

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4097763号
(P4097763)

(45) 発行日 平成20年6月11日 (2008. 6. 11)

(24) 登録日 平成20年3月21日 (2008. 3. 21)

(51) Int. Cl.		F I	
G O 2 F	1/37	(2006. 01)	G O 2 F 1/37
G O 2 F	1/01	(2006. 01)	G O 2 F 1/01 C

請求項の数 12 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平10-72542	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成10年3月20日 (1998. 3. 20)		松下電器産業株式会社
(65) 公開番号	特開平10-325969		大阪府門真市大字門真1006番地
(43) 公開日	平成10年12月8日 (1998. 12. 8)	(74) 代理人	100092794
審査請求日	平成17年3月15日 (2005. 3. 15)		弁理士 松田 正道
(31) 優先権主張番号	特願平9-75408	(72) 発明者	峯本 尚
(32) 優先日	平成9年3月27日 (1997. 3. 27)		大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	伊藤 伸器
			大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
		(72) 発明者	石河 大典
			大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 2次の非線形光学部材、及びその製造方法、並びに光変調素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

無機ガラス材料を含む基材を分極処理して作製された2次の非線形光学部材であって、前記分極処理は、相異なる第1の方向と第2の方向から行われたものであり、前記第1及び前記第2の方向に実質上直交する第3の方向に伝搬する光に対して、前記第1の方向又は第2の方向の何れか一方のみから分極処理が行われた場合に比べて自然複屈折の発生が抑制されること、又はその発生が実質上ないことを特徴とする2次の非線形光学部材。

【請求項 2】

前記第1の方向と前記第2の方向が互いに90度±10度の範囲で実質上直交している事を特徴とする請求項1記載の2次の非線形光学部材。

【請求項 3】

前記第3の方向が前記第1の方向および前記第2の方向とそれぞれ互いに90度±10度の範囲で実質上直交している事を特徴とする請求項1記載の2次の非線形光学部材。

【請求項 4】

無機ガラス材料を含む基材に対して、互いに異なる第1の方向及び第2の方向から所定の電界を印加して分極処理を施す2次の非線形光学部材の製造方法であって、

前記分極処理は、前記第1および前記第2の方向に実質上垂直な第3の方向に伝搬する光に対して、前記第1の方向又は第2の方向の何れか一方のみから分極処理が行われた場合に比べて自然複屈折の発生を抑制又はその発生を実質上なくす様に行う事を特徴とする2次の非線形光学部材の製造方法。

10

20

【請求項 5】

前記分極処理は、前記基材を通過した光の偏光状態を観測しながら行う事の特徴とする請求項 4 記載の 2 次の非線形光学部材の製造方法。

【請求項 6】

少なくとも 2 次の非線形光学部材と、前記 2 次の非線形光学部材に電界を印加するための電極とを含む電気光学素子を備えた光変調素子であって、
前記 2 次の非線形光学部材が請求項 1 記載の 2 次の非線形光学部材である事の特徴とする光変調素子。

【請求項 7】

少なくとも偏光子と、検光子と、電気光学素子とを備えた光変調素子であって、
前記電気光学素子が請求項 1 記載の 2 次の非線形光学部材を含むものである事の特徴とする光変調素子。

10

【請求項 8】

少なくともミラーと、電気光学素子とを備えた光変調素子であって、
前記電気光学素子が請求項 1 記載の 2 次の非線形光学部材を含むものである事の特徴とする光変調素子。

【請求項 9】

前記電気光学素子は、光透過方向に対して実質上直交する相異なる 2 方向から同時に変調電圧が印加されるものである事の特徴とする請求項 8 記載の光変調素子。

【請求項 10】

20

光ファイバと、
前記光ファイバを固定するための光ファイバ固定用溝を有する基板と、
前記光ファイバの所定の箇所に設けられた光学素子挿入用溝に取り付けられた偏光子と、
前記光学素子挿入用溝に取り付けられた検光子と、
前記光学素子挿入用溝に取り付けられた電気光学素子とを備えた光変調素子であって、
前記電気光学素子が請求項 1 記載の 2 次の非線形光学部材からなる事の特徴とする光変調素子。

【請求項 11】

前記光ファイバが所定の形状に曲げられている事の特徴とする請求項 10 記載の光変調素子。

30

【請求項 12】

前記所定の形状が底面がフラット形状の U 字型光ファイバである事の特徴とする請求項 11 記載の光変調素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば、2 次の非線形光学効果を有する光透過方向にほとんど複屈折を示さない非線形光学部材とその製造方法、および前記非線形光学部材を電気光学素子として用いた光変調素子に関する。

【0002】

40

【従来の技術】

従来、光変調素子に用いられる 2 次の非線形光学材料としては LiNbO_3 (LN) や $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) や $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO) そして $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ などの光学結晶が知られていた。また、大越孝敬編著「光ファイバセンサ」オーム社 (1986 年) pp149-153 に示されるように、これらの非線形光学材料を用いた光変調素子が通信用光変調素子や高電圧測定用の光ファイバセンサとして開発されてきた。

