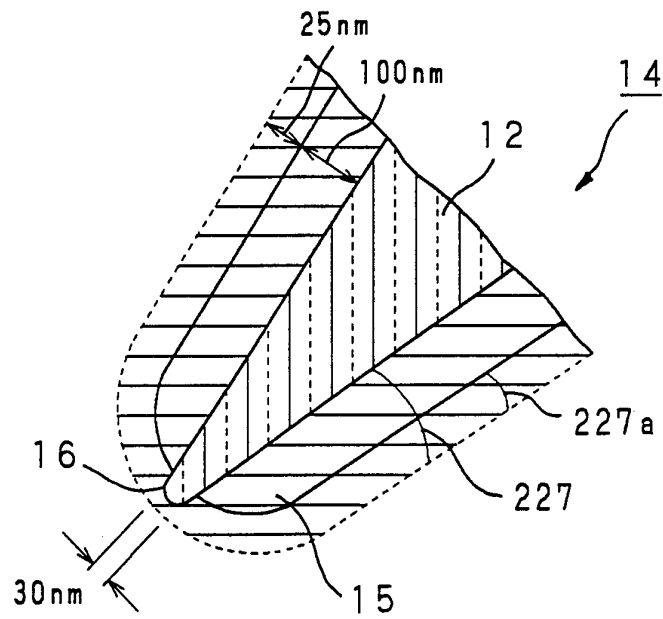


FIG. 45

40/75

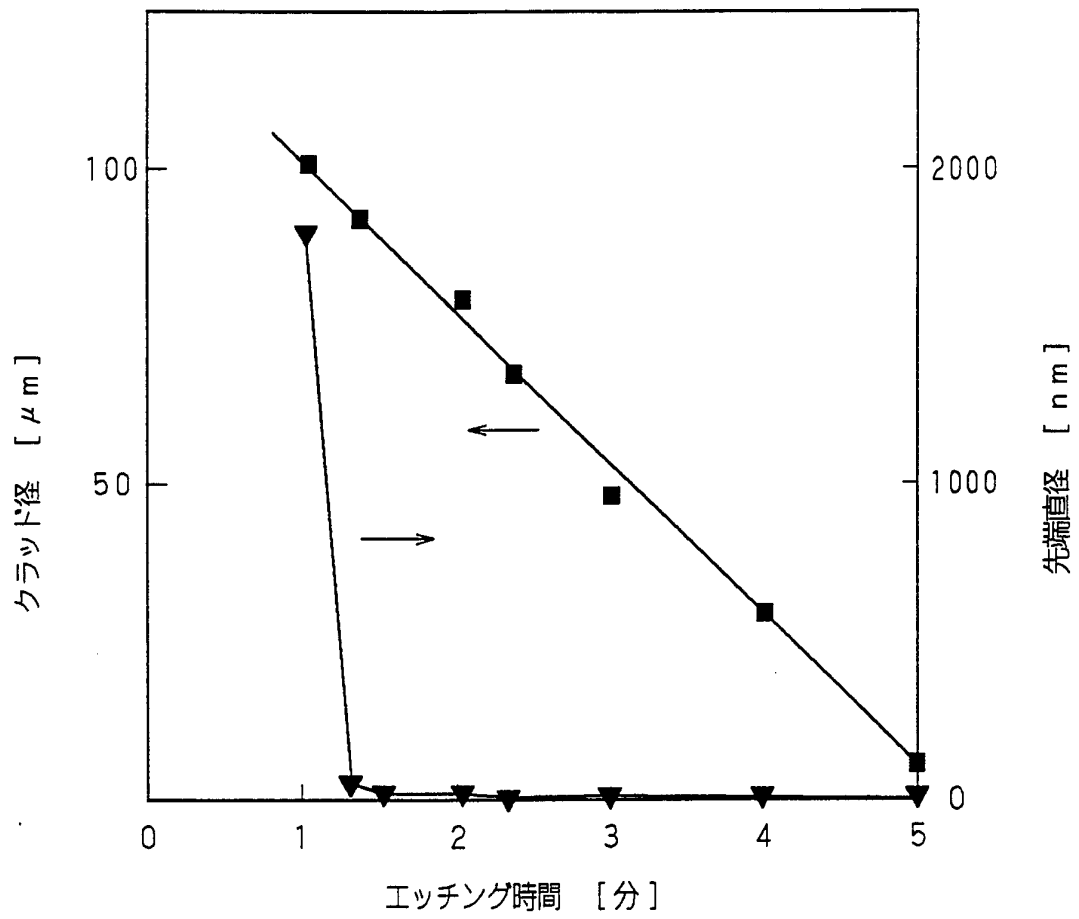


FIG. 46

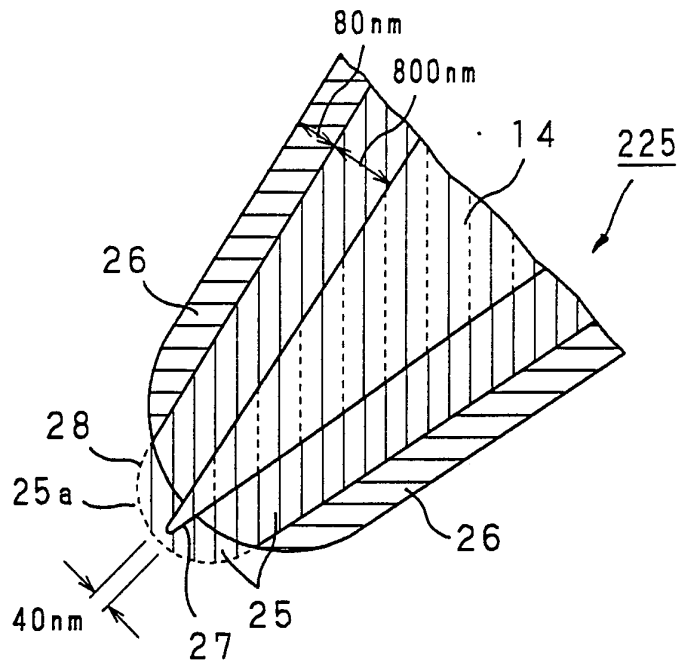


FIG. 47

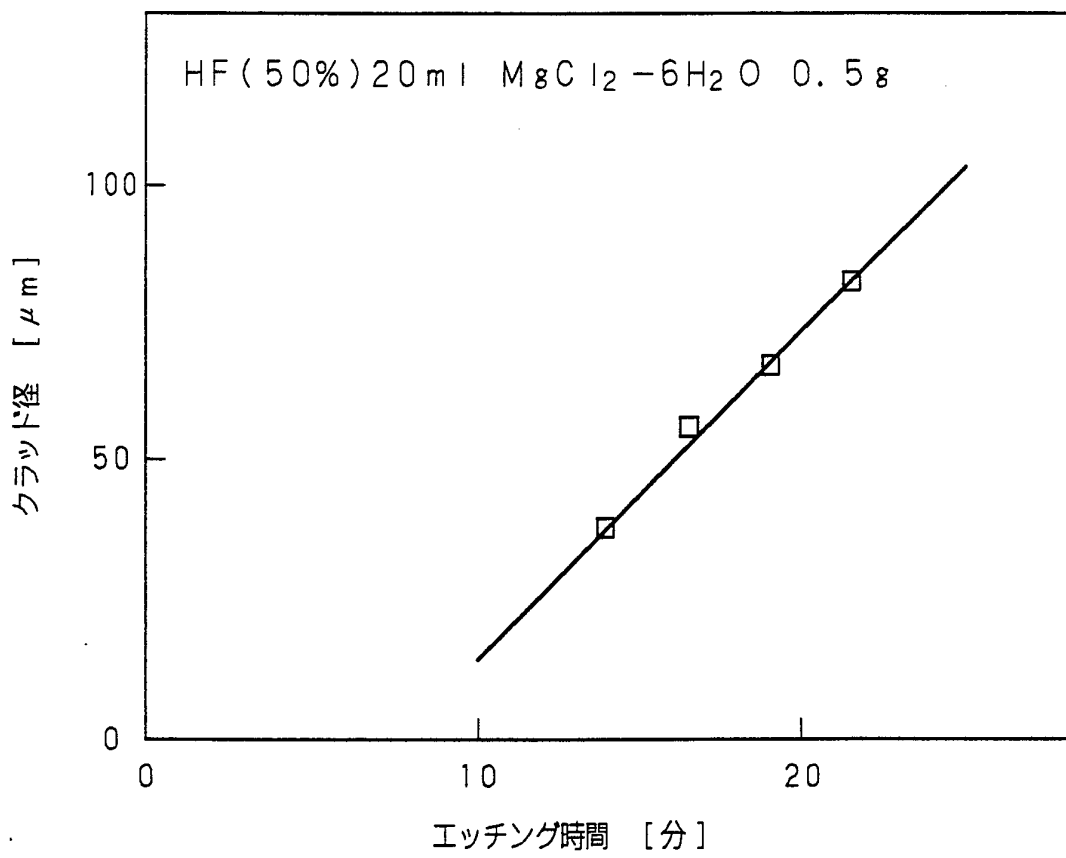


FIG. 49

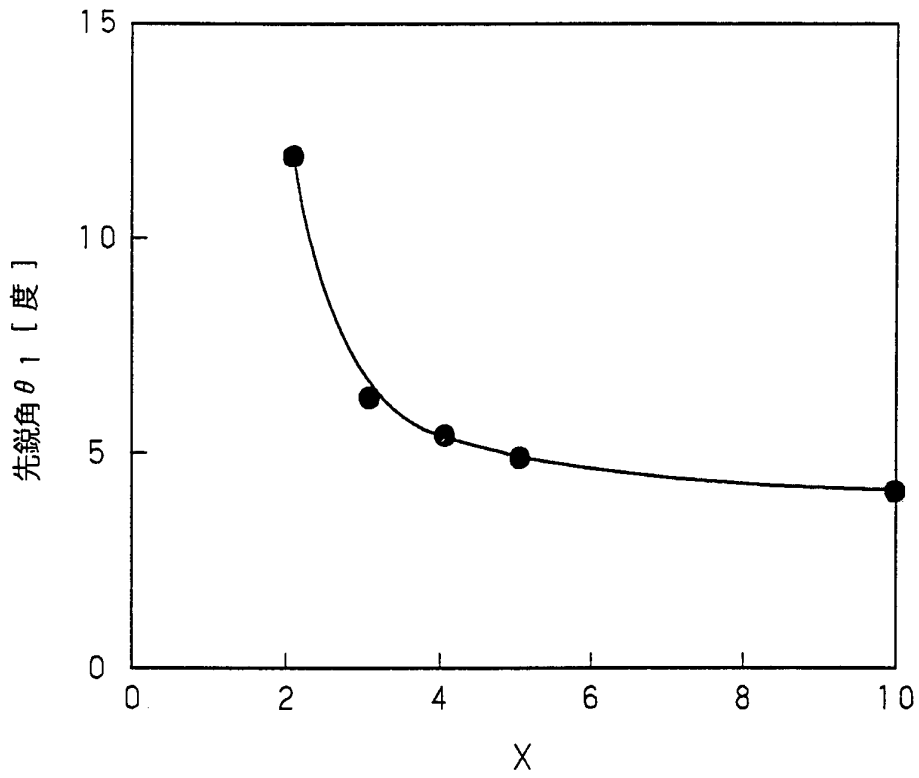


FIG. 51

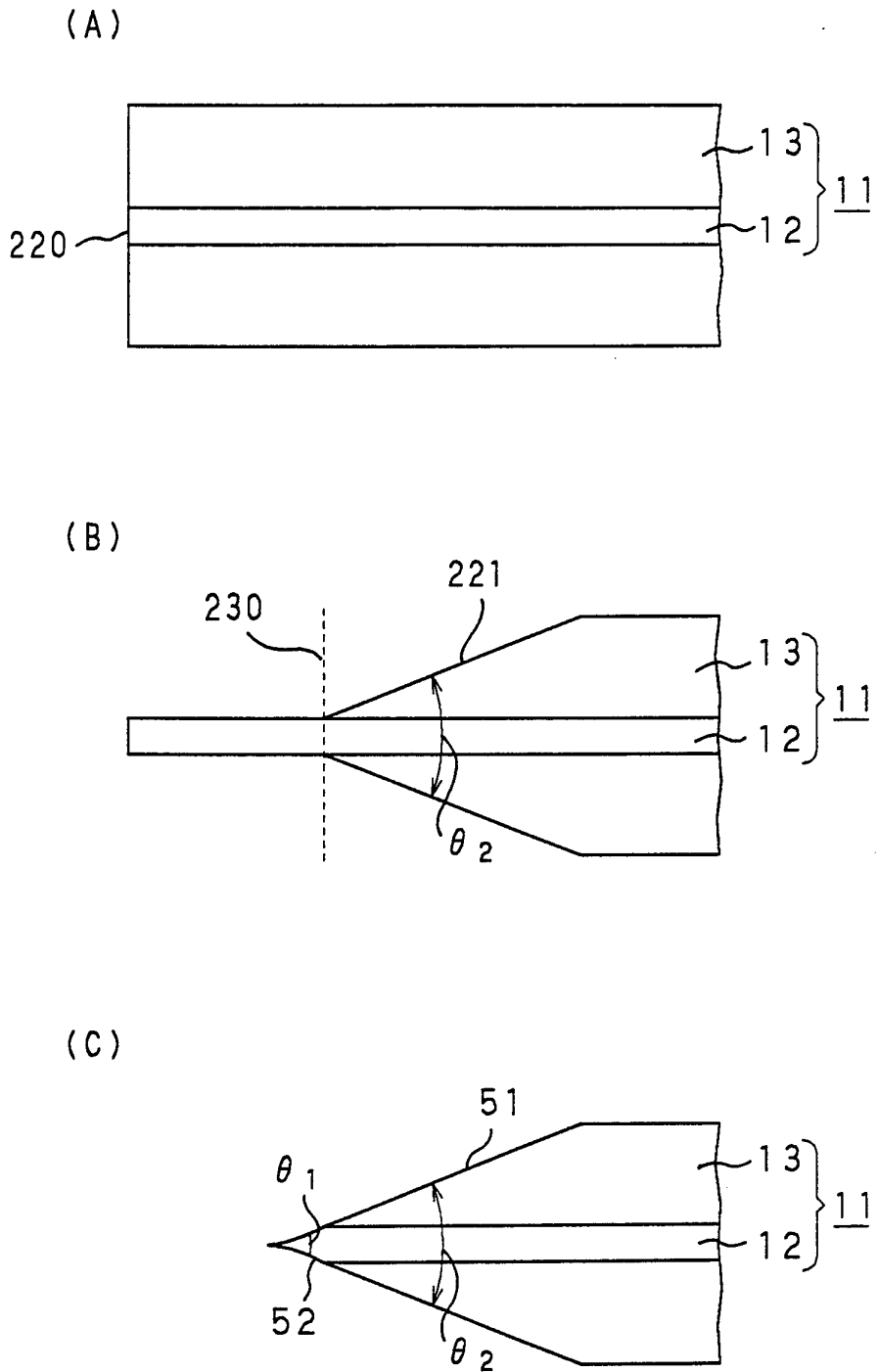


