



(51) 国際特許分類6 G02F 1/37	A1	(11) 国際公開番号 WO97/15863
		(43) 国際公開日 1997年5月1日(01.05.97)
(21) 国際出願番号 PCT/JP96/03149		(81) 指定国 CN, KR, RU, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). 添付公開書類 国際調査報告書 請求の範囲の補正の期限前であり、補正書受領の際には再公開される。
(22) 国際出願日 1996年10月28日(28.10.96)		
(30) 優先権データ 特願平7/302063 1995年10月26日(26.10.95) JP		
(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 三菱電線工業株式会社 (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.)(JP/JP) 〒660 兵庫県尼崎市東向島西之町8番地 Hyogo, (JP)		
(71) 出願人 ; および (72) 発明者 伊藤弘昌(ITO, Hiromasa)(JP/JP) 〒980 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉390番82号 Miyagi, (JP)		
(74) 代理人 弁理士 高島 一(TAKASHIMA, Hajime) 〒541 大阪府大阪市中央区平野町三丁目3番9号 (湯木ビル) Osaka, (JP)		

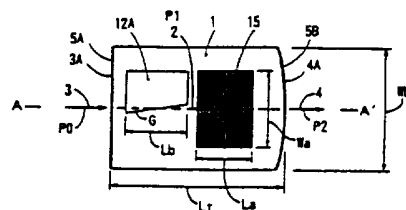
(54) Title: OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称 光デバイス

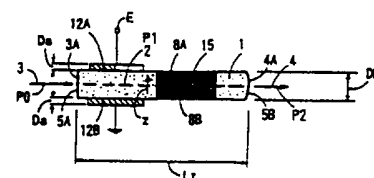
(57) Abstract

An optical device of this invention is such that complicated adjustment of the arrangement is not needed unlike a conventional optical device for outputting light having a frequency different from that of the input light by means of a nonlinear optical crystal. Electrodes (12A and 12B) for Q-switching, electrodes (9A and 9B) for phase adjustment and a periodical domain inversion portion (15) are disposed at predetermined positions in path (2) inside an optical crystal body (1) having nonlinear optical properties, electro-optical properties and laser activity. Oscillation light (P1) is produced by inputting light (P0) given from the input side (3), and output light (P2) having a frequency different from the frequency of the input light (P0) is outputted from the output side (4) by the nonlinear optical property and by the generation of harmonic or by optical parametric oscillation by use of the periodical domain inversion portion (15). The refractive index of the part of nonlinear crystal body (1) between the phase adjustment electrodes (9A and 9B) is changed by changing the voltage between the electrodes (9A and 9B), and the frequency of resonance over the full length (Lt) of the path (2) is thus adjusted. The Q-switching of oscillation light (P) is conducted by changing the refractive index of an oblique crossing portion of the oblique side (G) of the electrode (12A) and the path (2) by changing the voltage between the Q switch electrodes (12A and 12B).

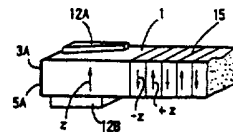
(1) (平面図)



(2) (A-A' 断面図)



(3) (斜視図)



(1) ... plan view
(2) ... sectional view along A - A'
(3) ... perspective view

(57) 要約

本発明の目的は、非線形光学結晶体により入力光と異なる周波数をもつ出力光を得る光学装置におけるような配置位置の複雑な調整操作を不要にした光デバイスを提供することにある。

非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体 1 の中の経路 2 の所要位置に、Qスイッチ用電極 12 A・12 B と、位相調整用電極 9 A・9 B と、周期的ドメイン反転部 15 とを配置する。入力側 3 から与えた入力光 P 0 によって発振光 P 1 を発振させ、非線形光学性と周期的ドメイン反転部 15 とによる高調波発生または光パラメトリック発振によって入力光 P 0 の周波数とは異なる周波数をもつ出力光 P 2 を出力側 4 から出力する。位相調整用電極 9 A・9 B 間の電圧変化により非線形結晶体 1 の当該部分の屈折率値を変えて経路 2 の全長 L t による共振周波数を調整することができる。Qスイッチ用電極 12 A・12 B 間の電圧変化により電極 12 A の斜辺 G と経路 2 との斜め交差部分の屈折率値を変えて発振光 P 1 の Q スイッチ操作を行うことができる。

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

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

明 細 書

光デバイス

技術分野

この発明は、レーザ活性イオンを添加した非線形光学性と電気光学性とを兼ねる光学結晶体、つまり、非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体を光励起してレーザ発振を行わせ、また、光学結晶体の内部を通る経路において、レーザのQスイッチ動作と、非線形光学性による擬似位相整合にもとづく第2高調波発生と光パラメトリック発振とを行わせる光デバイスに関するものである。

背景技術

この発明における各用語は、次のような意味をもつものである。

〔用語の説明〕

◆「周期」

「周期」は、一般的には、本来は時間のディメンションであるが、この発明では、光学結晶体の内部を所定の光が通る経路における長さのディメンションをも、併せていうものである。

◆「周波数」

光は、一般的には、「波長」で表すが、この発明では、「周波数」で表している。この「周波数」に対応する「波長」は、電波の場合と同様に、伝搬経路の物質によって異なる。

◆「光パラメトリック発振」

周波数 ω_0 の光波で2次の分極を励起することにより、2つの周波数 ω_1 と ω_2 とを発生する現象を言い、これらの周波数は、 $\omega_0 = \omega_1 + \omega_2$ の関係をもっている。

◆「ドメイン」

強誘電体の分極が同一方向に揃って存在する領域を言う。

この発明に係る参考文献を挙げると、次のものがある。

[参考文献]

◆参考文献 1

P. A. Franken, A. E. Hill, C. W. Peters, G. Weinreich, "Generation of optical harmonics", Phys. Rev. Lett., 7, 118/1961 年。

◆参考文献 2

J. A. Armstrong, N. Bleombergen, J. Ducuing and P. S. Pershen, "Interaction between light waves in a nonlinear dielectric", Phys. Rev., 127, No. 6, 1918/1962年。

◆参考文献 3

張英海、伊藤弘昌、稲場文男、第 49 回応用物理学会、“ドメイン反転構造を持つ非線形光導波路の実験”、7a-ZD-9/1988 年。

◆参考文献 4

E. J. Lim, M. M. Fejer, R. L. Byer, and W. J. Kozlovsky, "Blue light generation by frequency doubling in periodically poled lithium niobate channel waveguide", Electron. Lett., 25, 731/1989 年。

◆参考文献 5

J. Webjorn, F. Laurell, and G. Arvidsson, "Blue light generated by frequency doubling of laser diode light in a lithium niobate channel waveguide", IEEE Photon. Tech. Lett., 1, 316/1989 年。

◆参考文献 6

M. Yamada, N. Nada, M. Saitoh, and K. Watanabe, "First-order quasi-phase matched LiNbO₃ waveguide periodically poled by applying an external field for efficient blue second-harmonic generation", Appl. Phys. Lett., 62, 435/1993)年。

◆参考文献 7

Y. Yamamoto, S. Yamaguchi, K. Suzuki, and N. Yamada, "Second-harmonic generation in a waveguide with domain-inverted regions like periodic lens sequence on z-face KTiOPO₄ crystal", Appl. phys. Lett., 65, 938/1994 年。

◆参考文献 8

栢原敏明、藤村昌寿、西原浩、"擬似位相整合による導波形SHG素子"、電子情報通信学会誌、76、597/1993年。

◆参考文献 9

S. Miyazawa, "Ferroelectric domain inversion in Ti-diffused LiNbO₃ optical waveguide", J. Appl. Phys., 50, 4599/1979 年。

◆参考文献 10

H. Ito, C. Takyu, and H. Inaba, "fabrication of periodic domain grating in LiNbO₃ by electron beam writing for the application of nonlinear optical processes." Electron. Lett., 27, 1221/1991年。