【0003】

また、近年光ファイバセンサに使用する光学素子削減のためレンズやミラーを省略し、光ファイバからなる光路途中に磁気光学素子または電気光学素子を組み込んだ光ファイバセンサが検討されてきた (例えば特開平 5-297086、特開平 6-74979、特開平

50

8-219825等)。

【0004】

更にまた、ごく最近、光ファイバを分極処理する事により2次の非線形光学効果が発現する事が明らかになり、光ファイバを用いた光変調素子が作製されるようになって来ている(例えばA.C.Liu 他:Opt. Lett. Vol.19 pp.466-468 (1994)、T. Fujiwara他:IEE Photonics Lett. Vol.7 PP.1177-1179(1995)、特開平9-230293など)。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の様に、例えば大きな自然複屈折を持つLNを用いた光変調素子(光ファイバセンサも含む)では、特開平3-44562号公報や大越孝敬 編著「光ファイバセンサ」オーム社(1986年)pp153に示すように、約0.1~0.2度以下の軸ずれ角にする必要があった。これは光の入射角がずれると以下の2つの問題が発生するためである。

【0006】

(1)入射光が結晶主軸からずれる事により発生する自然複屈折が電気光学効果により発生する複屈折より大きくなり、その結果変調度が設計値から大きく変化する。

【0007】

(2)自然複屈折や非線形光学定数(電気光学定数)の温度変化のため、変調度の温度特性が非常に大きくなる。

【0008】

これらの問題を解決するため、自然複屈折のない結晶を用いる方法が考えられる。自然複屈折のない非線形光学材料(結晶)としてはBGO、BSO、そしてBi₄Ge₃O₁₂等が知られている。

【0009】

しかし、BGOやBSOは旋光性(光の偏光面が結晶長に比例して回転する効果)のため結晶長を長くできず、光の変調度を任意に設定できなかったり、変調度を十分大きくできないという課題があった(例えば大越孝敬 編著「光ファイバセンサ」オーム社(1986年)pp.152-153)。又、Bi₄Ge₃O₁₂は高温でDCドリフトが存在するため、光変調素子として安定した温度特性を実現できないという課題があった(例えばO.Kamada, Appl.Phys. Vol.32(1993)pp.4288-4291)。

【0010】

又、従来の様に、光ファイバの途中に通常の電気光学素子を配置した光ファイバセンサに於いては、レンズが省略されており、軸ずれ角の許容範囲の小さなLNを電気光学素子として用いた場合、大きな温度特性が発生するという課題があった。また、液晶を用いた場合は、応答速度が非常に遅く電圧値の急速な変化が測定できなかつたり、低温で液晶が固体化し使用出来なくなるなどの課題があった。

【0011】

更に又、光ファイバの一部を従来の様に分極処理して電気光学素子として用いた場合、LN結晶を電気光学素子として用い、かつ入射光が光軸(Z軸)からずれた場合に生じるものと同様の課題が発生することを本願発明者が初めて発見した。すなわち、新たに発見された上記課題とは、光ファイバを従来の方法で分極処理する事により、非線形光学効果(電気光学効果)のみならず、屈折率の異方性(自然複屈折)が発生するため、それを光ファイバセンサとして用いた場合、目的とする光学バイアスの状態にする事が困難であるという課題である。

【0012】

尚、片方の誘電主軸の電気光学効果による屈折率変化を利用した従来の光変調器では、上記課題が発生する余地が無かったため、上記課題自体は、まったく認識されなかった。

【0013】

一方、特開平9-230293に開示されている光変調素子に於いても、電気光学効果のみしか考慮されていないため、当然のことながら自然複屈折による光学バイアスが考慮さ

10

20

30

40

50

れておらず、直線性が悪い変調素子となる。さらに上記従来例に於いては、光ファイバのクラッド部に電極挿入用孔が作製されており、この結果分極処理により発生する自然複屈折以上に、光ファイバ断面構造の異方性に起因する非常に大きな自然複屈折が発生する。この結果、この光ファイバはいわゆる偏波面保存ファイバと同様の機能を有し、誘電主軸（２対の孔を結んだ直線およびそれに垂直な方向）以外に入射した光の偏光状態は非常に不安定となり、温度や外圧が加わると著しく変化する光ファイバとなる。この結果特に上記光ファイバを電気光学素子として用い誘電主軸とは異なる方向に偏光方向をもつ光を入射した場合、例えば温度が数℃変化しただけでも変調度が大きく変化し、著しく温度特性の悪い、また歪み率の大きな電気光学素子になるという課題があった。

【００１４】

10

本発明は、上記従来課題を考慮して、従来に比べて自然複屈折の発生を抑制出来る２次の非線形光学部材、及びその製造方法、並びに光変調素子を提供することを目的とする。

【００１５】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、請求項１記載の本発明は、無機ガラス材料を含む基材を分極処理して作製された２次の非線形光学部材であって、