FIG. 52

47/75

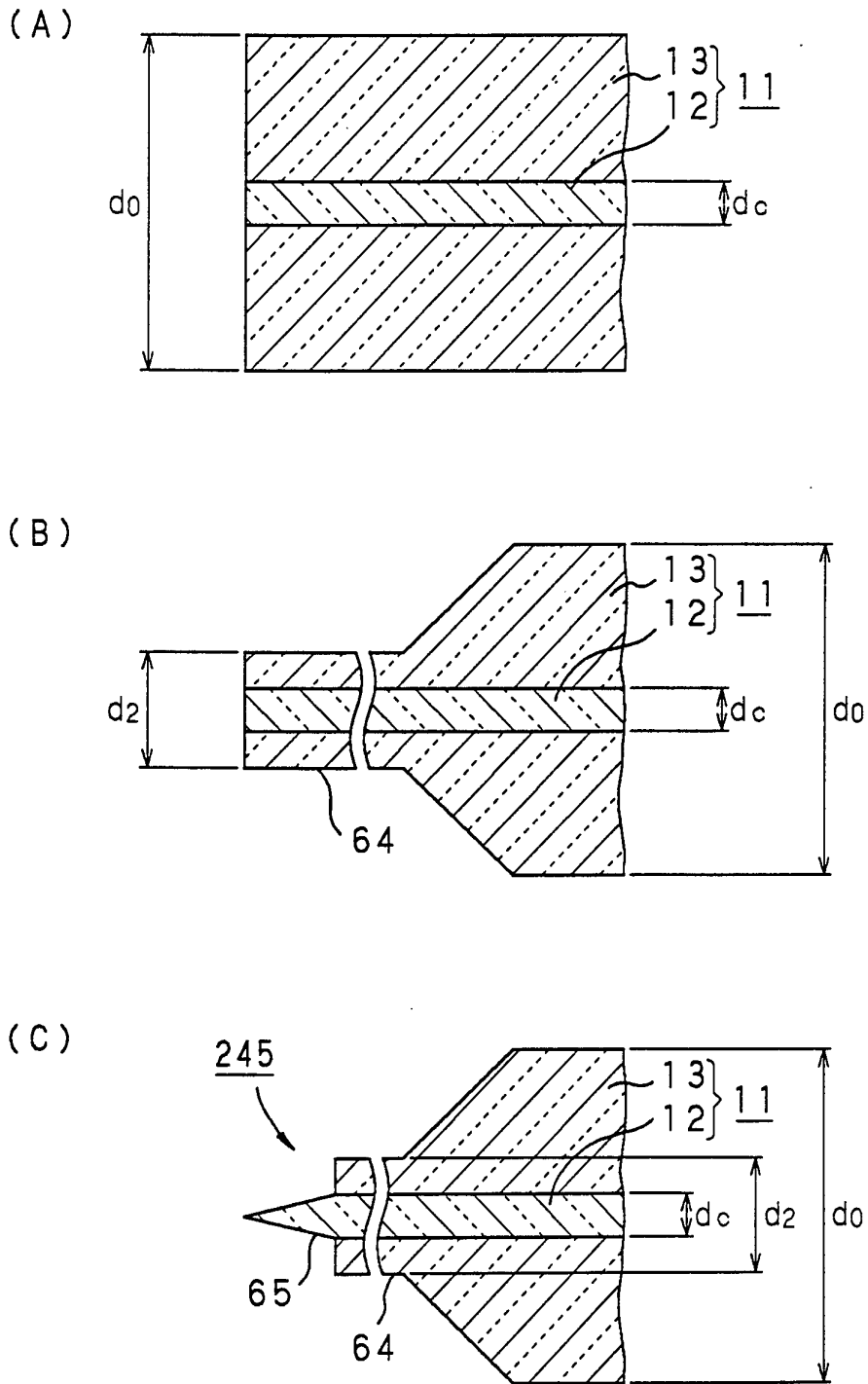


FIG. 53

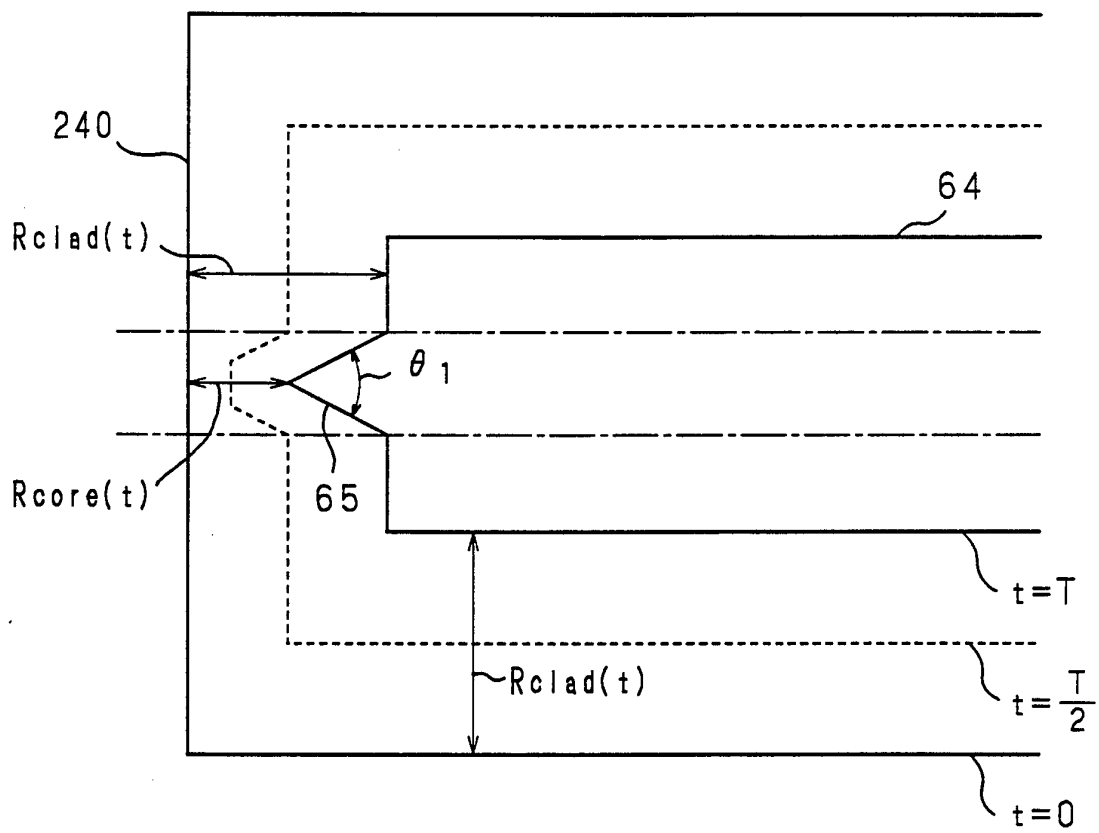


FIG. 54

49/75

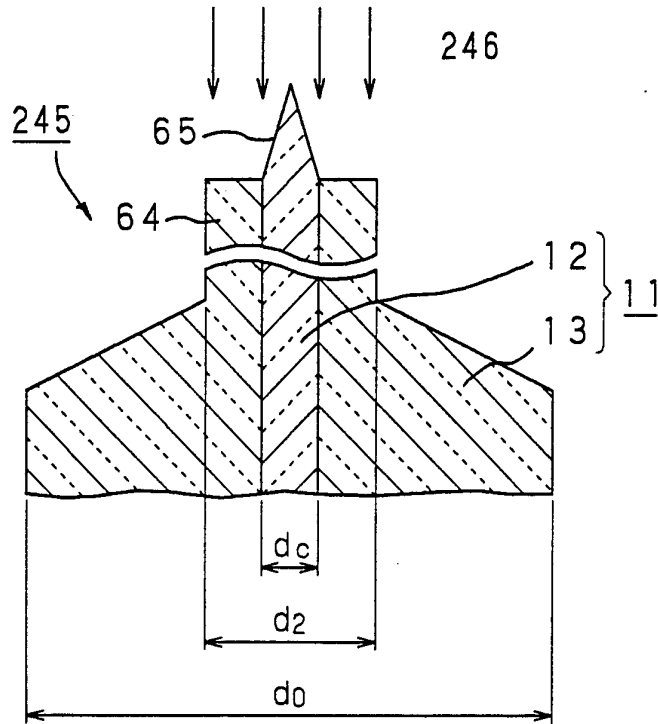


FIG. 55

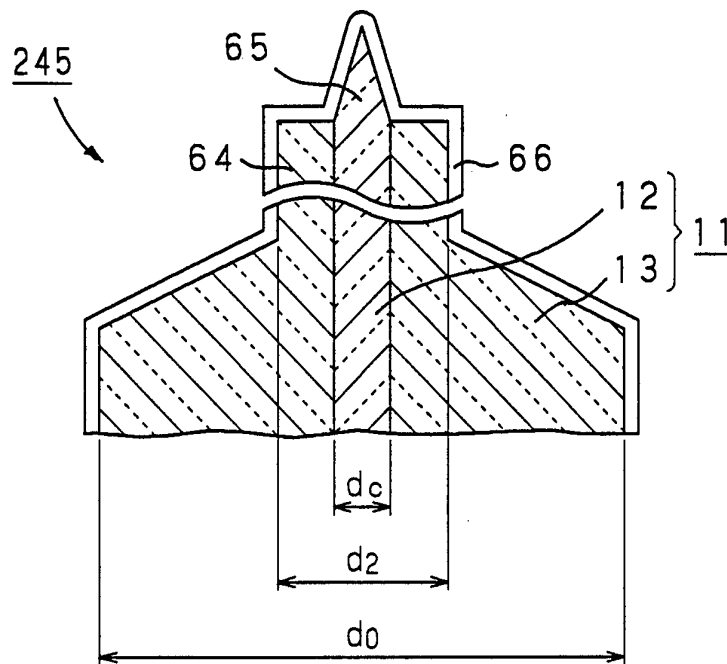


FIG. 56

50/75

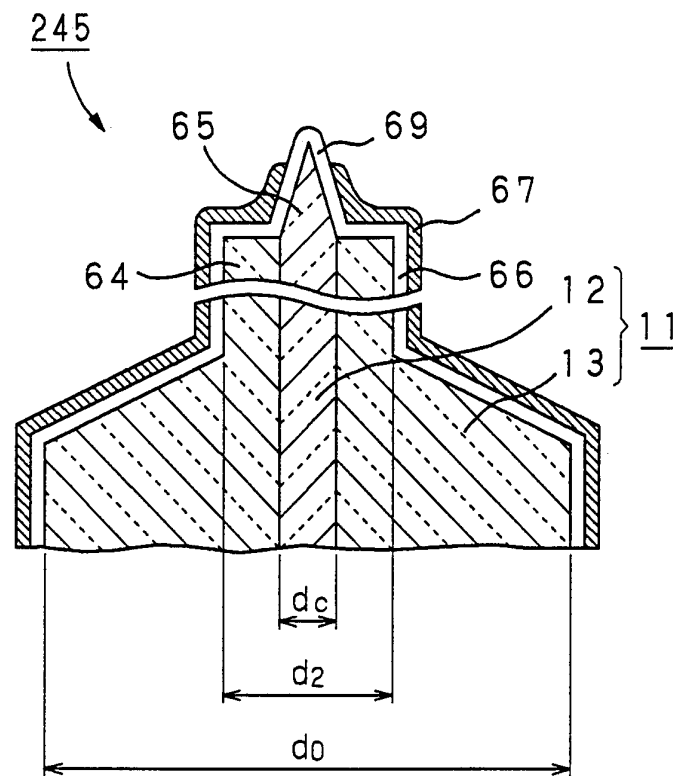


FIG. 57

51/75