◆参考文献 11

大橋基樹、田久長一、谷口浩一、"電子ビーム描画による強誘電体非線形光学結晶の周期ドメイン反転構造の検討"、電子情報通信学会論文誌C-I, J77-C-I, 383/1994年。

◆参考文献 12

S. Kurimura, M. Miura, and I. Sawaki, "New method of 20mm-deep and 3.6 mm-periodic domain inversion for 1st-order quasi-phase matching SHG in LiTaO₃ waveguides", Conf. on Lasers and Electro-Optics, CPD5/1992 年。

◆参考文献 13

佐藤学、大橋基樹、アベディン・カジ・サルワル、田久長一、伊藤弘昌、"電界印加法によるバルク型LiTaO₃ドメイン反転格子"、電子情報通信学会論文誌C-I, 366, J78-C-I, Aug. /1995年。

◆参考文献 1 4

K. S. Abedin, M. Sato, H. Ito, T. Maeda, K. Shimamura, and T. Fukuda, "Ordinary and extraordinary continuous wave lasing at 1.092 μm and 1.082 μm in bulk Nd: LiTaO₃ crystal", J. Appl. Phys., 78, 691, July/1995 年。

◆参考文献 1 5

A. YARIV他著、「OPTICAL WAVES IN CRYSTALS」512～515頁、表12。
2、WILEY-INTERSCIENCE社、1983年発行。

◆参考文献 1 6

電気通信ハンドブック第25編第1部門3・2「Qスイッチ」、(株)オーム社、昭和54年3月発行。

〔光デバイスの発展経緯〕

レーザの発明に引き続き、694 nmのルビーレーザ光を水晶に照射して347 nmの第2高調波を発生する技術が参考文献1により開示されている。

以来、非線形光学は目覚ましい発展を遂げ、科学研究の対象であると共に、実用的なデバイス技術として長足の進歩を遂げている。

光波技術の発展には、電波技術の発展と同様に、あらゆる波長の光源、つまり、あらゆる周波数の光源が望まれるが、レーザによる発振波長は、原理的にはレーザ活性をもつ材料によって定まる固有の波長になってしまう。このため、レーザでは直接的には得られない任意の波長の光を発生させることが望まれ、その技術として、非線形光学性をもつ材料、つまり、非線形光学材料を用いる技術が近年大きな発展を遂げている。

非線形光学材料、つまり、非線形光学効果をもつ性質（この発明において非線形光学性という）の材料を用いて、異なる波長のコヒーレントな光波を効率よく発生させるためには、複数の光波の混合によって生じる新しい波長成分、つまり、周波数成分の分極が作られる速度と分極によって放射された光波の伝搬速度との間の整合を取る必要がある。この速度の整合を位相整合と言っており、一般には、複屈折性をもつ結晶を用いて実現している。

こうした複屈折性のみに依存せずに、つまり、従来の位相整合の制約にとらわれずに、位相整合を行う方法があり、こうした位相整合方法を擬似位相整合と言っている。この方法によれば、非線形光学係数成分、つまり、非線形光学テンソル成分の最大の値を利用することができる。なお、テンソル成分については、参考文献 15 により開示されている。擬似位相整合の原理的な提案は参考文献 2 により開示されているが、 μm オーダーで結晶体の光学軸（以下、光軸という） z を周期的に正確に 180° 変化させなければならないという困難さのために、具体的なデバイスを実現し得なかった。

この発明の発明者らは、 LiNbO_3 （ニオブ酸リチウム）による強誘電体性をもつ材料、つまり、強誘電体材料の結晶の表面に周期的な間隔で不純物拡散を施すことにより、周期的ドメイン反転をもたせた構造によって擬似位相整合を行う方法を参考文献 3 により開示している。この周期的ドメイン反転構造は、半導体デバイスにおける処理操作と同様の平面処理操作のみによって製作することができるという特長があり、この構造によって近赤外光の第 2 高調波を発生させるという成果を得ている。また、上記の参考文献 3 とほとんど同時期に、同様野技術が参考文献 4・参考文献 5 によっても開示されており、さらに、これら技術の改良が、参考文献 6～8 により開示されている。

さらに、この発明の発明者らは、強誘電体の結晶体において、非線形光学係数をより確実に活用して擬似位相整合を行い得るようにしたドメイン反転構造を電気的手法により、基板全域、つまり、結晶体全体に互って、ミクロン単位の精度でドメインの制御を行い得るようにした技術を参考文献 10, 11, 13 により開示している。この技術は、具体的には、 LiTaO_3 （タンタル酸リチウム）の厚さ $500\ \mu\text{m}$ の z 板、つまり、光軸 z の方向を図 19 のように配置した結晶体の板に、 $10\ \mu\text{m}$ 以下の周期的ドメイン反転部を作成することにより、理論値に近い高い効率で第 2 高調波発生を実現した。

また、擬似位相整合を介して、図 18 のように、2 つの異なる周波数 ω_1 と周波数 ω_2 との光波の差の周波数 ω_3 をもつミリ波～サブ・ミリ波を発生する構成

については、特開平 6-110095 により開示している。なお、上記の特開平 6-110095 における「非線形光学係数を周期的に逆転させた非線形光学結晶」と、この発明における周期的ドメイン反転部とは、実質的に同一の構成をもつものである。

〔擬似位相整合〕

まず、擬似位相整合による高調波の発生原理について述べる。

一般に異なった波長間での非線形相互作用においては、エネルギー保存のもので運動量を保存するための位相整合が必要とされる。こうした条件が満足されない場合には、入射光波により物質中で誘起される非線形分極波と、この非線形分極波により放射される光波が干渉して打ち消し合うために有効な周波数の変換が得られない。

そして、第 2 高調波の発生（以下、SHG という）においては、図 10 の（c）のように、次式で与えられる干渉距離、つまり、コヒーレンス長 L_c 毎に、高調波出力は、強度が極めて小さな状態で、一定の極大・極小を繰り返す。

$$L_c = \frac{\lambda_F}{4 |n_{SH} - n_F|} \quad (1)$$

ここで λ は波長、 n は屈折率を示し、下つき文字の F は基本波を、また、SH は高調波成分を表す。したがって、何らかの方法でコヒーレンス長 L_c ごとに発生する分極波の符号を交互に反転できれば、その交互に反転を行った部分全体にわたって高調波出力を有効に重ね合わせることができる。すなわち、ドメイン反転の周期、つまり、ドメイン周期 T をコヒーレンス長 L_c の 2 倍、つまり、 $2L_c$ 毎に設定することにより、図 10 の（a）のように、非線形光学材料の結晶体内部での分散を打ち消して、擬似的に位相整合を行わせることができる。

このようにして、擬似的に位相整合を行わせることを、擬似位相整合（*quasi*

s i - p h a s e m a t c h i n g) (以下、QPMという)という。そして、テンソル成分の大きな物質でありながら光学的に等方であったり、分散が大きすぎて位相整合の取れない非線形光学材料についても、この擬似位相整合によって位相整合が可能となり、こうした非線形光学材料をSHGに利用することが可能になる。