前記分極処理は、相異なる第１の方向と第２の方向から行われたものであり、前記第１及び前記第２の方向に実質上直交する第３の方向に伝搬する光に対して、前記第１の方向又は第２の方向の何れか一方のみから分極処理が行われた場合に比べて自然複屈折の発生が抑制されること、又はその発生が実質上ない２次の非線形光学部材である。

20

【００１６】

又、請求項２記載の本発明は、前記第１の方向と前記第２の方向が互いに９０度±１０度の範囲で実質上直交している請求項１記載の２次の非線形光学部材である。

【００１７】

又、請求項３記載の本発明は、前記第３の方向が前記第１の方向および前記第２の方向とそれぞれ互いに９０度±１０度の範囲で実質上直交している請求項１記載の２次の非線形光学部材である。

【００１８】

又、請求項４記載の本発明は、無機ガラス材料を含む基材に対して、互いに異なる第１の方向及び第２の方向から所定の電界を印加して分極処理を施す２次の非線形光学部材の製造方法であって、

30

前記分極処理は、前記第１および前記第２の方向に実質上垂直な第３の方向に伝搬する光に対して、前記第１の方向又は第２の方向の何れか一方のみから分極処理が行われた場合に比べて自然複屈折の発生を抑制又はその発生を実質上なくす様に行う２次の非線形光学部材の製造方法である。

【００１９】

又、請求項５記載の本発明は、前記分極処理は、前記基材を通過した光の偏光状態を観測しながら行う請求項４記載の２次の非線形光学部材の製造方法である。

【００２０】

又、請求項６記載の本発明は、少なくとも２次の非線形光学部材と、前記２次の非線形光学部材に電界を印加するための電極とを含む電気光学素子を備えた光変調素子であって、前記２次の非線形光学部材が請求項１記載の２次の非線形光学部材である光変調素子である。

40

【００２１】

又、請求項７記載の本発明は、少なくとも偏光子と、検光子と、電気光学素子とを備えた光変調素子であって、

前記電気光学素子が請求項１記載の２次の非線形光学部材を含むものである光変調素子である。

【００２２】

又、請求項８記載の本発明は、少なくともミラーと、電気光学素子とを備えた光変調素子

50

であって、

前記電気光学素子が請求項 1 記載の 2 次の非線形光学部材を含むものである光変調素子である。

【0023】

又、請求項 9 記載の本発明は、前記電気光学素子は、光透過方向に対して実質上直交する相異なる 2 方向から同時に変調電圧が印加されるものである請求項 8 記載の光変調素子である。

【0024】

又、請求項 10 記載の本発明は、光ファイバと、
前記光ファイバを固定するための光ファイバ固定用溝を有する基板と、
前記光ファイバの所定の箇所には設けられた光学素子挿入用溝に取り付けられた偏光子と、
前記光学素子挿入用溝に取り付けられた検光子と、
前記光学素子挿入用溝に取り付けられた電気光学素子とを備えた光変調素子であって、
前記電気光学素子が請求項 1 記載の 2 次の非線形光学部材からなる光変調素子である。

10

【0025】

又、請求項 11 記載の本発明は、前記光ファイバが所定の形状に曲げられている請求項 10 記載の光変調素子である。

【0026】

又、請求項 12 記載の本発明は、前記所定の形状が底面がフラット形状の U 字型光ファイバである請求項 11 記載の光変調素子である。

20

【0027】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0028】

ここでは、本発明の 2 次の非線形光学部材の製造方法の一実施の形態について、従来の 2 次の非線形光学材料の作製における分極処理方法と対比しながら説明する。

【0029】

従来報告されているガラスを分極処理した 2 次の非線形光学材料は、1 方向のみ分極処理されているため、分極処理をすればするほど（大きな 2 次の非線形光学特性、即ち大きな電気光学定数を得るほど）大きな自然複屈折を示す。

30

【0030】

先ず最初に、図 1 (a)、(b) を用いて、従来の方法により分極処理を行うと、自然複屈折が大きくなる理由を、本実施の形態の説明と合わせて述べる。

【0031】

図 1 (a) は、非線形光学材料のブロックからなる電気光学素子 101 と x, y, z 軸を示す図である。

【0032】

同図において、x, y 軸は直交しているものとして表されているが、必ずしも直交する必要はない。ただし、x 軸, y 軸を互いに 90 度 ± 10 度の範囲で直交させた場合、y 軸方向の分極処理が x 軸方向の分極処理の結果に影響を与えにくいという特徴があり、分極処理を容易にコントロールする事ができる。また、z 軸は、この x 軸及び y 軸に、90 度 ± 10 度の範囲でほぼ直交している。

40

【0033】

まず、周囲温度を例えば 150 ~ 300 °C に昇温し、次に、x 軸方向に $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6 \text{ V/cm}$ 程度の電界を印加し分極処理を行う。このとき、x 軸方向に分極処理すると x 軸方向の電子分極が大きくなり、x 軸方向に偏光した光（x 軸方向に光電界が振動する光）が感じる屈折率 n_x は増加する（図 1 (b) 参照）。図 1 (b) は、本実施の形態の分極処理による屈折率変化を説明する図である。