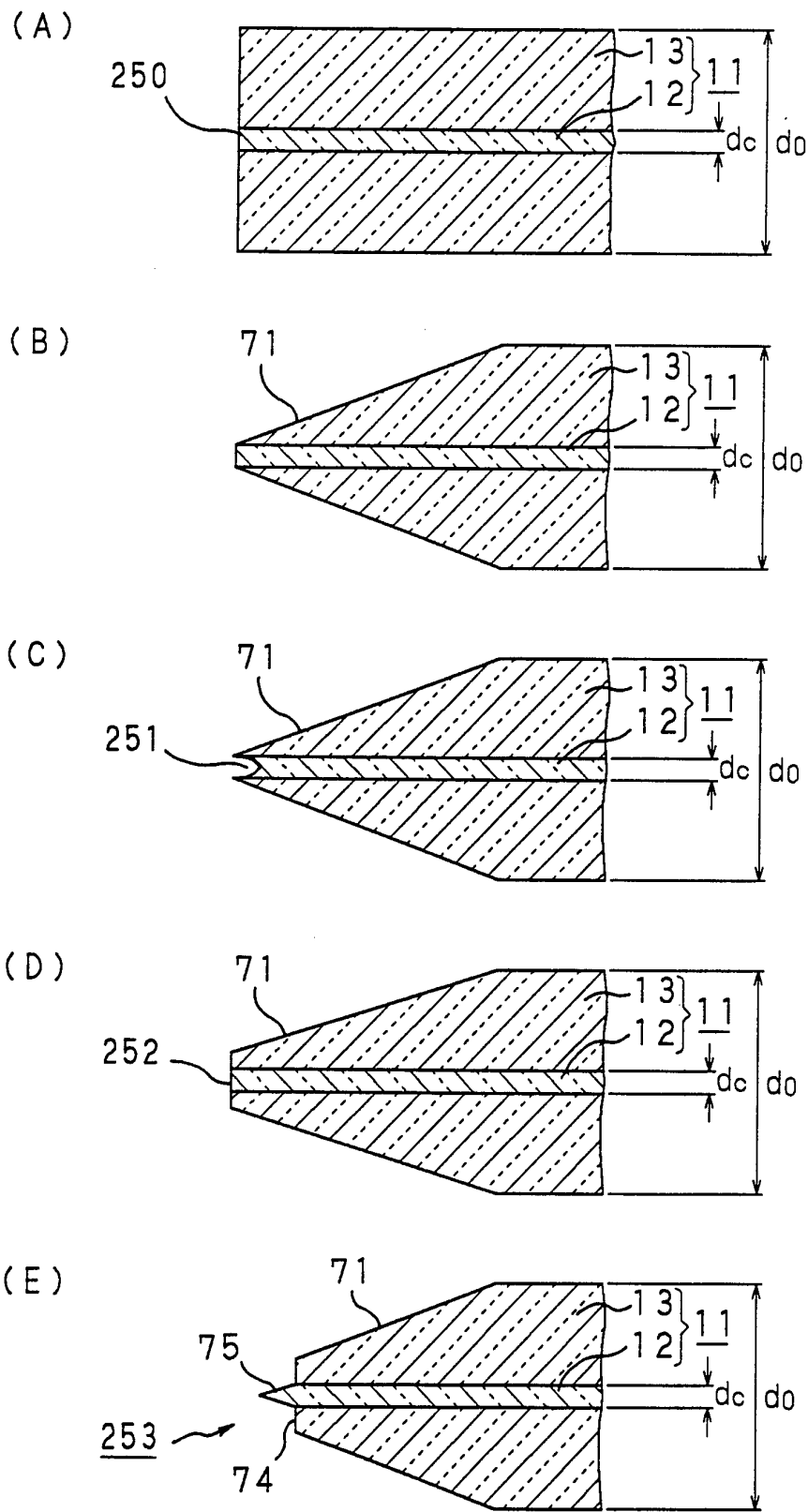


FIG. 58

52/75

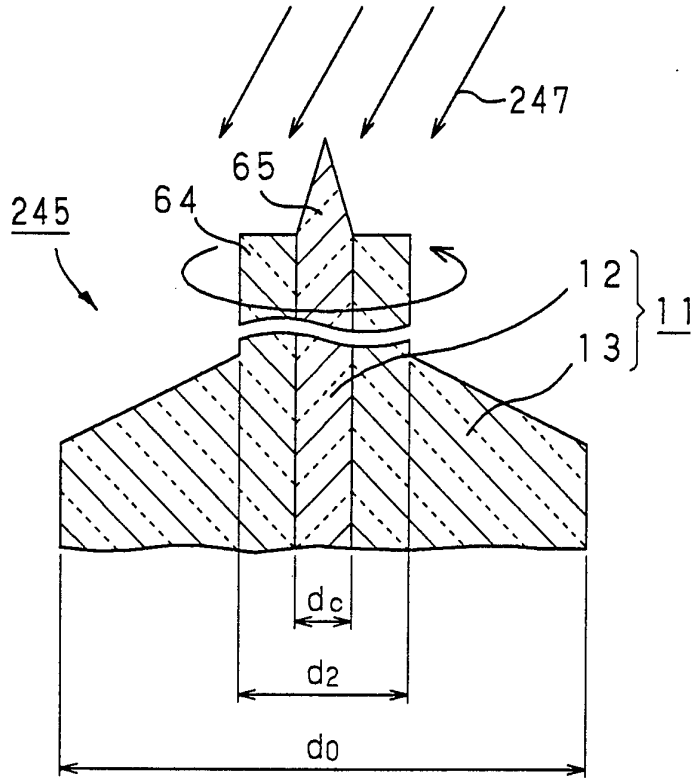


FIG. 59

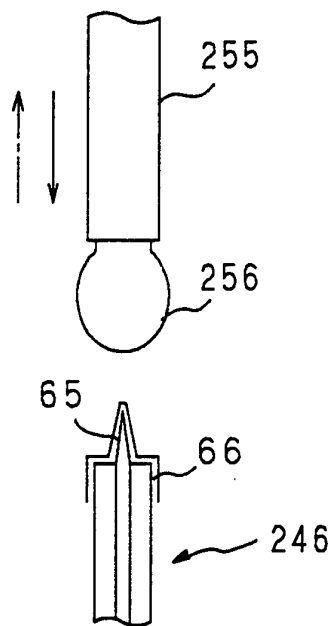


FIG. 60

53/75

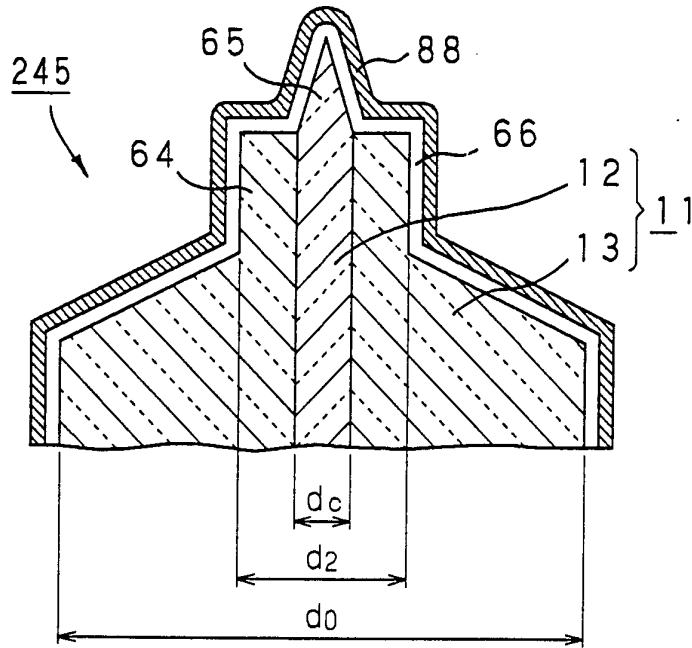
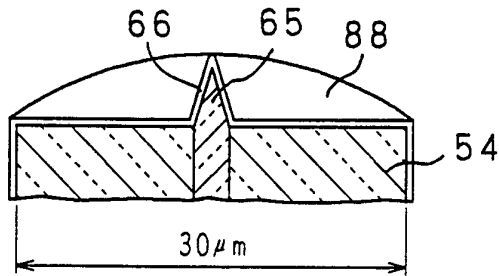
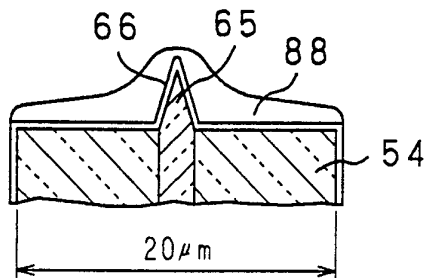


FIG. 61

(A)



(B)



(C)