ドメイン周期Tをコヒーレンス長L_cの3倍、つまり、3L_cとした場合には、図10の(b)のような様相を呈することになる。そして、QPMが行われるための条件は、一般的に、次式で与えられる。

$$T = 2mL_c = \frac{m\lambda_f}{2 |n_{SH} - n_f|} \quad (2)$$

ここでmは1, 2, 3...の正の整数であって、ドメイン周期Tの次数であり、図10において、(a)のT=L_cの場合がm=1、(b)のT=3L_cの場合がm=3であり、(c)は、こうしたドメイン周期を設けない場合、つまり、位相不整合の状態である。

このように、周期的に非線形光学係数dの値が+dと-dというように反転するように空間的に制御された材料では、この非線形係数の空間的な分布をフーリエ展開することにより、実効的な非線形光学係数を求めることができる。

この場合、ドメイン周期Tに対して、基板の結晶体のもつz軸に対して、実質的にz軸が反転している部分の幅の割合、つまり、図14におけるドメイン周期Tに対して反転している幅tの割合、つまり、デューティ比をξ(ただし、0 ≤ ξ ≤ 1)とすると、QPMの最大効率を与える条件はm=1、ξ=0.5であり、高次の動作ではm=2、ξ=0.25において最も高い効率を示すことがわかる。したがって、高効率に擬似位相整合を実現するには、デューティ比ξの制御が重要なことがわかる。

一方、非線形光学材料は、その透過する波長帯、つまり、透過する周波数帯において用いられることからして、広い透過域と大きな非線形光学係数 d をもつことが要求される。そして、各光学材料の短い波長側、つまり、高い周波数側における透過のカットオフ点と、相対的にみた場合の性能指数 d^2 / n^3 の関係は図 11 のようになる。

したがって、この擬似位相整合では、従来の位相整合におけるような制約を受けることなしに、なるべく大きい非線形光学係数 d をもつ光学材料を最適な動作条件の下で利用し得るものであり、図 11 によれば、QPM 動作による LiNbO_3 (QPM) と LiTaO_3 (QPM) の場合の方が、QPM 動作を行わない LiNbO_3 と LiTaO_3 の場合に比べて、優れた特性をもつことが分かる。

これらの非線形光学性をもつ材料としては、高効率な材料が強く要求される。また、大出力を得るには入力もそれ相応な大入力を要し、この大入力によって非線形光学材料が破壊されてしまう可能性があるので、低・中出力レベルでの非線形光学相互作用に適している。

QPM 動作に適した代表的な各光学材料の結晶体における透過波長域と、非線形光学係数、つまり、テンソル成分 $d_{33} \cdot d_{31}$ との関係を示すと図 17 のようになり、テンソル成分 d_{33} を用いる方が、テンソル成分 d_{31} などの他のテンソル成分を用いるよりも、良好な QPM 動作を行わせ得ることがわかる。

しかしながら、これらのテンソル成分 d_{33} は、相互作用させる全ての電界が光学結晶体の光軸 z と平行な場合のテンソル成分であるので、従来の複屈折を用いる相互作用では一切活用することができなかった。

つまり、QPM 動作によれば、例えば、 LiNbO_3 結晶では、従来利用されていたテンソル成分 d_{31} の -6 pm/V の値に対して、約 7 倍のテンソル成分 d_{33} の -40 pm/V の値を有効に用いることができるようになる。したがって、QPM 動作によれば、従来の約 7 倍の大きさの非線形光学係数を利用できるわけである。そして、図 17 のように、波長 $0.4 \mu\text{m}$ 以下の波長域での利用において、最も大きな非線形性を持つ材料の一つであることがわかる。

〔周期的ドメイン反転構造〕

分極波の符号、つまり、図 18 のように、結晶体内部における分極方向を周期的に反転させるには、非線形光学係数の符号を反転させればよいので、光学結晶体の内部での光軸、つまり、 z 軸を反転する方法が利用できる。このように z 軸を反転することを、この発明では、ドメイン反転と言っており、強誘電体が LiNbO_3 や LiTaO_3 の結晶体の場合には、強誘電性のドメインが一定の周期で交互に 180° 反転する構造、つまり、周期的ドメイン反転部 15 が設けられればよいわけである。

そして、ドメインの反転は、とくに $+z$ 面、つまり、結晶体の光軸 z と直交した平面であって z 軸の正方向側に配置された平面では不純物や歪応力などの内的要因と、熱や電界などの外的要因によって反転を生じることが参考文献 9 などにより開示されている。こうした反転は、不純物が拡散された部位のキュリー温度の低下が主因と考えられており、この主因を積極的に利用し、不純物の拡散に基づく表面プロセス、つまり、結晶体の表面からの処理操作のみによってドメイン反転構造を製作すれば、任意の形状のドメイン反転構造を、従来の結晶引き上げ時に行わせる製作方法に比べ、デバイスの構成展開に対する自由度を飛躍的に高めることができるわけである。

こうした表面からの処理操作によるドメインの制御を非線形光学材料に適用する技術が、参考文献 3～参考文献 5 によって開示されているが、当初に行われた Ti （チタン）などの拡散によるドメイン反転では、常に屈折率変化をも伴うので、回折や散乱を受けやすく、また、高温による処理操作を必要とするなどの不都合があった。

そこで、この不都合を解消するために、この発明の発明者らは、ドメインの周期的な反転を室温において電子ビームや電場のみで形成することにより、屈折率変化を伴わない周期的ドメイン反転構造を実現するために、加熱や電界の印加を施すことなく、電子ビーム照射のみによりドメイン反転を生じさせる方法を参考文献 10 によって開示している。

この方法は、 LiNbO_3 基板の + z 面にクロムなどの金属を蒸着しておき、何の蒸着も施していない - z 面、つまり、- z 面とは反対の面におけるドメイン反転を行わせたい箇所に、電子ビームを照射することにより、所要のパターンを描画して、周期的ドメイン反転構造を得るようにしたものである。

電子ビームの照射は、走査電子顕微鏡を改造したものを用い、例えば、基板が厚さ $500\text{ }\mu\text{m}$ の z 板に周期 $7.5\text{ }\mu\text{m}$ のドメイン反転を行わせる場合、加速電圧が 25 kV 、ドーズ量が $2 \times 10^9\text{ electrons/sec}$ とし、全処理走査を室温において、ゼロ DC バイアスで行っている。つまり、従来の方法では、z 板を昇温した状態で z 板の両面に DC 電圧を印加する操作が必要であったが、この方法では、こうした操作が一切不要である。

上記の電子ビーム照射による周期的ドメイン反転によって形成されたドメイン反転構成をもつ LiNbO_3 の表面をエッチングして、光学顕微鏡で観測した結果では、図 12 における [- z 面顕微鏡写真] [+ z 面顕微鏡写真] のように、電子ビームの照射によるドメインの反転が、電子ビームの照射側の - z 面のみならず、裏面の + z 面にまで連続して形成されており、さらに、y 面、つまり、結晶の機械軸 y と直交する面を切断し、研磨後エッチングして同様の観測をした結果では、メイン反転層が - z 面から + z 面まで、極めて規則正しく形成されている。ここで、電子ビームの照射と光学結晶体の各面の関係は、図 19 のようになっている。

そして、このドメイン反転が形成される過程は、加速された電子ビームは結晶表面から $1 \sim 2\text{ }\mu\text{m}$ の深さしか進入せず、局所的にのみ荷電するが、表面近傍では電子の注入衝撃によって原子間の束縛がゆるやかになり、原子は動き易い状態になるため、局所電場によって動き易くなった Li (リチウム) のイオンが位置を変えるので、自発分極の反転が起こり、この反転が、ひとたび、ある部分で生じると、電場がかけられている z 軸方向に、この反転が繰り返され、最終的に裏面の + z 面まで達するものと考察される。