【0034】

一方、x 軸方向と直角方向の偏光が感じる屈折率 n_y 、 n_z は低下する（図 1 (b) 参照）

50

。

【0035】

従って、従来の様に、1方向からのみ分極処理を行った場合、z軸方向に伝搬する光は必ず自然複屈折を示すことになる。即ち、この段階で分極処理を終了するとすると、従来のLN等を用いた場合と同じように、温度特性や変調度の設計値からの大きなずれの原因となる。

【0036】

本実施の形態では、y軸方向についても、先ほどのx軸方向と同じ要領で電界を印加することにより、更に分極処理を行う点が、従来の方法と大きく異なる点である。

【0037】

このy軸方向についての分極処理により、y軸方向の偏光を持つ光が感じる屈折率 n_y が大きくなる。ここで、分極処理時間や分極電圧を適当に選ぶことにより、 $n_x = n_y$ とする事が可能となる。

【0038】

従って、z軸方向に伝搬する光(x偏光、y偏光またはx軸とy軸の間に偏光方向を持つ光)に対しては、自然複屈折を非常に小さく、又はゼロにする事が可能となる。

【0039】

また、x軸及びy軸方向に分極処理する事により、z軸方向の屈折率が小さくなる。しかし、等方的なガラスを分極処理した場合の複屈折量(屈折率の最大値と最小値の差)は、通常0.001程度以下である。

【0040】

一方、LNの複屈折量は、約0.09である。 $0.09 / 0.001 = 90$ となることから、LNの複屈折量は、本発明による非線形光学材料の複屈折量より約2桁大きいと言える。従って、非線形光学材料に入射する光の角度精度もLNの場合に比べて約2桁近く大きくなり、そのため、軸ずれ角を±10度程度以内とする事が可能となる。この結果、光変調素子の作製がきわめて容易になる。

【0041】

尚、上述した本実施の形態では、2方向の分極処理は、時間的に別々に行った場合について述べたが、これに限らず例えば、同時に行っても同様の効果が得られる。

【0042】

以下、さらに具体的な実験例及び比較例を用いて本発明を説明する。

【0043】

なお、以下の具体例では、分極処理方法として加温中に高電圧を印加し分極処理を行う方法を示すが、紫外線を照射しながら室温で高電界を印加する方法、コロナポーリングによる方法、あるいは高真空中で高電圧を印加する方法などいずれの分極方法を用いても本質的に同様の機能を得ることができる。

【0044】

【実施例】

(実施例1)

ここでは、本発明の第1の実施例を図2(a)～(f)、及び図3を用いて説明する。

【0045】

即ち、図2(a)に示すように、第1の方向(x軸と定義する)の分極処理として以下の操作を行った。ガラス材料として GeO_2 を5～20%含む光学研磨された厚み0.5mmの薄板状のガラス基材201を用意した。

【0046】

次に、このガラス基材201の光学研磨面にアルミ電極202を蒸着した。このガラス基材201を乾燥窒素置換した電気炉に入れ250℃に保持した。この状態で5kVの電圧を印加し約100分保持し分極処理を行った(図2(a)参照)。

【0047】

次に、このガラス基材201の電極202をケミカルエッチングで完全にとり除いた後、

10

20

30

40

50

このガラス基材 201 を回転式ブレードソーを用いて 0.6 mm 巾に切断して、複数の短冊形状の部材 203 を得た (図 2 (b))。

【0048】

さらに、第 2 の方向 (y 軸と定義) の分極処理として以下の操作を行った。

【0049】

即ち、短冊形状の部材 203 の上記切断面を図 2 (c) のように、x 軸及び y 軸にほぼ垂直な z 軸を中心に右回りに 90 度 ± 10 度の範囲で回転させる。そして、図 2 (c) に示す様に、y 軸がほぼ上向きになるように各短冊形状の部材 203 を並べて、一枚のガラス板状となるように接着する。

【0050】

さらに、この y 面 (y 軸に垂直な面であり、表と裏の両面) を合計 0.1 mm だけ光学研磨し、y 軸方向の厚みを 0.5 mm とした。

【0051】

次に、この光学面に図 2 (a) と同様のアルミ電極 202 を蒸着し、リード線 204 をつけた。そして、電気炉に入れて乾燥窒素雰囲気中で 250 °C に保持し、両端に 5 kV の電圧を印加し 30 分放置し、y 軸方向に分極処理を行った (図 2 (d) 参照)。