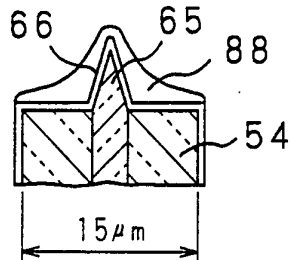


FIG. 62

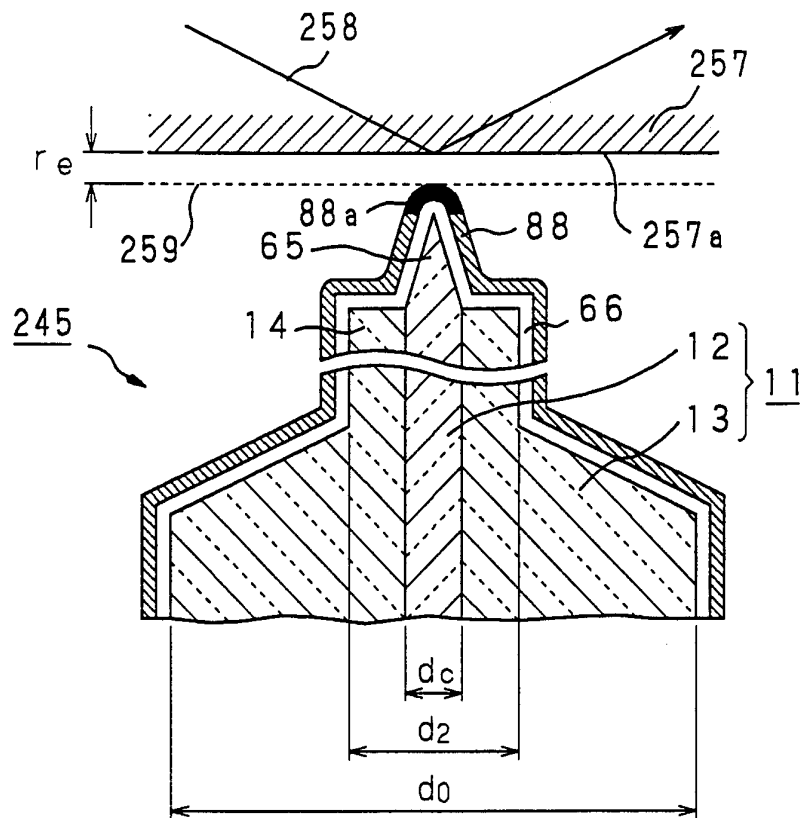


FIG. 63

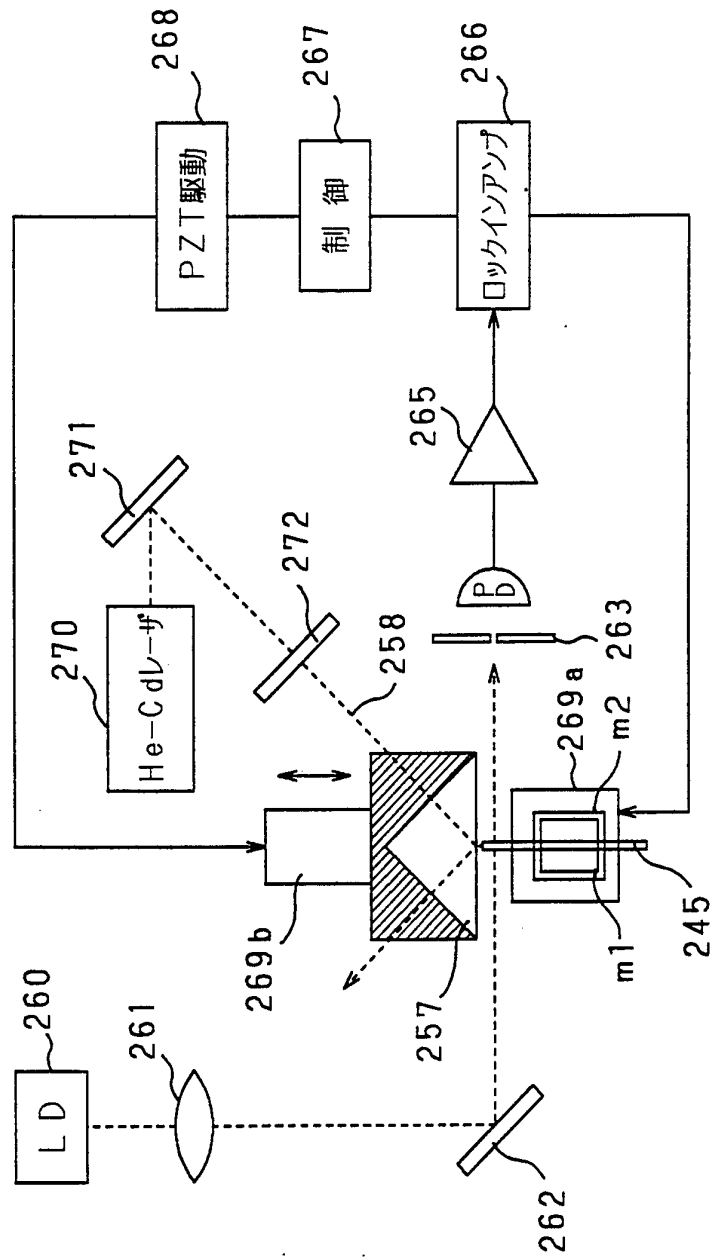


FIG. 64

56/75

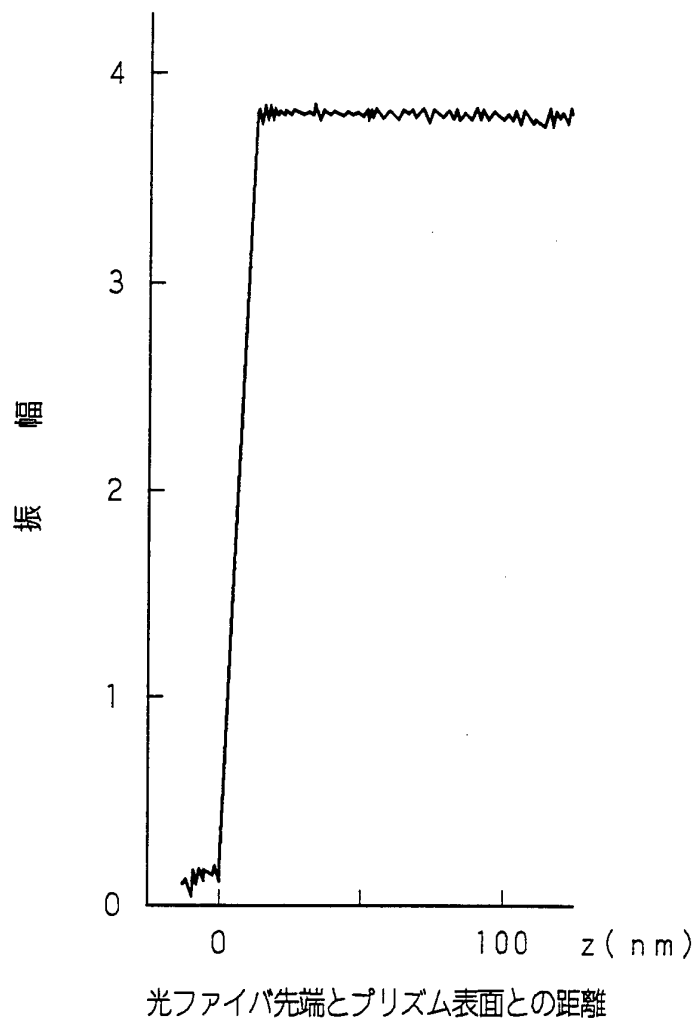


FIG. 65

57/75

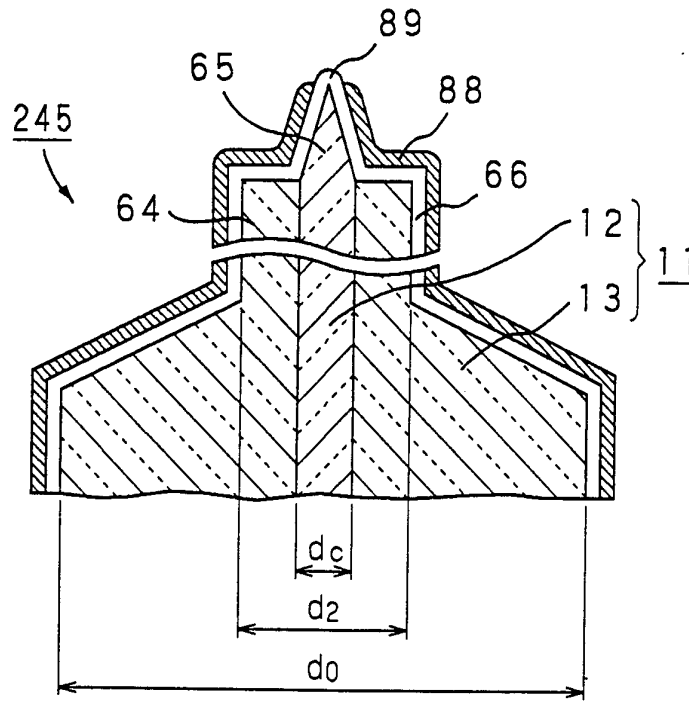


FIG. 66

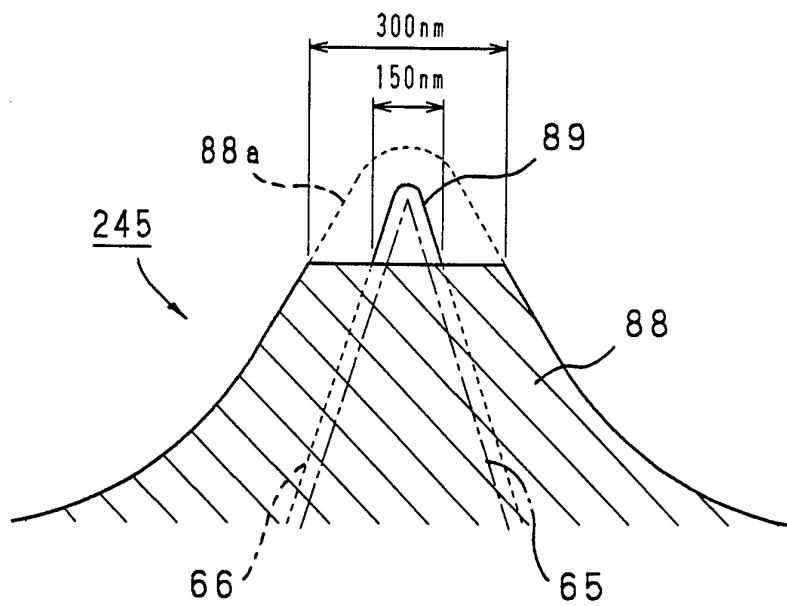


FIG. 67

58/75

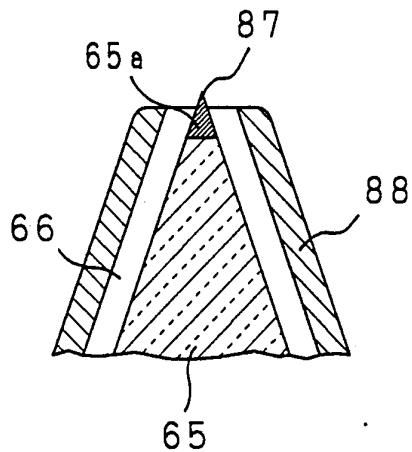


FIG. 68

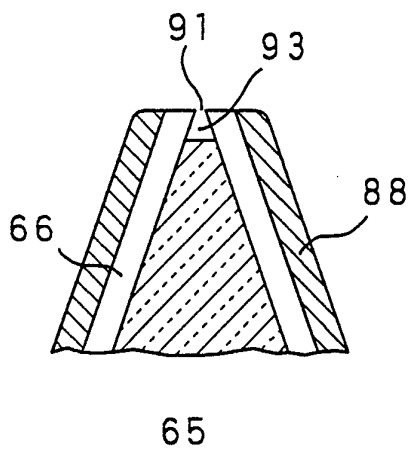


FIG. 69

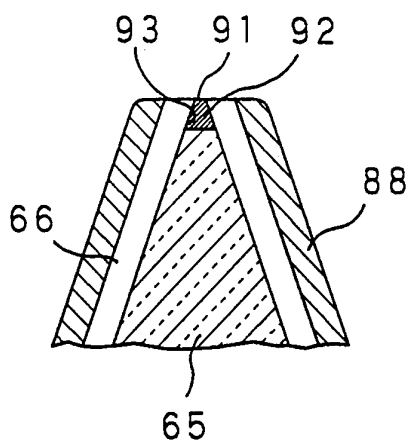


FIG. 70

59/75

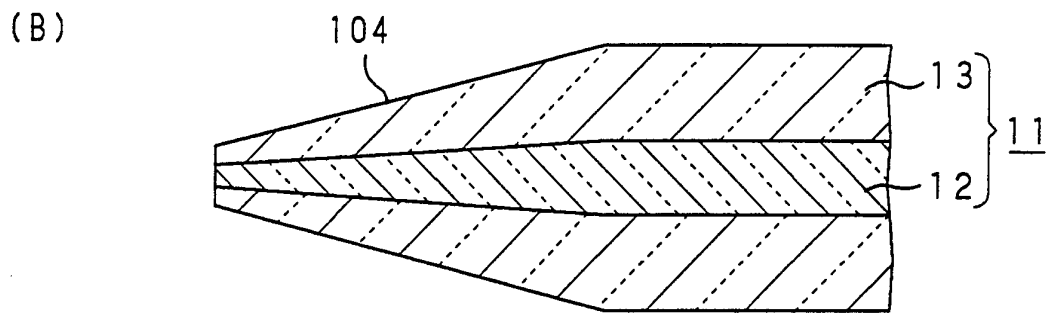
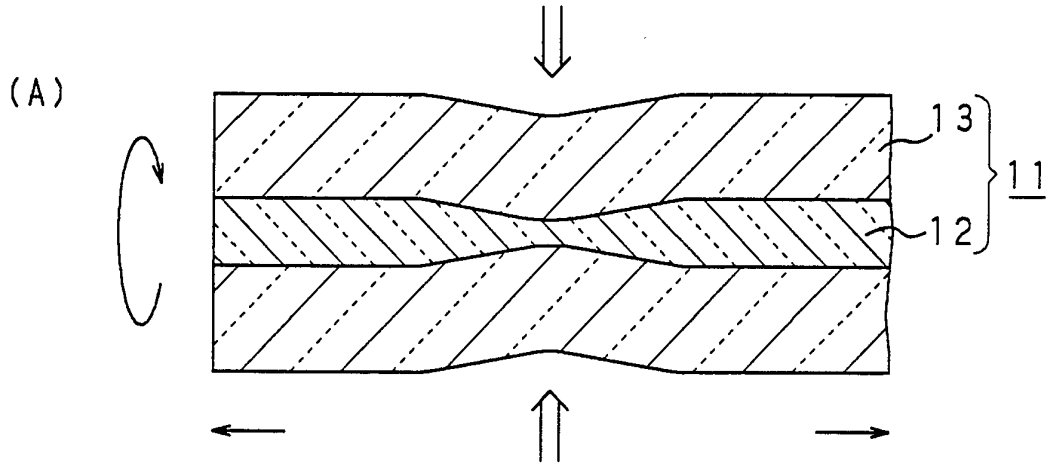