しかしながら、上記の電子ビームによるドメイン反転では、連続して整ったき

れいな形状になりにくい特性をもっており、この原因は、絶縁物上に堆積した電荷と、基板の自発分極の反転の際の電荷とが、わずかにアンバランスになることから、完全な電荷の打ち消しが行われずに残ることによるという不都合がある旨が参考文献 11 により開示されている。

一方、直流電界によってドメインを制御できる可能性が期待され、縞状にパターンづけた電極を介して、強誘電体に、直接的に、電界を印加することによりドメイン反転を行わせる方法が検討され、室温付近でのパルス電界印加による LiNbO_3 のドメイン反転が参考文献 6 により、また、電界印加による LiTaO_3 のドメイン反転が参考文献 12 により開示されている。なお、これら電界印加による方法では、印加電圧が結晶の絶縁破壊電圧に近いので、印加電圧の厳格な制御が必要である。

そこで、この発明の発明者らは、非線形光学材料 LiTaO_3 の結晶体に、電界印加によって、光学結晶体の表面のみでなく、光学結晶体の厚み方向のほぼ全体にわたって周期的にドメインを反転させるようにしたバルク型ドメイン反転格子を作成する構成方法を参考文献 13 により開示している。

この構成方法は、例えば、基板を LiTaO_3 の厚さ $500\ \mu\text{m}$ の z 板、つまり、表面と底面とが光軸 z と直交する平面をもつ板状に形成した結晶体の板を用い、光軸 z の + 側の平面を $+z$ 面、また、一側の面を $-z$ 面として、 $-z$ 面に所定のパターン、つまり、ドメイン反転の周期による縞状のパターンをもつ Al (アルミニウム) の電極を所定のパターンで蒸着し、 $-z$ 面には全面に一樣な Al の電極を蒸着しておき、真空チャンバ内にセットして、両面の電極間に直流電圧を印加するものであり、縞状のパターンをもつパターン電極は長さ $4\ \text{mm}$ で、周期 $7.5\ \mu\text{m}$ と周期 $7.8\ \mu\text{m}$ と周期 $8.1\ \mu\text{m}$ の 3 周期を、それぞれ、同一基板上の異なる位置に、同時に作成している。

印加電圧と反転電流の時間変化は、図 13 のように、印加電圧を約 $2.5\ \text{kV}$ / 10 秒で昇圧し、ドメイン反転電流は $10.4\ \text{kV}$ 、つまり、 $20.8\ \text{kV}$ / mm に相当する電圧の付近から流れ出しており、印加電圧を約 $10.5\ \text{kV}$ の一

定値に保つと、特定の時間後に、反転電流は最大値 750 nA 程度になって、パターン部分のドメイン反転が行われ、その約1分後に、電流が自動的に止まっている。そして、反転電流が流れ出す印加電圧は、室温での LiTaO_3 の抗電界電圧、つまり、電圧破壊が生ずる手前の電圧と一致している。

上記のドメイン反転の際に注入電荷については、 LiTaO_3 基板の表面での自発分極の際の電荷は、通常では、正イオンまたは電子などで電氣的に中和されているので、電界印加によるドメイン反転の場合には、電子ビームの照射によるドメイン反転の場合と同様に、上部の電極から正電荷が注入されると、表面電荷の中和とドメイン反転に対する電界の発生とによって、全注入電荷の量は、自発分極の際の電荷の2倍になる。

そして、図13の場合には、注入電荷量は、測定値では $27.6 \mu\text{C}$ であり、計算値の $28.0 \mu\text{C}$ にほぼ一致している。注入電荷量はパターン電極のパターンの面積に対応するので、ドメインの制御のパラメータとして用いることができる。

〔擬似位相整合による第2高調波の発生〕

LiTaO_3 の結晶体による第2高調波の発生において、QPMの次数が1次 ($m=1$) および2次 ($m=2$) の場合の基本波の波長とドメイン反転の周期との関係を、(2)式に基づいて求めた結果は、図15の実線のようになる。

上記のパターン電極による直流電圧の印加により周期ドメイン反転を行った LiTaO_3 の評価実験を、 $\text{Ti}:\text{Al}_2\text{O}_3$ (チタンサファイヤ) レーザの発振波長を連続掃引しながら、第2高調波の出力をコンピュータで取り込み処理する方法で行った。

図15の次数 $m=2$ の◎箇所において、異なったドメイン周期 T 、つまり、 $7.5 \mu\text{m} \cdot 7.8 \mu\text{m} \cdot 8.1 \mu\text{m}$ に対する第2高調波の発生強度と基本波の波長 λ_1 の関係は、図16のようになっている。

なお、図15における2点鎖線は、固体レーザとして、汎用されている $\text{Nd}:\text{YAG}$ (ネオジウム・イットリウム・アルミニウム・ガーネット (ネオジウム・

ヤグ)) レーザでの波長 1064 nm の値であり、ドメイン周期が 7.8 μm の箇所で擬似位相整合がとれていることを示しているものである。

また、各ドメイン周期 T に対する第 2 高調波の発生強度における基本波の同調スペクトルの広がり、つまり、図 16 における 3 つの曲線の各半値幅が、いずれも 0.81 nm 程度で、ほぼ等しくなっている。

この広がりに対する理論値は 0.74 nm なので、作製された周期的ドメイン反転部は、実験的な製作上の誤差程度の範囲内の誤差はあるが、ほぼ均一に製作されていることになる。また、図 15 の $m=1$ の◎箇所についての実験は、光パラメトリック発振の出力によって確認を行ったものであり、この場合も実験結果が計算結果によく一致していることがわかる。

光波は伝搬に伴って回折をうけるので、第 2 高調波を最も効率よく発生させるためには、光デバイス内での光の経路の長さ、つまり、デバイス長に対応する波長の光波を集光させることが必要である。そして、ガウスビームのコンフォーカル長と上記のデバイス長とを一致させた条件下では、変換効率 η_b は次式で与えられる。

$$\eta_b = \frac{P_{SH}}{P_F^2 L} = \frac{2}{\pi C} \left[\frac{\mu_0}{\epsilon_0} \right]^{3/2} \frac{\omega_F^3 \cdot d_{eff}^2}{n_{SH} \cdot n_F} \quad (3)$$

ここで、 P_{SH} は第 2 高調波の出力、 P_F は基本波の入力、 L は上記のデバイス長、 c は光速、 μ_0 は真空の透磁率、 ϵ_0 は真空の誘電率、 ω_F は基本波の角周波数、 d_{eff} は実効的な 2 次非線形光学係数である。

ここで、2 次非線形光学係数とする理由は、非線形光学係数には、2 次、3 次、4 次……などの全ての次数の非線形光学係数を含むが、擬似位相整合による第 2 高調波の発生に対しては、2 次非線形光学係数しか利用しないためである。

また、 $m=2$ の QPM 動作においては、 P_F が 32 mW、 L が 4 mm で、 P_{SH} が 1.9 μW であった。

これらにより、 η_b の実験値は、式 (3) により 0.46 %/Wcm であった

ことが得られる。一方、作製したドメイン反転構造のデューティー比 ξ は測定の結果約0.63であったので、 η_o は、同様にして、式(3)により0.48% / Wcmになる。したがって、実験値と理論値とが、ほぼ一致していることがわかる。しかしながら、デューティー比 ξ を最適値0.5にすることによって、規格化変換効率 η_o の値を約20%増大させることができるものである。

一方、上記のQPM動作を利用した光パラメトリック発振を効率よく行わせるためには、光学結晶体の両端に別個に配置した反射鏡による共振器の反射鏡の間隔を移動させることにより、発振源として入力した励起波に同調させるように構成している。