【0052】

次に、分極処理が終了した試料を室温にもどした。第 1 (x 軸) と第 2 (y 軸) の分極方向に垂直方向 (z 軸) に直線偏光を透過させ、光の楕円率を測定した。このとき、入射光の偏光面は x 軸から 45 度の角度とした。透過してきた光が楕円偏光の場合は、さらに前記と同様の分極処理を行い、楕円偏光がほぼ直線偏光になるまで前記の分極操作を繰り返した。分極処理の大きさにも依存するが、x 軸および y 軸の垂直度は 90 度 ± 10 度、z 軸と x 軸または z 軸と y 軸との垂直度は 90 度 ± 10 度の範囲では自然複屈折のほとんどない試料を得る事ができた。

【0053】

最後に、分極処理の終了した試料を所望の長さに切り出し z 軸 (光の透過方向) の両面 205 を光学研磨し、電気光学素子 206 を得た (図 2 (f))。また、電極の端からの沿面放電が発生する場合、結晶エッジの部分の電極をとり除いて電気光学素子 206 を作製した。

【0054】

次に、この様にして得られた電気光学素子 206 を用いて光変調素子 35 を作製した実施例を図 3 を用いて説明する。

【0055】

同図に示すように、光源 31 として LED を用いた。この光をコリメートレンズ 32 を透過させ、平行光を得た。次に、偏光ビームスプリッタからなる偏光子 33、水晶を用いた 1/4 波長板 34、電気光学素子 35、検光子 36 を図 3 のように配置した。さらに、検光子を透過した光は集光レンズ 36 で集光し、受光素子 (フォトダイオード) で電気信号に変換され、信号処理を行った。電気光学素子 35 の電極間に 1000 V の交流を印加した時、変調度 1 % の交流波形信号を得た。

【0056】

得られた非線形光学材料に、第 1 の分極方向及び第 2 の分極方向に垂直な入射角から ± 1 度入射角を変化させた場合、変調度の変化率 (垂直入射の場合の変調度を 100 と規格化) は ± 3 % 以下、また ± 10 度入射角を変化させた時の変調度の変化は ± 10 % 以内であった。

【0057】

さらに、光変調素子を乾燥雰囲気とし、温度を -20 °C ~ +80 °C まで温度変化させ変調度の温度変化を測定した結果、変調度の変化 (室温での変調度を 100 と規格化) は ± 2 % 以下と良好な結果を示した。さらに、70 °C 以上の高温でも、Bi₄Ge₃O₁₂ の場合のような光量の DC ドリフトは観測されず、安定した変調信号を得る事ができた。

【0058】

ここで、光変調素子として $1/4$ 波長板を用いている。これは入射直線偏光を円偏光にし光学バイアスをかけることによりアナログ（強度）変調信号を直線性よく取り出す為に設置したものである。デジタル変調のように、光の ON-OFF 変調を行う場合、省略する事も可能である。

【0059】

（実施例2）

本発明による第2の実施例を図4を用いて説明する。

【0060】

実施例1に用いた電気光学素子を光変調素子（光の位相変調素子）として用い、干渉計を構成した。ここでは電気光学素子45（この場合電気光学素子45が光の光変調素子として機能する）としてy軸方向に電極を形成した電気光学素子を用いた。入射光としては可干渉性のよいHe-Neレーザ光を用い、干渉計に入射する光の偏光をx軸方向とした。x軸方向に1500Vの電圧を印加する事により電気光学素子45で入射光の位相が変調され、位相変調しない光とハーフミラー41で合成され受光素子48で変調信号を得る事ができた。次にx軸及びy軸方向に電極を形成した電気光学素子を用い、電圧をx軸及びy軸から同時に印加した。この時、偏光子46により入射光の偏光方向を回転させても、変調度の大きな差をなくす事が出来た。さらに偏光子46を取り除いた場合にも受光素子48で変調信号を観測する事ができた。

10

【0061】

この結果、偏光子のない光変調素子を実現することが出来た。

20

【0062】

（比較例1）

比較例として、従来知られている1方向（x軸とする）のみに分極処理した非線形光学材料を電気光学素子として用い、上記実施例2と同様にx軸、y軸2方向に電極を形成し、以下のような実験を行った。

【0063】

このとき、偏光子46の透過偏光面を回転させると、受光素子48で観測される変調信号は入射光の偏光面の回転とともに大きく変化した。

【0064】

これは、通常の1方向のみに分極した非線形光学材料からなる電気光学素子を用いた場合、分極処理による自然複屈折のため、偏光面を回転すると透過光の位相が変化し電圧を印加しなくとも受光素子48で観測される光強度が変化するためである。また、y軸方向にはほとんど2次の非線形光学特性を示さないためである。

30

【0065】

更に、電気光学素子45に入射する偏光面がy軸方向の場合、電圧印加による光の変調信号はほとんど観測されなかった。

【0066】

更に、偏光子46を取り除いた場合は、所望の大きさの変調度が得られず、変調素子として使用することが出来なかった。

【0067】

（実施例3）

本発明による第3の実施例を図5を用いて説明する。ここでは、基板上に偏光子、電気光学素子、検光子、光ファイバ等をハイブリッドに集積化した光変調素子の実施の形態を示す。