FIG. 71

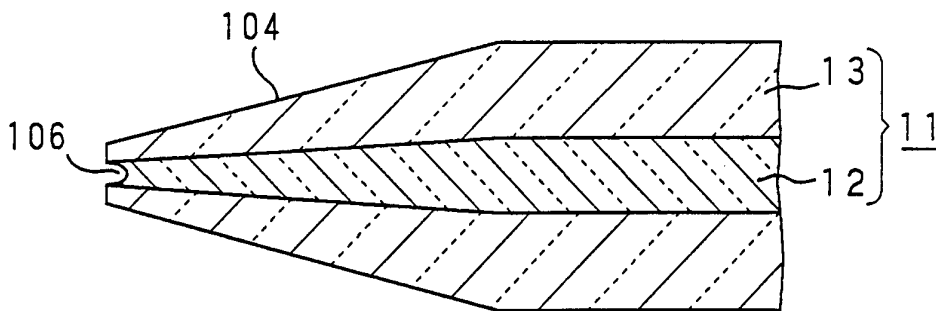


FIG. 72

60/75

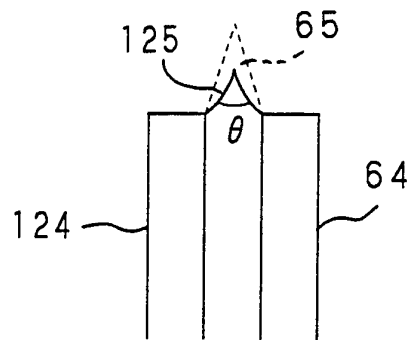


FIG. 73

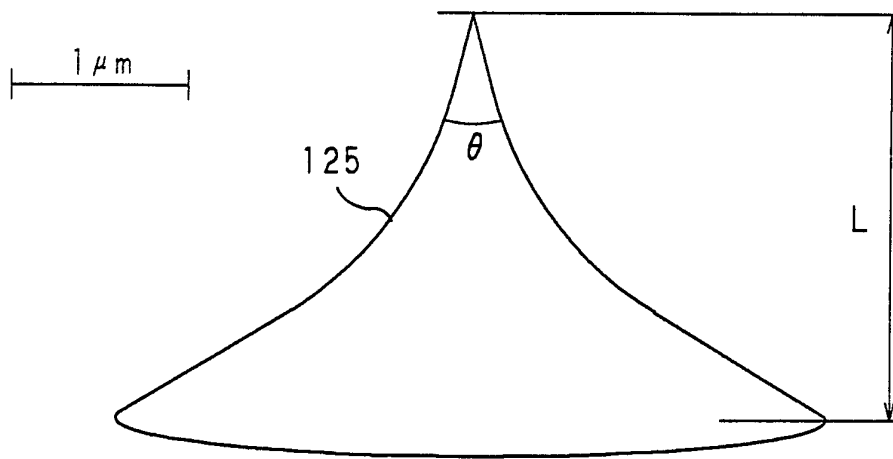


FIG. 74

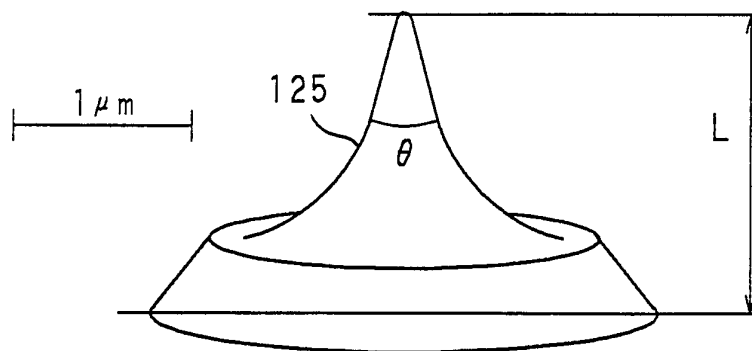


FIG. 75

61/75

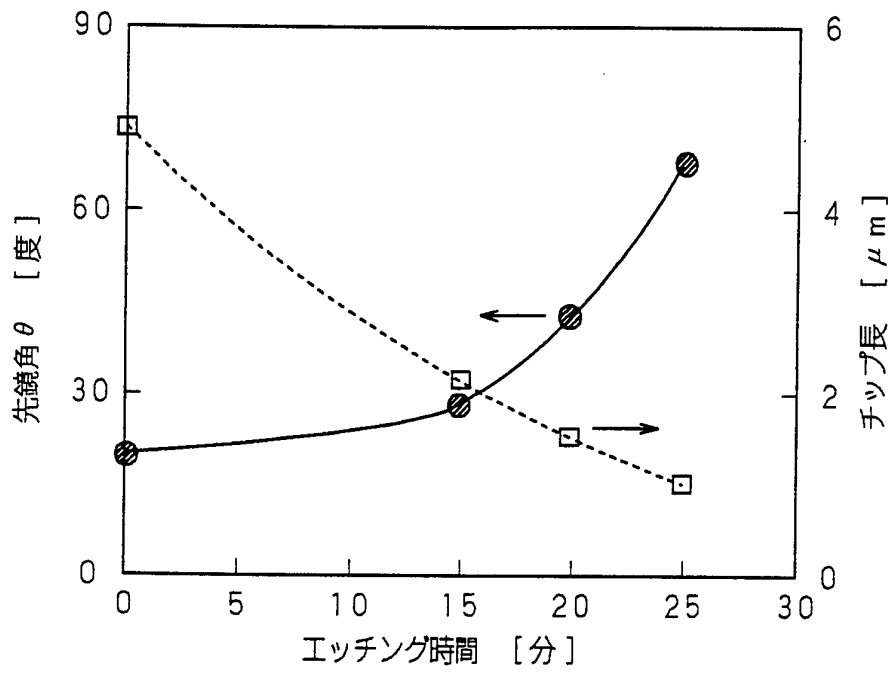


FIG. 76

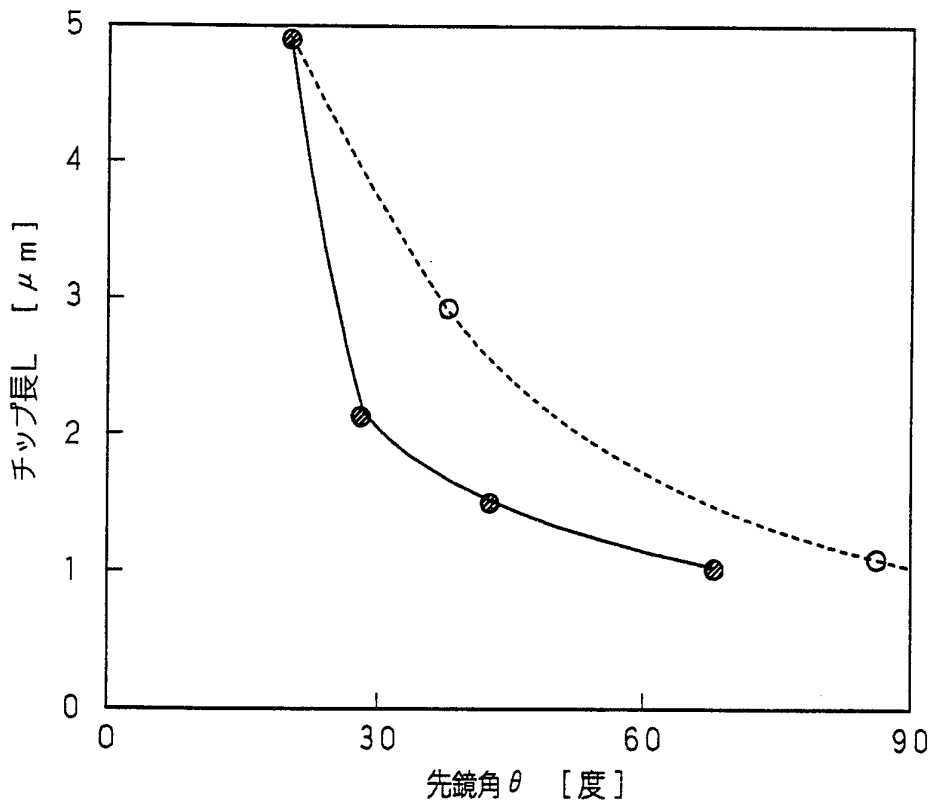


FIG. 77

62/75

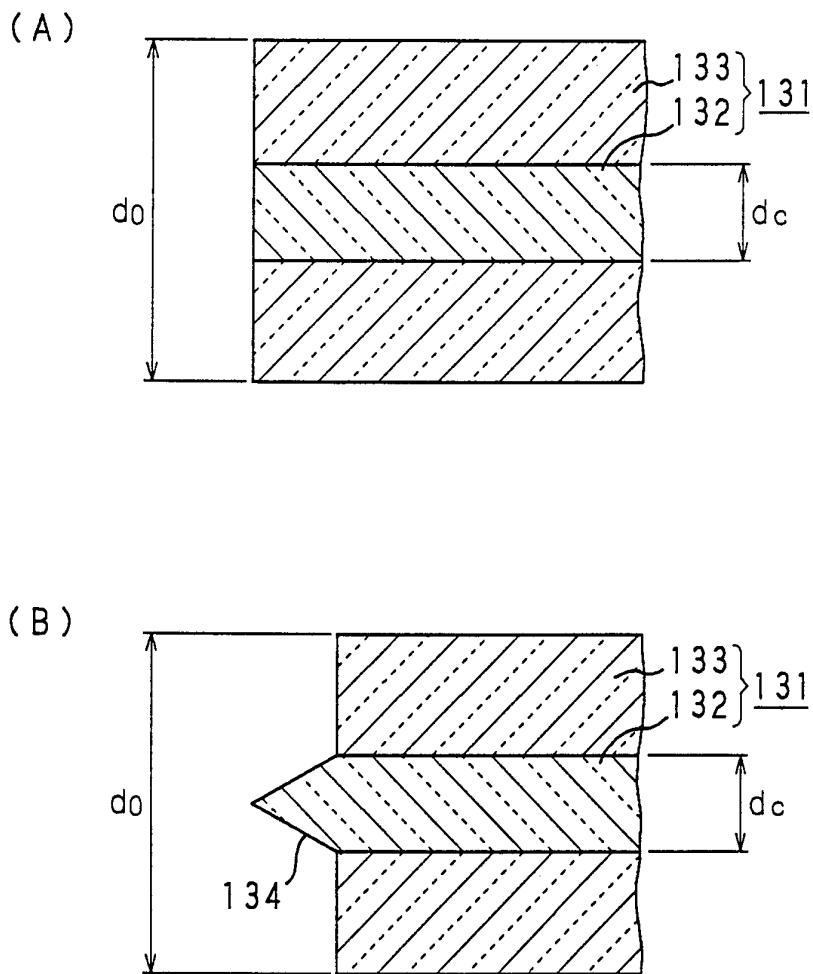


FIG. 78

63/75

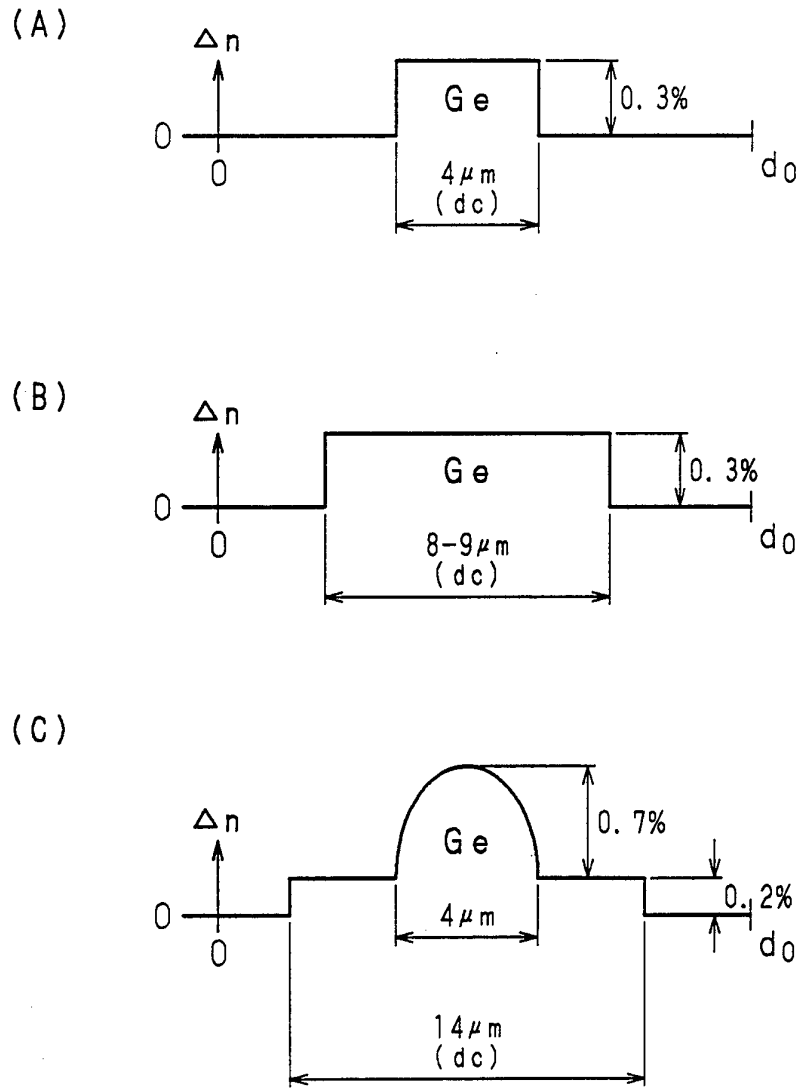