さらに、こうしたレーザでの発振出力を尖頭値の大きいパルス状の出力にするためには、Qスイッチによる方法があり、こうしたQスイッチの構成として、光学結晶体とは別個に設けた可飽和吸収セルを発振経路内に出し入れする構成、光学結晶体とは別個に設けた超音波スイッチに与える超音波出力を変化する構成などが、参考文献16などにより開示されている。

上記の従来技術において、QPM動作における高調波または周波数変換による光出力、QPM動作を利用した光パラメトリック発振などによる出力光を得る構成は、殆どの部分を各個別な構成で配置したものをを用いており、上記のように共振器の反射鏡の間隔を移動させて共振させるような微細な共振調整操作、レンズやQスイッチに対する光軸方向を一致させるための微細な調整操作などが必要であるという不都合がある。

したがって、これらの部分を一体の素子で構成した光デバイスとし、電子的に調整操作を行い得るものが提供されれば、利用者にとって至極便利であり、こうした光デバイスをどのように構成すればよいかという課題がある。

発明の開示

上記の従来技術では、LiTaO₃（タンタル酸リチウム）のような非線形光学材料による光学結晶体を、単に、その非線形光学性のみを利用して、QPM動作またはQPM動作による光パラメトリック発振にのみ用いていた。

この発明では、こうした光学結晶体には、電気光学効果をもつ性質（この発明において電気光学性という）を兼ねる性質を有する点に着目するとともに、光学結晶体の材質をNd（ネオジウム）のようなレーザ活性をもつ要素をドープさせることにより、第1には、光学結晶体の所要の部分に電極を配置するとともに、この電極に所要の電圧を印加することによって光学結晶体自体の電気光学性にもとづく屈折率の変化を利用した位相遅延により、上記の微細な共振調整操作を電子的に行わせることを可能にし、第2には、同様の電極に所要の電圧を印加することによって、光学結晶体の電気光学性にもとづく屈折率を利用してQスイッチ動作をもつレーザ発振を可能にすることを、1つの単体的なデバイス構成によって可能にしたものである。

図面の簡単な説明

図1～図9はこの発明の実施例を、また、図10～図19は従来技術を示し、各図の内容は次の通りである。

図1は全体構成平面図、縦断面図および要部斜視図である。

図2は要部動作特性図である。

図3は要部動作特性図である。

図4は全体構成平面図および縦断面図である。

図5は全体構成平面図、縦断面図および要部斜視図である。

図6は全体構成平面図および縦断面図である。

図7は全体構成平面図および縦断面図である。

図8は全体構成平面図および縦断面図である。

図9は要部構成平面図である。

図10は要部動作特性図である。

図11は要部動作特性図である。

図12は要部構成顕微鏡写真図である。

図13は要部動作特性図である。

図14は要部構成顕微鏡写真図である。

図 1 5 は要部動作特性図である。

図 1 6 は要部動作特性図である。

図 1 7 は要部特性比較図である。

図 1 8 は要部構成平面図である。

図 1 9 は要部構成斜視図である。

また、図中の各符号の内容は次の通りである。

- 1 光学結晶体
- 2 経路
- 3 入力側
 - 3 A 端面
 - 3 B 出力経路
- 4 出力側
 - 4 A 端面
 - 4 B 出力経路
- 5 A 鏡面
- 5 B 鏡面
- 9 A 位相調整用電極
- 9 B 位相調整用電極
- 1 2 A Qスイッチ用電極
- 1 2 B Qスイッチ用電極
- 1 5 周期的ドメイン反転部
- 3 1 辺
 - 3 1 A 鏡面
- 3 2 辺
 - 3 2 A 反射鏡面
- 3 2 辺
- 3 3 反射鏡面

5 1 端面

6 1 結合用プリズム

6 2 端面

P 0 入力光

P 1 発振光

P 2 出力光

この発明の実施の形態を図 1 ～図 9 により説明する。図 1 ～図 9 において図 10 ～図 19 と同一の略号で示す部分は、図 10 ～図 19 で説明した同一略号の部分と同一の機能をもつ部分である。また、図 1 ～図 9 のいずれかによって説明した符号と同一符号で示す部分は同一機能をもつ部分である。

〔第 1 実施例〕

以下、図 1 ～図 3 により第 1 実施例を説明する。この実施例は、上記の従来技術における周期的ドメイン反転部による QPM 動作と、Q スイッチ動作とを 1 つの光学結晶体による素子で形成した光デバイスの実施例である。

図 1 において、光学結晶体 1 は、非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学材料の結晶体、例えば、 LiTaO_3 （タンタル酸リチウム）に、例えば、重量比 4.4% の Nd（ネオジウム）をドーピングした結晶体、つまり、Nd: LiTaO_3 （ネオジウム・タンタル酸リチウム）の結晶体を、図のように、四角形の板状、例えば、幅 $W_b = 3 \sim 15 \text{ mm}$ 、全長 $L_t = 5 \sim 20 \text{ mm}$ 、厚み $D_b = 0.5 \sim 1 \text{ mm}$ 程度の大きさをもつ四角形の板状に形成したものであり、光の通路として設定した光学結晶体 1 の内部を通る所定の経路 2 において、QPM 動作と Q スイッチ動作とを行うものである。

周期的ドメイン反転部 15 は、経路 2 の所要部分に、上記の従来技術による周期的ドメイン反転を行わせた部分であり、具体的には、図 18 の周期的ドメイン反転部 15 における極性反転と同様に、所定のドメイン周期 T ごとに幅 t の部分の z 軸を反転させたドメイン反転構造をもつ部分である。

なお、ドメイン反転構造は、上記の従来技術のように、厚み D_b の全体には及

ばない構造、つまり、ドメイン反転が行われたいかな厚み部分を残したままでもよく、また、この部分を研削することにより、厚み D_b の全体がドメイン反転構造になっているものにしてよい。

周期的ドメイン反転部15の大きさは、幅 $W_a = 2 \sim 4 \text{ mm}$ 、長さ $L_a = 2 \sim 15 \text{ mm}$ 程度の大きさのものであり、経路2を中心にして形成したものである。なお、幅 W_a は幅 W_b と同一にしてもよく、また、高電圧印加によるドメイン反転を行った場合の電極は、除去せずに、そのままにしてもよい。

Qスイッチ用の電極12A・12Bは、光学結晶体1の光軸、つまり、 z 軸と直交する方向の両表面8A・8Bにおける周期的ドメイン反転部15の配置箇所とは異なる箇所に設けた電極であり、一方の電極12Aを経路2の手前側では広く先側では狭い梯形に形成するとともに、梯形の傾斜した1辺、つまり、斜辺Gの中心付近が経路2を横切るように配置する。傾斜した1辺の傾き角度は $2 \sim 5^\circ$ 程度で、長さ $L_b = 2 \sim 6 \text{ mm}$ 程度である。

他方の電極12Bは、経路2に対して電極12Aと対称に配置するとともに電極12Aよりも大きい四角形に形成したものであり、また、電極12A・12Bは、それぞれ、A1（アルミニウム）を厚み $D_a = 0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 程度に蒸着形成してある。

ここで、Nd（ネオジウム）は、光学結晶体1の中のレーザ活性イオンお役割を果たすものであり、このレーザ活性イオンの入力光 P_0 によって励起することによりレーザ発振を行わせて、コヒーレントな特定の周波数をもつ光 P_1 を発生することができる。この特定の周波数は、主として、レーザ活性によるエネルギー準位により、ある幅をもって定まるが、その幅内において、光学結晶体1の中の経路2の全長 L_t によって周波数を変化させることができる。つまり、レーザ活性と経路2の全長 L_t によって定まる周波数のコヒーレントな光 P_1 を発生することができるわけである。