40

【0068】

基板59の材料としては、ガラス、セラミックス、樹脂など、絶縁性の材料であればいずれの材料でもよいが、とくに絶縁性が高く加工性の優れたガラスエポキシ基板を用いた。

【0069】

先ず、基板59に回転式ブレードソーを用いて光ファイバ固定用溝58を作製する。

【0070】

50

次に、光ファイバ心線 5 1 の一部の被覆を除去し、光ファイバ素線部 5 2 が見える状態とし、この光ファイバを基板 5 9 の光ファイバ固定用溝 5 8 に接着固定した。

【0071】

次に、回転式ブレードソーを用いて、各種光学素子を挿入するための光学素子挿入用溝 5 7 を形成した。この溝 5 7 に偏光子と 1 / 4 波長板（水晶製）を張り合わせた素子 5 3、電気光学素子 5 5、そして検光子 5 6 を図 5 のように接着固定した。尚、素子 5 3 は、入射光側に偏光子ががくるように配置されている。また、電圧印加のためのリード線を電気光学素子の電極に直接銀ペーストで接続した。また、基板 5 9 の裏側のリード線は、基板に孔を形成し、電気光学素子 5 5 に直接リード線を接続した。また、電気光学素子 5 5 は実施例 1 と同様の方法で作製したものであり、また光の透過方向の厚みは 1.5 mm のものをを用いた。

10

【0072】

この電気光学素子に 1000 V の電圧を印加した結果、変調度 0.7 % の交流変調信号を得た。

【0073】

この光変調素子の温度特性を測定したところ、室温での変調度を 100 とすると、-20 ~ 80 °C の温度範囲で、±3.5 % の良好な結果を示した。さらに、70 °C 以上の高温においても、 $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ 結晶を用いた場合問題となる DC ドリフトが観測されず安定した温度特性を実現可能であった。なお、この光変調素子は、光の入射方向と出射方向が同一直線上にあり、途中光ファイバの曲がりがなく低損失化が可能なため、特に光通信信用光変調素子として有効である。

20

（実施例 4）

次に、本発明による第 4 の実施例を図 6 (a) ~ 図 7 (b) を用いて説明する。

【0074】

ここでは、基板上に偏光、電気光学素子、検光子、光ファイバ等をハイブリッドに集積化した光変調素子の実施例を示す。

【0075】

図 6 (a)、(b) に示すように、基板 6 9 の上に、回転式ブレードソーを用いて光ファイバ固定用溝を作製する。基板 6 9 の材料としては、絶縁性の高く加工性の優れたガラスエポキシ基板を用いた。

30

【0076】

次に、光ファイバ心線の一部の被覆を除去し、光ファイバ素線部が見える状態とし、この光ファイバ素線部に加熱処理を行い、底面がフラットな U 字型光ファイバ（屈曲光ファイバ）601 を作製した。この方法は特開平 8-219825 に開示されている内容と同様の方法を用いた。

【0077】

この屈曲光ファイバ 601 を基板 6 9 の溝 6 8 に接着固定した（図 6 (b)）。

【0078】

次に、回転式ブレードソーを用いて、各種光学素子を挿入するための光学素子挿入用溝 6 7 を形成した（図 7 (a)）。この溝 6 7 に偏光子と 1 / 4 波長板（水晶製）を張り合わせた素子 6 3、電気光学素子 6 5、そして検光子 6 6 を図 7 (b) のように接着固定した。尚、ここでは、図面の記載が複雑になるのを避けるために、電圧印加のためのリード線の図面への記載は省略してある。

40

【0079】

ここで、電気光学素子 6 5 は、実施例 1 と同様の方法で作製したものであり、また光の透過方向の厚みは 1 mm のものをを用いた。この電気光学素子に 1000 V の電圧を印加した結果、変調度 0.4 % の交流変調信号を得た。この光変調素子は、入射光及び出射光が平行であり、直線状に長くならず、コンパクトに出来ることから、光ファイバ（電界または電圧）センサとして、特に有効利用できる。この光変調素子の温度特性を測定したところ、室温での変調度を 100 とすると、±3 % の良好な結果を示した。

50

【0080】

なお、ここでは屈曲ファイバの曲げ部分での光損失を押さえる対策は特に施していないが、光損失を極力小さくしたい場合など、光ファイバ屈曲部に光の反射構造を、金属の蒸着や、金属ペーストの塗布などの方法により形成してもよい。

【0081】

以上のことから、上記本実施の形態～実施例によれば以下の効果が発揮される。

【0082】

(1) 光の伝搬方向に複屈折のないまたは非常に小さな、2次の非線形光学材量を、ガラスに分極処理をするだけで容易に作製する事ができる。

【0083】

(2) この結果、光の伝搬方向の角度許容巾が大きかつ温度特性の良好な光変調素子や、光変調素子の一種である光ファイバ電圧（電界）センサを作製する事ができる。

【0084】

(3) 入射光の偏光依存性の小さなまたはほとんど無い光変調素子（光の位相変調素子）を実現できる。

【0085】

(4) 従来、等方的結晶（ $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ）などで問題となるDCドリフトの問題がない光変調素子を実現できる。