FIG. 79

64/75

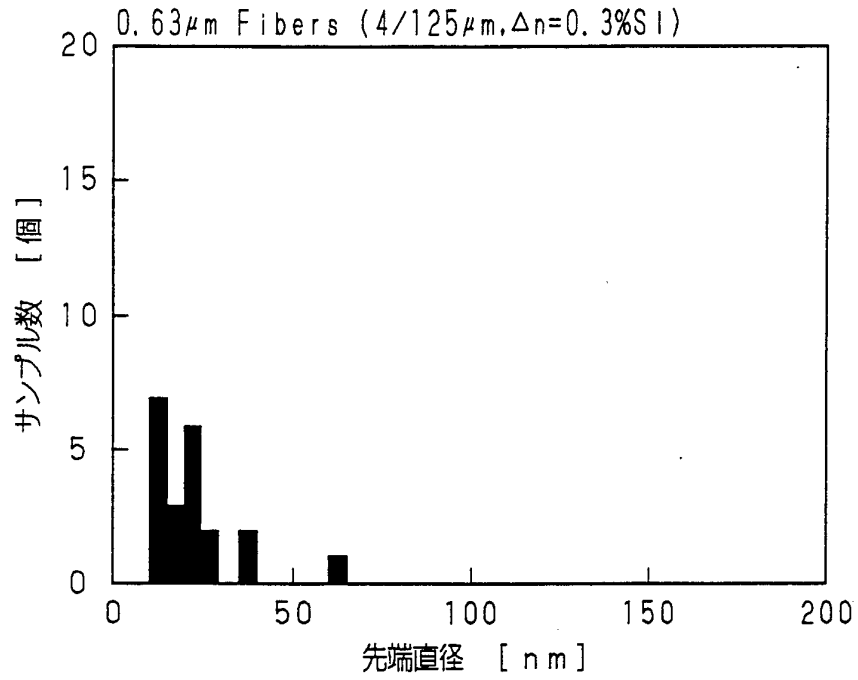


FIG. 80

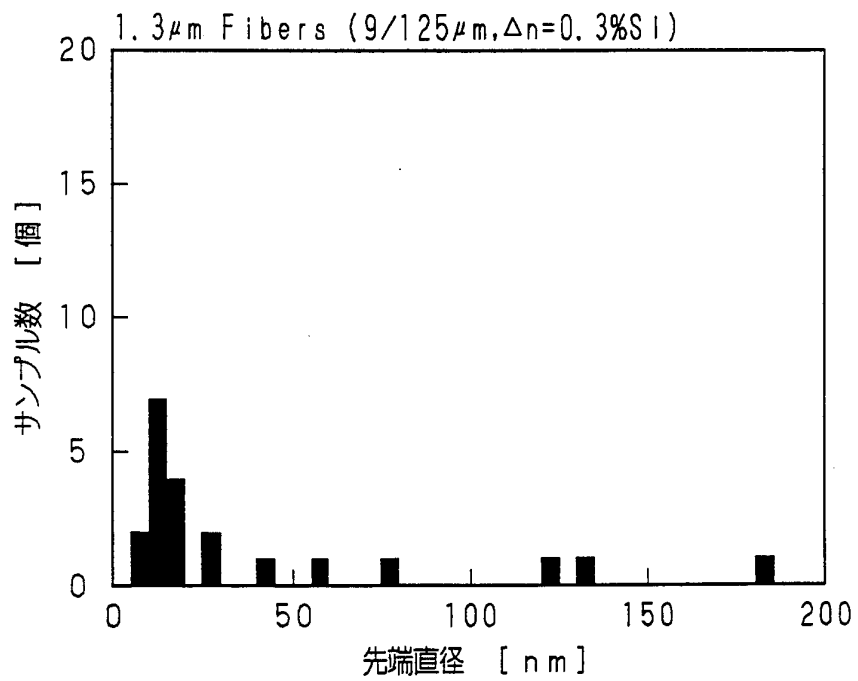


FIG. 81

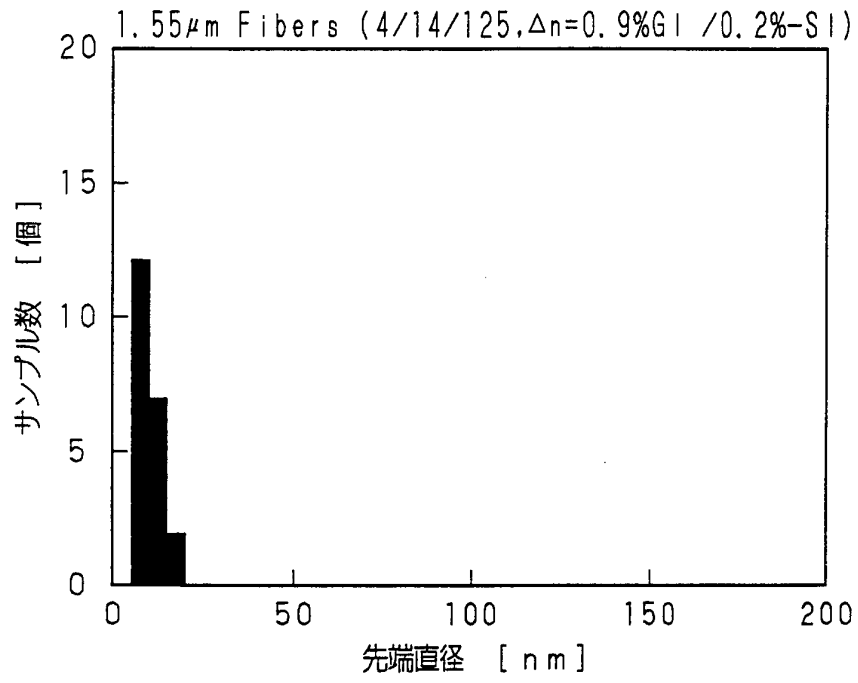


FIG. 82

66/75

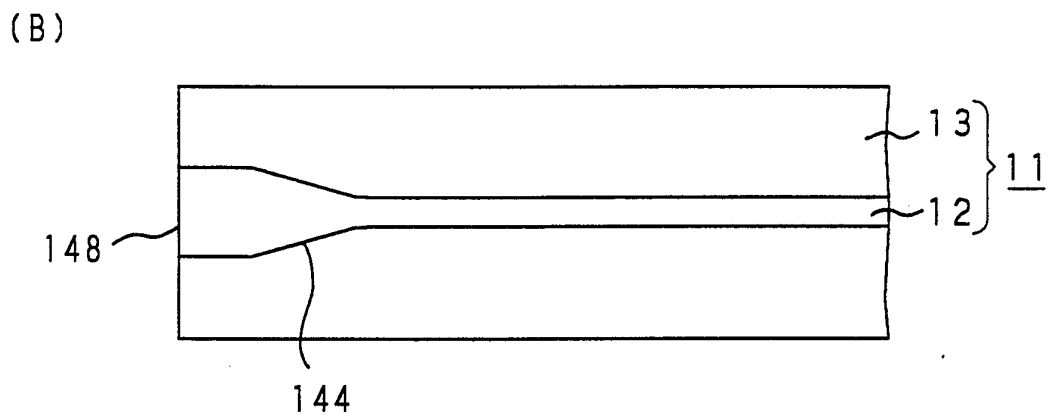
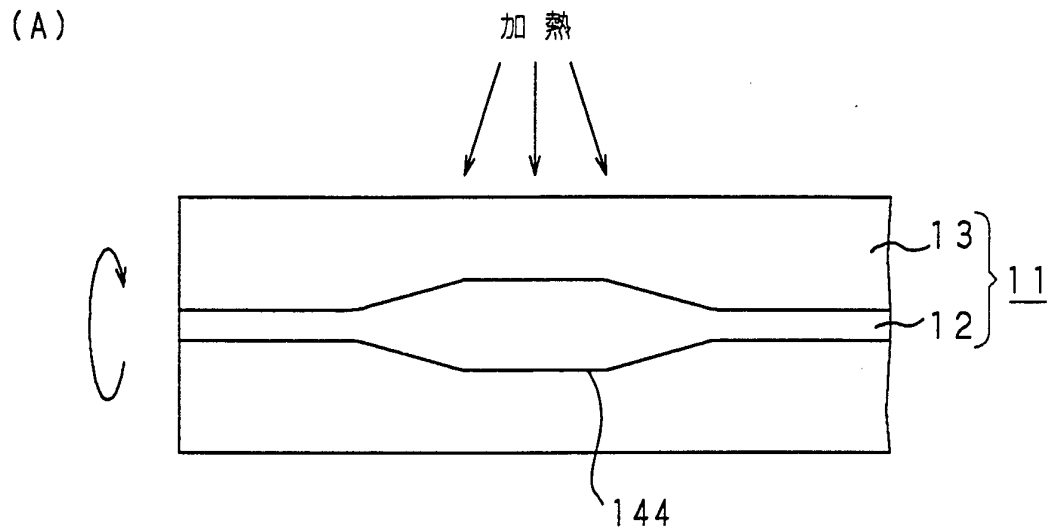


FIG. 83

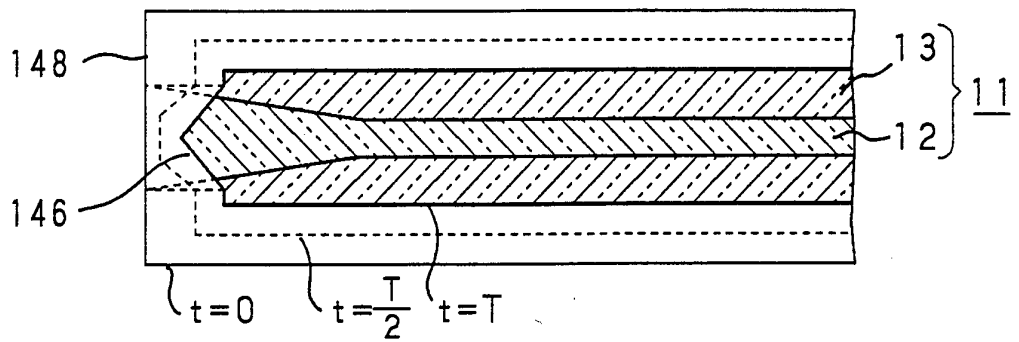


FIG. 84

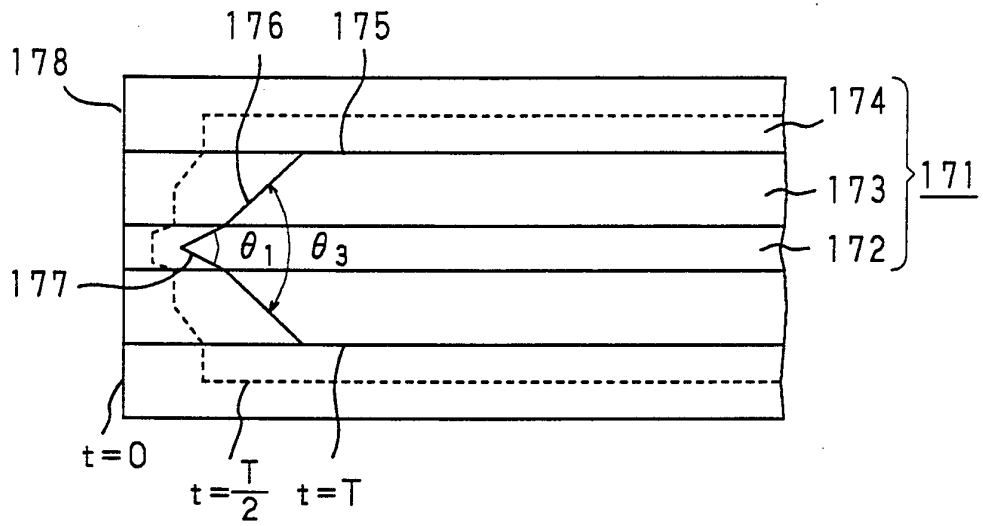
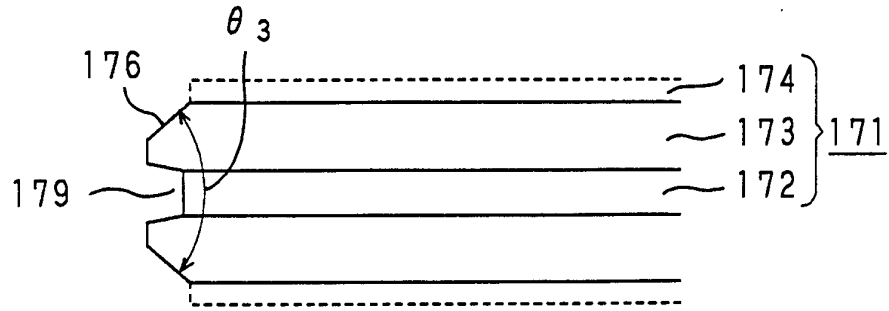
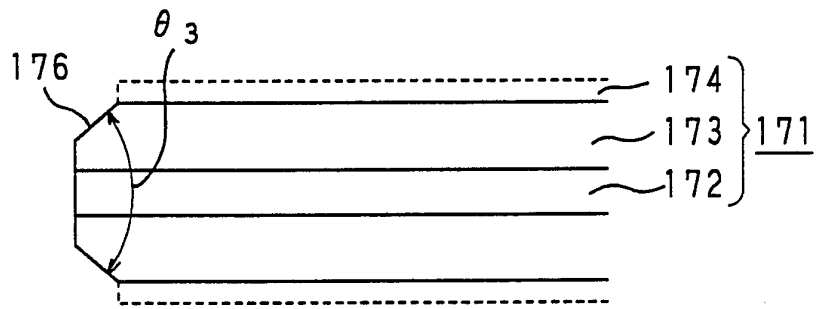