そして、Qスイッチ用電極12A・12Bの間に印加する電圧 E を、例えば、 600 V から 0 V に変化することによって、経路2を通る光に電気光学性にもと

づく屈折率変化を起こさせてQスイッチを行うものである。つまり、Qスイッチ用電極12A・12Bの間に電圧Eを印加すると、電圧Eが印加された箇所の光学結晶体1の部分では、いわゆる屈折率値表で言う屈折率値が変化させられて、この部分における光の伝搬速度が他の部分に対して変化させられる。

そして、伝搬速度が変化させられた部分と、他の部分との境界が、斜辺Gの箇所では経路2に対して斜めになっているために、この境界の部分で、経路2を通る光が屈折することになるので、電圧Eを変化させることにより、Qスイッチ動作を行い得るものである。したがって、斜辺Gと経路2との交差角度の選択は、光学結晶体1の性質と印加する電圧との関係で決まるが、経路2を通る光の全体にわたって斜めに横切ることが必要であるとともに、実験結果では、挟角がなるべく小さい方が好ましいことが分かっている。

光学結晶体1に入力光P0を与える入力側3の端面3Aは、z軸と平行な平面に形成するとともに、所要の誘電体の薄膜、例えば、SiO₂（酸化珪素）とZr₂O₃（酸化ジルコニウム）を多層に施した半透光性の鏡面5Aを設けてあり、また、出力光P2を放出する出力側4の端面4Aは、例えば、端面3Aの中心が焦点になる曲面で形成するとともに、端面3Aの鏡面5Aと同様の半透光性の鏡面5Bを設けてある。

〔第1実施例の構成の要約〕

上記の第1実施例の構成を要約すると、

例えば、Nd:LiTaO₃（ネオジウム・タンタル酸リチウム）の結晶体のように、非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体1の所定の入力面、例えば、入力側3の端面3Aから、所定の入力光P0、つまり、励起光を与えて、レーザ活性イオンを、Nd（ネオジウム）イオンをレーザ発振を行わせることにより得られる発振光P1などを、光学結晶体1の内部を通る所定の経路2に設けた周期的ドメイン反転部15の非線形光学性によって擬似位相整合を行わせることにより、上記の光学結晶体1の所定の出力面、例えば、出力側4の端面4Aから所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光を出力光P2とし

て送出する光デバイスにおいて、

上記の光学結晶体 1 の光軸、つまり、 z 軸と直交する方向の両表面 8 A・8 B における周期的ドメイン反転部 1 5 の配置箇所とは異なる箇所に、対向する電極 1 2 A・1 2 B を配置する Q スイッチ用電極手段を配置してなる Q スイッチ用電極手段を設けた光デバイスである。

そして本実施例は、これに加えて、上記の対向する電極 1 2 A・1 2 B の間に印加する電圧 E に所定の変化を与えることにより、上記の電気光学性にもとづいて上記の出力光 P 2 に対する Q スイッチを行う Q スイッチ手段を設けた光デバイスを構成していることになるものである。

〔第 1 実施例の第 1 利用構成〕

第 1 実施例の光デバイスの第 1 の利用構成は、入力光 P 0 を励起用光源として、光学結晶体 1 の中のレーザ活性イオンを励起することにより、レーザ活性と経路 2 の全長 L_t によって定まる第 1 の周波数 ω_1 のコヒーレントな光 P 1 を発生するとともに、周期的ドメイン反転部 1 5 のドメイン周期 T を式 (2) に対応するように形成することにより、擬似位相整合を行わせて、出力光 P 2 として、発振光 P 1 の第 2 高調波成分に相当する周波数 $\omega_2 = 2\omega_1$ のコヒーレントな光ビームを得るように構成するものである。

例えば、上記の $\text{Nd}:\text{LiTaO}_3$ にした場合における発振光 P 1 とドメイン周期 T との関係は図 2 のようになる。また、経路 2 の全長 L_t を、発振光 P 1 と出力光 P 2 とのいずれにも共振するように設定することによって出力光 P 2 の出力を大きくできるとともに、電圧 E の印加を ON-OFF して Q スイッチ動作を行わせることにより、出力光 P 2 を、例えば、数 10 倍～数 100 倍以上の尖頭値をもつパルス状の大きな出力にすることができる。

そして、具体的な周波数関係を波長でみると、例えば、入力光 P 0 を $0.8\mu\text{m}$ 、発振光 P 1 を $1.08\mu\text{m}$ 、出力光 P 2 を $0.54\mu\text{m}$ のように設定することができる。

〔第 1 実施例の第 2 利用構成〕

第1実施例の光デバイスの第2の利用構成は、入力光P0と発振光P1とを、上記の第1の利用構成と同様にして、発振光P1を第1の周波数 ω_1 のコヒーレントな光で発生させ、周期的ドメイン反転部15のドメイン周期Tを、第1の周波数 ω_1 との光パラメトリック発振による第2の周波数 ω_2 と第3の周波数 ω_3 とを得るための周期に設定することにより、第2の周波数 ω_2 と第3の周波数 ω_3 のコヒーレントな光による出力光P2を得るように構成するものである。

ここで、各周波数 $\omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \omega_3$ の間には、光パラメトリック発振による次式の関係が成り立っている。

$$\omega_1 = \omega_2 + \omega_3 \quad \dots (4)$$

この利用構成は、具体的には、光学結晶体1を、例えば、上記のNd:LiTaO₃にした場合には、図3のように、発振光P1の第1の周波数 ω_1 による波長 λ_1 がポンピング光の波長 λ_p になり、また、ドメイン周期Tによって、アイドラ周波数の波長 λ_i と信号光の波長 λ_s とを出力する出力光P2の周波数 $\omega_2 \cdot \omega_3$ の波長 $\lambda_s \cdot \lambda_i$ とが定まるものであり、これらの波長 λ_i と波長 λ_s との関係は、上記の(4)の関係で与えられる。

なお、上記の構成では、経路2の全長Ltを λ_s に共振させることにより、 λ_s のコヒーレントな光ビームを出力するようにし、 λ_i をアイドラにして構成しているが、これを逆にして、経路2の全長Ltを λ_i に共振させるように構成すれば、 λ_i を出力し、 λ_s をアイドラにするように構成できるものである。また、Qスイッチ動作については、上記の第1の利用構成と全く同一の動作を行わせるものである。

〔第1実施例の第3利用構成〕

第1実施例の光デバイスの第3の利用構成は、入力光P0を2つの入力光とし、そのうちの1つの入力によって光学結晶体1の中のレーザ活性イオンを励起することにより、上記の第1の利用構成と同様に、レーザ活性と経路2の全長Ltによって定まる第1の周波数 ω_1 をもつコヒーレントな光P1を仲介光として発生するとともに、周期的ドメイン反転部15のドメイン周期Tによる擬似位相整合

によって、図 18 の構成の場合と同様に、入力光 P 0 の 2 つの入力光のうちの他の 1 つの入力光のもつ第 2 の周波数 ω_2 と発振光 P 1 のもつ第 1 の周波数 ω_1 との差の周波数 ω_3 をもつコヒーレントな出力光 P 2 を得るように構成するものである。なお、Q スイッチ動作については、上記の第 1 の利用構成と全く同一の動作を行わせるものである。