【0086】

以上説明したような優れた特徴があり、本発明の工業的価値は高い。

【0087】

【発明の効果】

以上述べたところから明らかなように本発明は、自然複屈折の発生を抑制出来るという長所を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による非線形光学材料と本発明による分極処理による屈折率変化を説明する図

【図2】本発明の第1の実施例による非線形光学材料の作製方法を示す図

【図3】本発明の第1の実施例による光変調素子の構成を示す図

【図4】本発明の第2の実施例による干渉計を用いた光変調素子の構成を示す図

【図5】本発明の第3の本実施例による光変調素子をファイバ光路途中に作製した構成図

【図6】(a)～(b)：本発明の第4の実施例による光変調素子をファイバ光路途中に作製した作製プロセス及び構成を示す図

【図7】(a)～(b)：本発明の第4の実施例による光変調素子をファイバ光路途中に作製した作製プロセス及び構成を示す図

【符号の説明】

31	光源
32, 37	レンズ
33, 46	偏光子
34	1/4波長板
35, 45, 55, 65	電気光学素子
36, 54, 66	検光子
38, 48	受光素子
53, 63	偏光子と1/4波長板を貼り合わせた素子
43	全反射ミラー
41	ハーフミラー
57, 67	光学素子挿入用溝
58, 68	光ファイバ固定用溝
59, 69	基板