FIG. 85

(A)



(B)



(C)

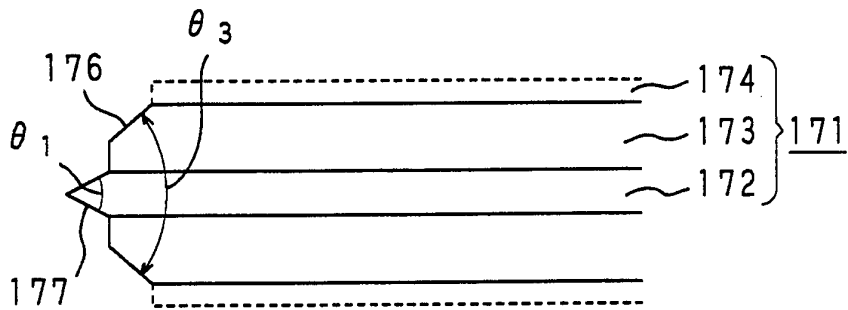


FIG. 86

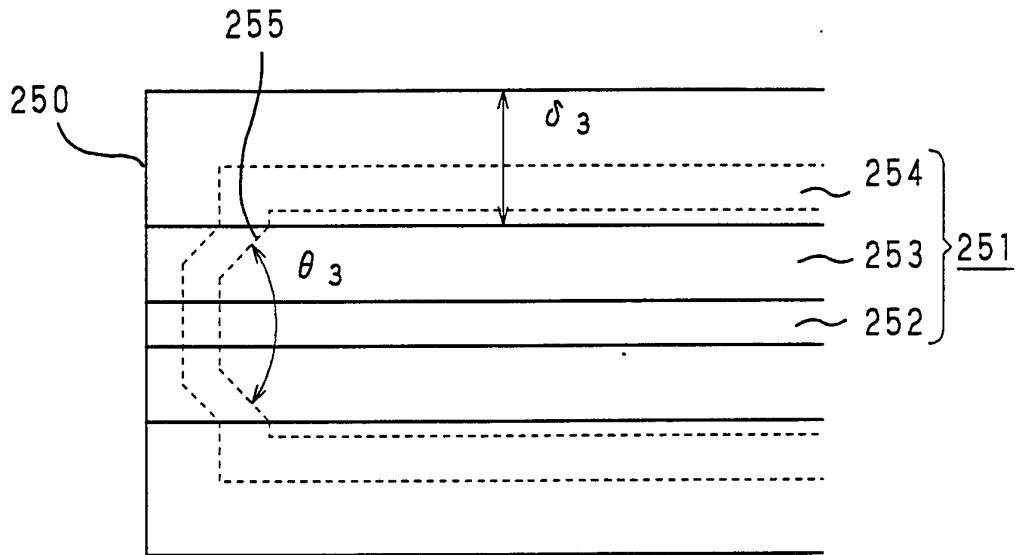


FIG. 87

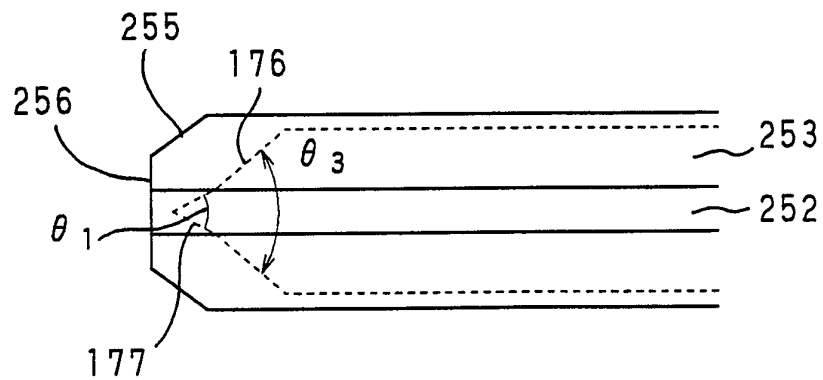


FIG. 88

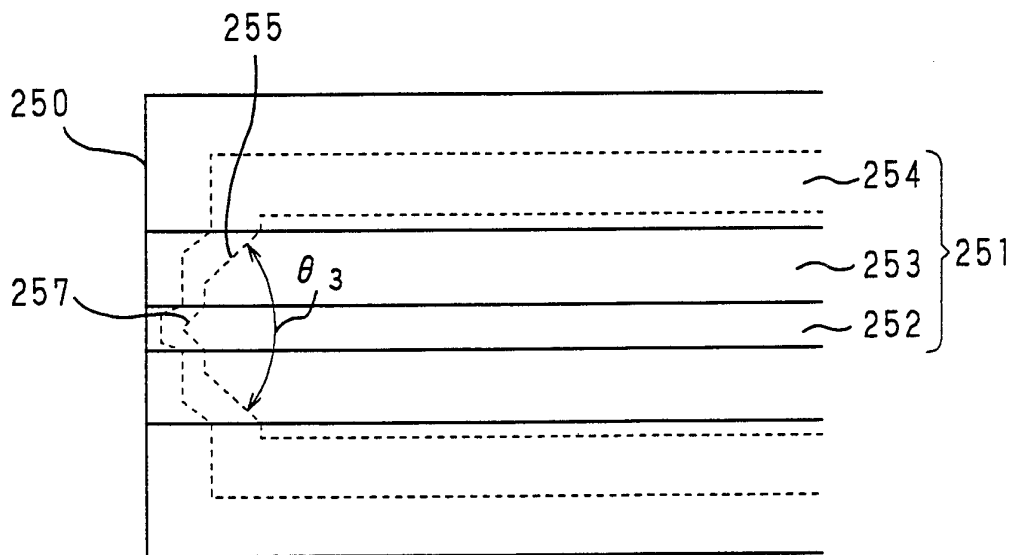


FIG. 89

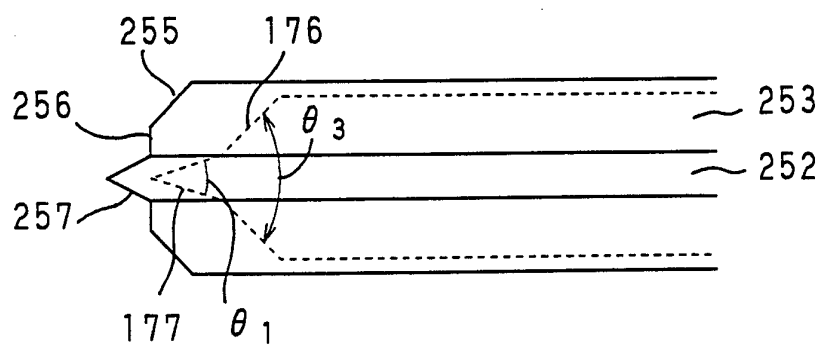


FIG. 90

71/75

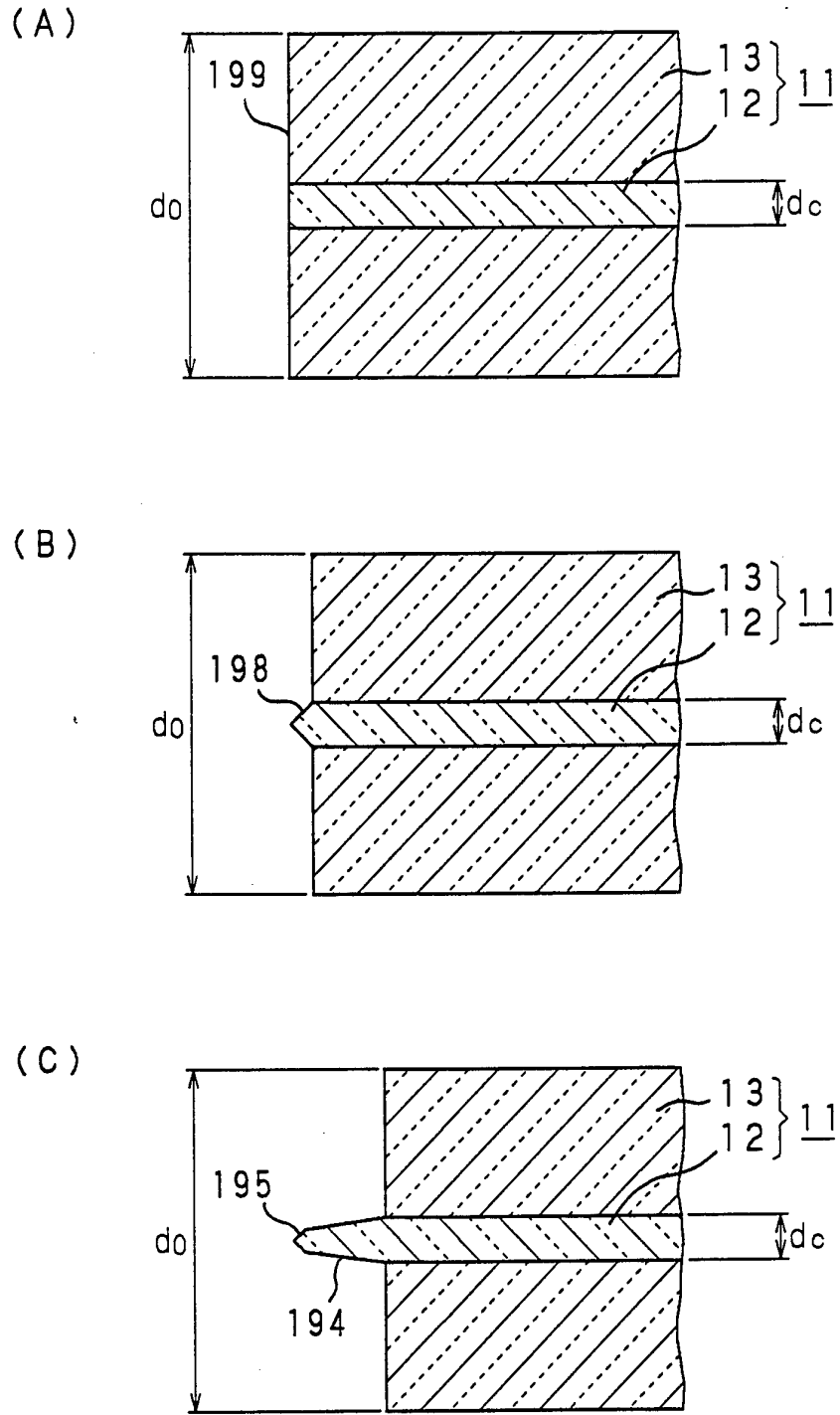


FIG. 91

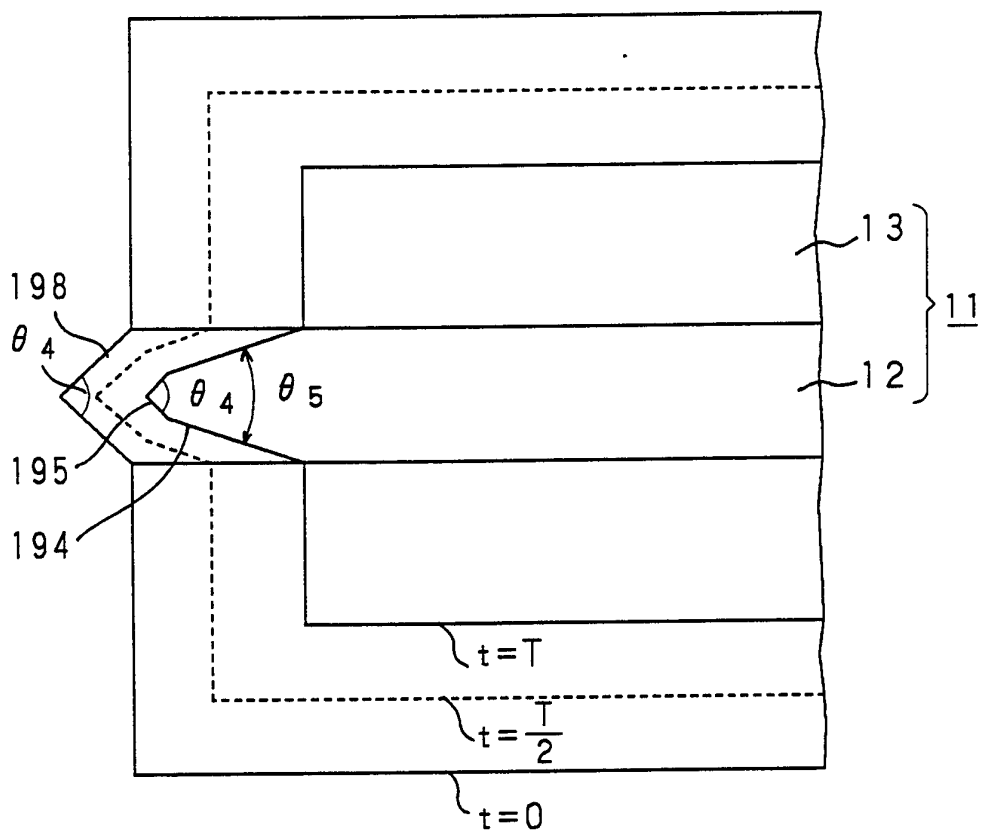


FIG. 92

73/75

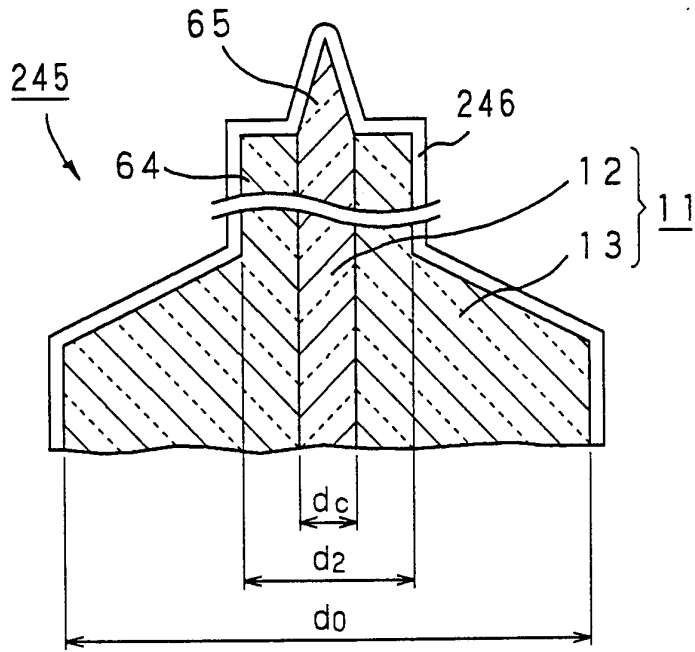


FIG. 93

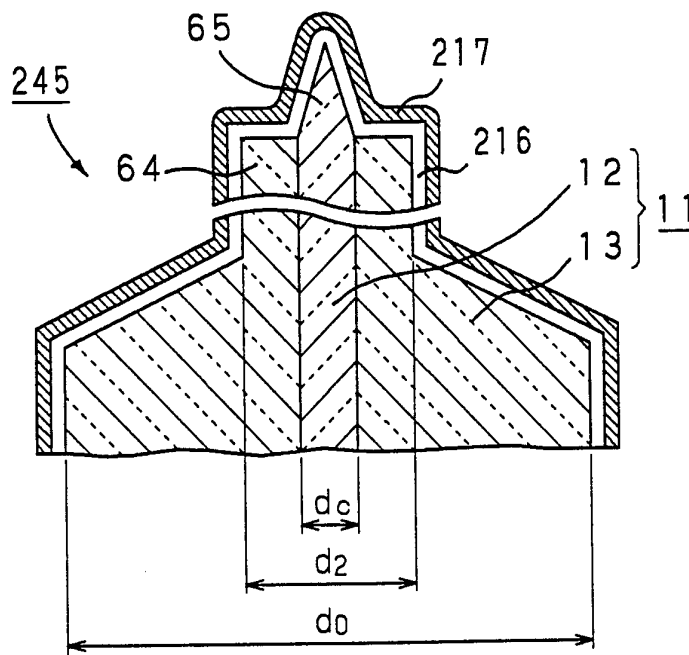


FIG. 94

74/75

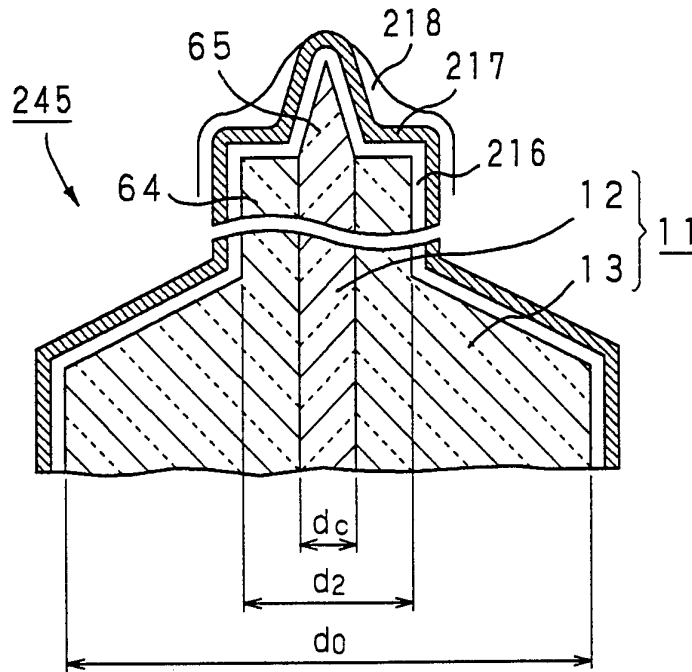


FIG. 95

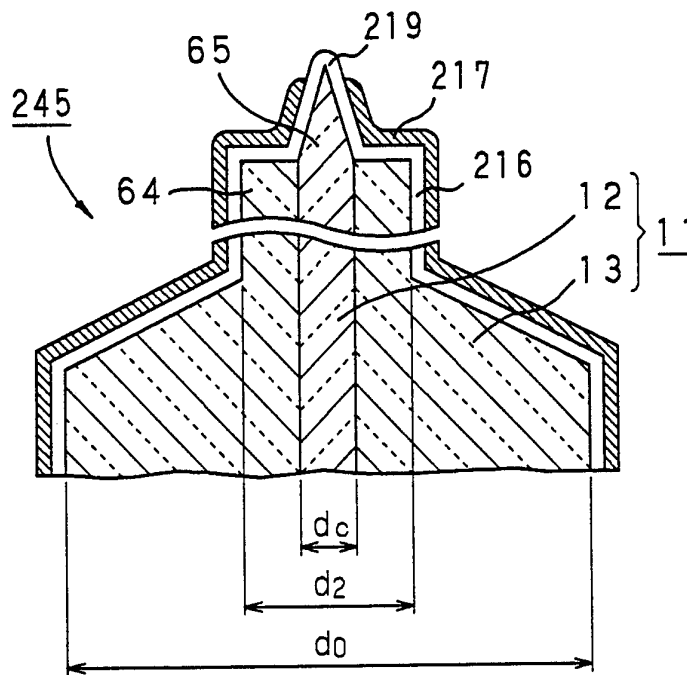


FIG. 96

75/75

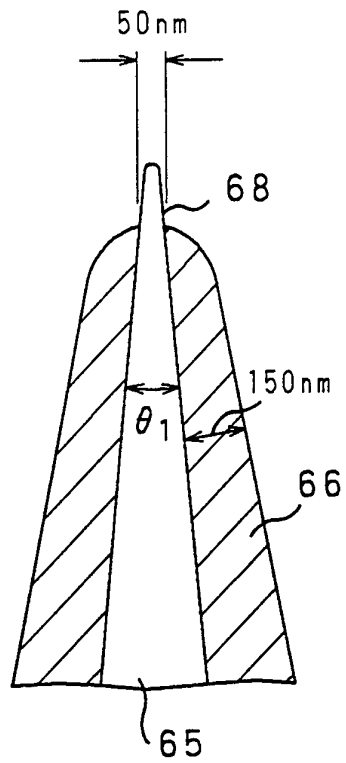


FIG. 97

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP95/01068

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl⁶ G01N37/00, G02B6/10

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. Cl⁶ G01N37/00, G02B6/10, G01N21/00-21/83

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926 - 1995
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971 - 1995

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.
X	JP, 3-91710, A (Research Development Corporation of Japan), April 17, 1991 (17. 04. 91), Lines 5 to 15, lower left column, page 1, Fig. 2	1
A	Line 13, lower right column, page 3 to line 12, upper left column, page 4 (Family: none)	28 - 64
A	EP, 593835, A1 (International Business Machines Corporation), April 27, 1994 (27. 04. 94), Lines 19 to 25, page 6 & JP, 7-140155, A	1 - 27
A	JP, 2-183145, A (Terumo Corp.), July 17, 1990 (17. 07. 90), Line 5, lower left column to line 1, lower right column, page 1, line 13, upper left column to line 18, lower right column, page 4, Figs. 1 to 4 (Family: none)	12-14, 20, 21, 47, 48
A	JP, 5-10887, A (Puritan-Bennett Corp.),	12-14, 20, 21,

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
August 16, 1995 (16. 08. 95)

Date of mailing of the international search report
September 5, 1995 (05. 09. 95)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office
Facsimile No.