〔第 1 実施例の第 4 利用構成〕

第 1 実施例の光デバイスの第 4 の利用構成は、入力光 P 0 を第 1 の周波数 ω_1 をもつ入力光とし、この入力光 P 0 によって、光学結晶体 1 の中のレーザ活性イオンを励起することにより、レーザ活性と経路 2 の全長 L_t によって定まる第 2 の周波数 ω_2 をもつコヒーレントな光 P 1 を仲介光として発生するとともに、周期的ドメイン反転部 15 のドメイン周期 T による擬似位相整合によって、図 18 の構成の場合と同様に、入力光 P 0 の周波数 ω_1 と発振光 P 1 の周波数 ω_2 との差の周波数 ω_3 をもつコヒーレントな出力光 P 2 を得るように構成するものである。なお、Q スイッチ動作については、上記の第 1 の利用構成と全く同一の動作を行わせるものである。

〔第 2 実施例〕

以下、図 4 により第 2 実施例を説明する。この実施例は、図 1 の第 1 実施例の構成における電極 12 A・12 B を周期的ドメイン反転部 15 を設けた箇所に重ね合わせるように配置するとともに、電極 2 A の斜辺 G の中心付近が経路 2 を横切るように配置することによって、経路 2 の全長 L_t を短くし、光デバイスの大きさを小さくして、同一の機能をもたせるように構成したものである。

図 4 において、電極 12 A・12 B は、周期的ドメイン反転部 15 を設けた箇所に対向する両表面 8 A・8 B に設けるとともに、電極 12 A・12 B の長さ L_b が周期的ドメイン反転部 15 の長さ L_a よりも僅かに長くしてある箇所以外の部分は図 1 の第 1 実施例と同様の機能をもたせて構成しているものである。

したがって、周期的ドメイン反転部 15 によって擬似的位相整合を行う箇所と電極 12 A・12 B に印加する電圧 E を変化させて Q スイッチ動作を行う箇所と

が、経路 2 の同一の箇所を重ねて設けられていることになる。

〔第 2 実施例の構成の要約〕

第 2 実施例の構成を要約すると、

上記第 1 実施例の構成における Q スイッチ用電極手段に代えて、

上記の光学結晶体 1 の光軸、つまり、 z 軸と直交する方向の両表面 8 A・8 B における周期的ドメイン反転部 1 5 の配置箇所に、対向する電極 1 2 A・1 2 B を配置する Q スイッチ用電極手段

を設けた光デバイスを構成していることになるものである。

〔第 2 実施例の利用構成〕

第 2 実施例の利用構成は、上記の第 1 実施例における第 1 の利用構成～第 4 の利用構成と全く同一の利用構成を適用し得るものである。

〔第 3 実施例〕

以下、図 5 により第 3 実施例を説明する。この実施例は、図 1 の第 1 実施例の構成に加えて、経路 2 の全長 L_t を変化させて、経路 2 を通る光の位相を調整する位相調整部分として、電気光学性にもとづく屈折率変化により、経路 2 の全長 L_t を変化させるための電圧を与える電極を設けて構成したものである。

図 5 において、位相調整用の電極 9 A・9 B を設けた箇所以外の部分の構成は、図 1 の第 1 実施例の構成と全く同一に構成してあり、電極 9 A・9 B は、経路 2 における周期的ドメイン反転部 1 5 と電極 1 2 A・1 2 B との配置箇所以外の両表面 8 A・8 B に設けた電極であり、電極 9 A・9 B は、いずれも、経路 2 に対して対称に配置するとともに、幅 W_e を周期的ドメイン反転部 1 5 の幅 W_a と同程度にし、長さ L_c を 1～5 mm 程度にした四角形のものである。

具体的には、幅 $W_e = 2 \text{ mm}$ 、長さ $L_c = 1 \sim 5 \text{ mm}$ 程度であって、Al（アルミニウム）の薄膜を、厚み $D_a = 0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 程度に、電極 1 2 A・1 2 B と同時に蒸着して形成するものである。なお、Q スイッチ用の電極 1 2 A・1 2 B のうちの四角形の電極 1 2 B と同一側に設ける電極 9 B は、電極 1 2 B と連続した一体の四角形に形成してもよい。

そして、位相調整用の電極 9 A・9 B の間に印加する電圧 E_1 を、例えば、0 ～ 100 V の間を変化させることによって、経路 2 を伝搬する光に電気光学性にもとづく屈折率変化を起こさせて、光の位相を変化させるという調整を行うことにより、経路 2 の全長 L_t を変化させ得るようにしたものである。

つまり、光学結晶体 1 の電圧 E_1 が印加された部分が、いわゆる屈折率値表における屈折率を変化させられることになるため、この部分の経路 2 における光の伝搬速度が変化させられるので、経路 2 の全長 L_t を変化させたと同様の動作を行うことにより、結局、経路 2 を通る光の位相を調整する位相調整部分として動作するわけである。

また、この光の位相の調整は、位相を大きく変化させた場合には、周波数の変化になるわけであり、この発明での位相の調整とは、そうした周波数の変化になる場合をも含めて言うものである。

〔第 3 実施例の構成の要約〕

第 3 実施例の構成を要約すると、

第 1 実施例の構成に加えて、

上記の両表面 8 A・8 B における周期的ドメイン反転部 15 の配置箇所と、上記の Q スイッチ用の第 1 の対向する電極 12 A・12 B の配置箇所との両箇所とは異なる箇所に、第 2 の対向する電極 9 A・9 B を配置してなる位相調整用電極手段を設けた光デバイスである。

そして本実施例は、これに加えて、上記の第 2 の対向する電極 9 A・9 B の間に印加する電圧 E_1 に所定の変化を与えることにより、上記の電気光学性にもとづいて経路 2 の中を伝搬する光の位相を調整する位相調整手段を設けた光デバイスを構成していることになるものである。

〔第 3 の実施例の第 1 利用構成〕

第 3 実施例の光デバイスの第 1 の利用構成は、上記の第 1 実施例の光デバイスの第 2 の利用構成に加えて、経路 2 の全長 L_t を、発振光 P_1 による第 1 の周波数 ω_1 と光パラメトリック発振による第 2 の周波数 ω_2 とに同時に共振させ、ま

たは、発振光 P 1 による第 1 の周波数 ω_1 と光パラメトリック発振による第 3 の周波数 ω_3 とに同時に共振させる調整操作を、電極 9 A・9 B に印加している電圧 E 1 を変化させて行うように構成するものである。

つまり、電極 9 A・9 B に印加している電圧 E 1 を変化させることにより、光学結晶体 1 の電気光学性にもとづく屈折率変化によって、経路 2 を通る光の位相が変化させられるため、電圧 E 1 を徐々に変化させて行くと、ある特定の電圧値のときに、経路 2 の全長 L_t が、目的とする第 1 の周波数 ω_1 と第 2 の周波数 ω_2 とに同時に共振し、または、第 1 の周波数 ω_1 と第 3 の周波数 ω_3 とに同時に共振するため、電圧 E 1 をその特定の電圧値に保持することによって、出力光 P 2 の出力を最大値にするとともに、光パラメトリック発振の閾値（しきい値）の低減化をはかることができるわけである。

〔第 3 実施例のその他の利用構成〕

上記の第 1 の利用構成のほかに、上記の第 1 実施例の光デバイスにおける他の利用構成と同様に、擬似位相整合によって、第 2 高調波の光を得たり、2 つの周波数の差の周波数をもつ光を得たりするために、所要の周波数をもつ所要の光を出力光 P 2 として得るように、種々に構成し得ることは言うまでもない。

そして、これらの構成においても、電極 9 A・9 B に印加している電圧 E 1 を変化させることにより、経路 2 の全長 L_t を変化させて、所要の光の周波数に対して共振させるようにすればよいわけである。