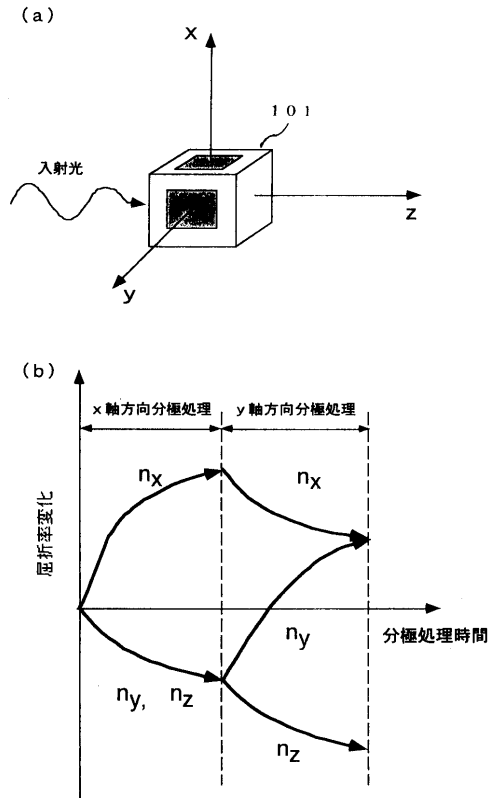
10

20

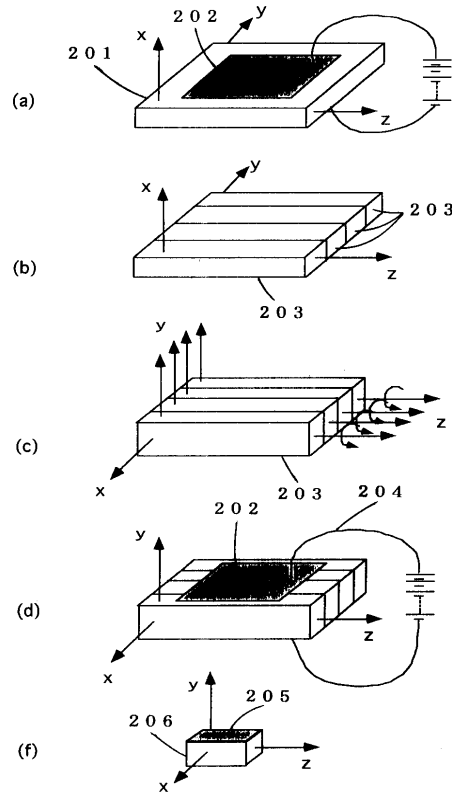
30

40

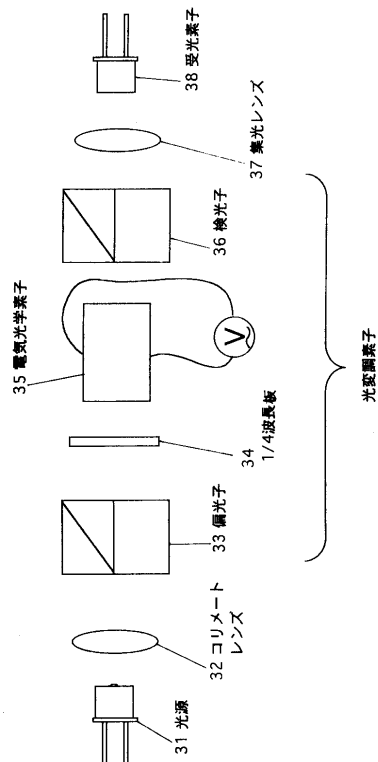
【図 1】



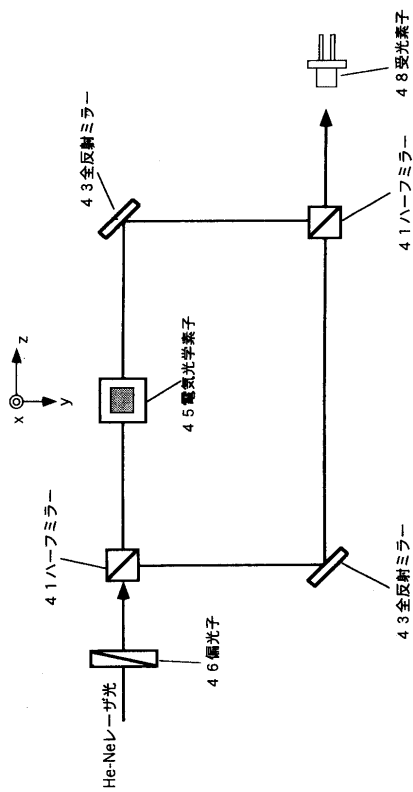
【図 2】



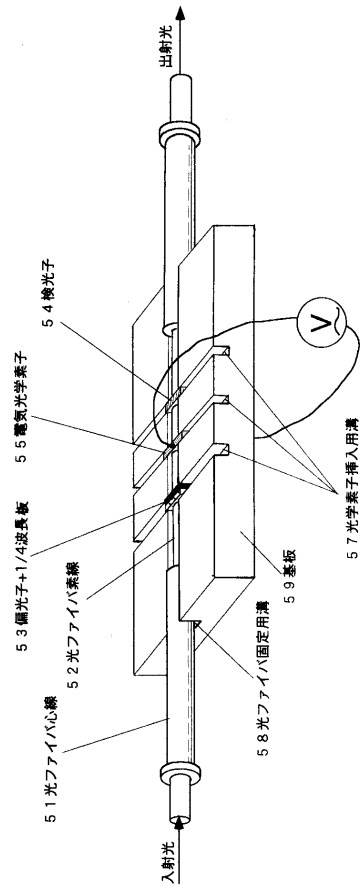
【図 3】



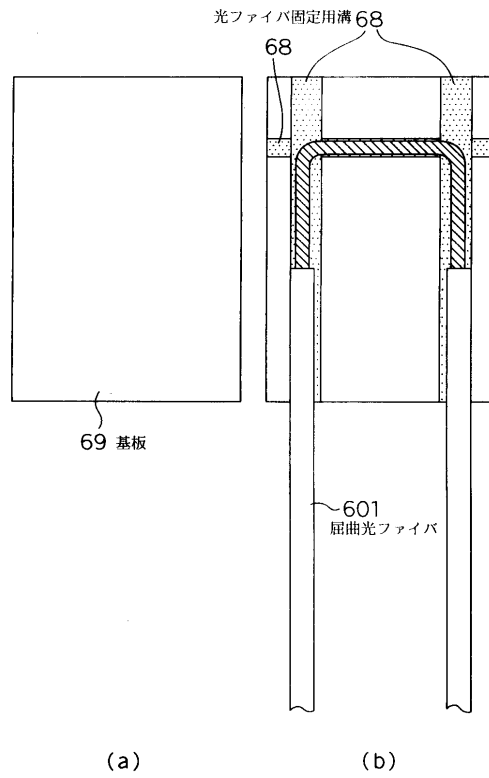
【図 4】



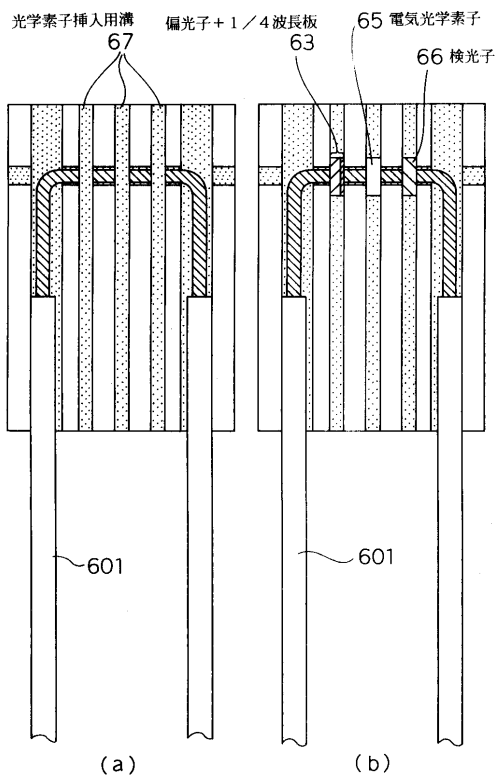
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 石塚 訓

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

審査官 佐藤 宙子

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)

G02F 1/35

G02F 1/01

G02B 6/12

G01R 15/00