Authorized officer
Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP95/01068

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	January 19, 1993 (19. 01. 93), Line 18, column 5 to line 9, column 6, line 31, column 9 to line 43, column 11, Fig. 2 & EP, 481740, A2 & US, 5277872, A & US, 5378432, A	47, 48
A	Applied Physics Letters, Vol. 49, No. 11, (1986), A. Harootunian et al. "Super-resolution fluorescence near-field scanning optical microscopy", p. 674-676	49, 50
A	Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 31, Part 2, No. 9A, (1992), p. 1302-1304	28 - 64

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. G01N37/00, G02B6/10

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. G01N37/00, G02B6/10,
G01N21/00-21/83

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 1926-1995年
日本国公開実用新案公報 1971-1995年

国際調査で使用了電子データベース (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
X A	JP, 3-91710, A (新技術事業団), 17. 4月. 1991 (17. 04. 91), 第1頁左下欄第5-15行, 第2図 第3頁右下欄第13行-第4頁左上欄第1.2行 (ファミリーなし)	1 28-64
A	EP, 593835, A1 (International Business Machines Corporation), 27. 4月. 1994 (27. 04. 94),	1-27

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. 08. 95

国際調査報告の発送日

05.09.95

名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100
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)

河原英雄

2 J 8 5 0 6

電話番号 03-3581-1101 内線 3251

C (続き). 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
	第6頁第19-25行 & JP, 7-140155, A	
A	JP, 2-183145, A (テルモ株式会社), 17. 7月. 1990 (17. 07. 90), 第1頁左下欄第5行-同頁右下欄第1行, 第4頁左上欄 第13行-同頁右下欄第18行, 第1-4図 (ファミリーなし)	12-14, 20, 21, 47, 48
A	JP, 5-10887, A (ビューリタン-ベネット コーポレイ ション), 19. 1月. 1993 (19. 01. 93), 第5欄第18行-第6欄第9行, 第9欄第31行-第11欄 第43行, 図2 & EP, 481740, A2 & US, 5277872, A & US, 5378432, A	12-14, 20, 21, 47, 48
A	Applied Physics Letters, 第49巻, 第11号, (1986), A. Harootunian et al 「Super -resolution fluorescence near-field scanning optical microscopy」, p.674-676 特に p.674 左欄第31-43行	49, 50
A	Japanese Journal of Applied Physics, 第31巻, Part 2, No 9A, (1992), p.1302-1304	28-64