〔第 4 実施例〕

以下、図 6 により第 4 実施例を説明する。この実施例は、図 4 の第 2 実施例の構成に加えて、図 5 の位相調整用の電極 9 A・9 B を設けることにより、経路 2 の全長 L_t を変化させて、経路 2 を通る光の位相を調整する位相調整部分として、電気光学性にもとづく屈折率変化により、経路 2 の全長 L_t を変化させるための電圧を与える電極を設けて構成したものである。

図 6 において、位相調整用の電極 9 A・9 B を設けた箇所以外の部分の構成は、図 4 の第 2 実施例の構成と全く同一に構成しており、また、位相調整用の電極 9

A・9 Bの構成と、電極9 A・9 Bに印加する電圧E 1を変化させて経路2を通る光の位相を調整する位相調整部分の構成とは、図5の第3実施例の位相調整用の電極9 A・9 Bと電圧E 1の部分の構成と全く同一にして構成したものである。

そして、周期的ドメイン反転部1 5の部分による擬似位相整合の動作と、Qスイッチ用電極1 2 A・1 2 Bと電圧Eとの部分によるQスイッチの動作とは、ず1の第1実施例で説明した当該部分における動作と全く同一の動作を行うものであり、また、位相調整用の電極9 A・9 Bと電圧E 1の部分による位相調整動作は、図5の当該部分における動作と全く同一の動作を行うものである。

〔第4実施例の構成の要約〕

第4実施例の構成を要約すると、

第2実施例の構成に加えて、

上記の両表面8 A・8 Bにおける上記のQスイッチ用の第1の対向する電極1 2 A・1 2 Bの配置箇所とは異なる箇所に、第2の対向する電極9 A・9 Bを配置してなる位相調整用電極手段を設けた光デバイスである。

そして本実施例は、これに加えて、上記の第2の対向する電極9 A・9 Bの間に印加する電圧E 1に所定の変化を与えることにより、上記の電気光学性に基づいて経路2の中を伝搬する光の位相を調整する位相調整手段を設けた光デバイスを構成していることになるものである。

〔第4実施例の利用構成〕

第4実施例の利用構成は、上記の第3実施例における各利用構成と全く同一の利用構成を適用し得るものである。

〔第5実施例〕

以下、図7により第5実施例を説明する。この実施例は、図6により説明した第4実施例の構成から、Qスイッチ用の電極1 2 A・1 2 Bを除去して、周期的ドメイン反転部1 5の部分には何らの電極も無く、位相調整用の電極9 A・9 Bはそのままの位置に配置するようにした構成、つまり、第4実施例の機能からQスイッチ機能を取り除いた構成のものである。

〔第 5 実施例の利用構成〕

第 5 実施例の利用構成は、上記の第 4 実施例における各利用構成から Q スイッチ動作を除いた動作を行うようにした利用構成を適用し得るものである。

〔第 6 実施例〕

以下、図 8 により第 6 実施例を説明する。この実施例は、図 1 ～図 7 により説明した各実施例では、光学結晶体 1 の平面の外形を四角形状に形成し、また、経路 2 を直線状に形成していた構成部分を、光学結晶体 1 の平面の外形を多角形の形状に形成するとともに、経路 2 を光学結晶体 1 の多角形の所定の辺で反射する経路によって形成するように変更した構成をもつものである。

図 8 において、光学結晶体 1 は、平面の外形を多角形の板状、例えば、三角形のプリズム状に形成してあり、所定の辺、例えば、辺 3 1 に半透光性の鏡面 3 1 A を設けるとともに、残りの全ての辺または所定の辺、例えば、辺 3 2 ・ 3 3 に反射鏡面 3 2 A ・ 3 3 A を設けてある。

そして、光学結晶体 1 の内部を通る光の経路 2 を、入力側 3 から鏡面 3 1 A に入力した光が反射鏡面 3 2 A ・ 3 3 A で反射して鏡面 3 1 A の出力側 3 から出力するようにした経路に形成してある。

また、経路 2 の所要の箇所における両表面 8 A ・ 8 B に、周期的ドメイン反転部 1 5 と、Q スイッチ用の電極 1 2 A ・ 1 2 B と、位相調整用の電極 9 A ・ 9 B を設けたものであり、経路 2 に沿った光学結晶体 1 を厚み方向の断面を展開すると、図 5 の第 3 実施例における〔A - A' 断面〕と同様の構造になるように構成したものである。つまり、各鏡面 3 1 A ・ 3 2 A ・ 3 3 A の間の各経路 2 の各長さ $L_{t1} \cdot L_{t2} \cdot L_{t3}$ を加算した長さが、経路 2 の全長 L_t になるものである。

なお、周期的ドメイン反転部 1 5 による擬似位相整合動作、Q スイッチ用の電極 1 2 A ・ 1 2 B と電圧 E とによる Q スイッチ動作、位相調整用の電極 9 A ・ 9 B と電圧 E 1 とによる位相調整動作については、上記の各実施例で説明したと同様の動作を行い、また、多角形の形状は、四角形以上の多角形にして、所要の辺

を反射面として構成することにより、同様の構成が得られること、さらに、周期的ドメイン反転部 1 5 と Q スイッチ用の電極 1 2 A ・ 1 2 B とを同一箇所に重ね合わせて配置し得ることなどについては、自明のことであり、特別の説明を要さないことであろう。

そして、図 8 のように、経路 2 を閉経路にする場合と、多角形を形成する各角度を異ならせるなどにより、経路 2 を解放経路にする場合との構成が可能であり、図 8 のように経路 2 を閉経路にした場合には、経路 2 の入力側 3 の端面 3 A と出力側 4 の端面 4 A とが同一の端面 5 1 になるので、この端面 5 1 に近接して配置した結合用プリズム 6 1 を設けることによって、主力光 P 2 を、出力側 4 に対応する出力経路 4 B と、入力側 3 に対応する出力経路 3 B との両方に出力することができるため、出力光 P 2 を同時に 2 つの異なる目的に使用し得るという利点が見られるわけである。

さらに、結合用プリズム 6 1 の端面 6 2 と光学結晶体 1 の端面 5 1 との間の間隔 J を調整する調整機能部分（図示せず）を設けることによって、結合用プリズム 6 1 と光学結晶体 1 との間の光の結合率を変化させることができるという利点もある。

また、第 6 実施例の構成では、各反射鏡面、例えば、反射鏡面 3 2 A ・ 3 3 A を、例えば、上記の第 1 実施例～第 5 実施例において端面 3 A ・ 端面 4 A に施す半透光性の鏡面 5 A ・ 5 B と同様の材質を厚膜にして施すか、または、多層にして施す層数を増加するなどによって形成した全反射性の鏡面を、光学結晶体 1 の辺 3 2 ・ 3 3 の面に、直接的に、施して形成してあるため、従来のように、別個の反射鏡を取付加工するなどの複雑な加工を不要にしている。

〔変形実施〕

この発明は次のように変形して実施することができる。

(1) 上記の各実施例の構成において、周期的ドメイン反転部 1 5 と、Q スイッチ用の電極 1 2 A ・ 1 2 B と、位相調整用の電極 9 A ・ 9 B との各配置位置を任意に入れ換えて構成する。ただし、位相調整用の電極 9 A ・ 9 B を周期的ドメ

イン反転部 15 とを同一箇所を重ねて配置する構成は、周期的ドメイン反転部 15 の構成が、z 軸を交互に反転した構成になっているため、位相調整を行うには不適である。

(2) 上記の各実施例の構成において、Qスイッチ用の電極 12A を、図9の電極 12A1・12A2のように複数に分けて構成する。この場合、Qスイッチ用の電極 12A を、図9のような三角形、または、梯形などのように、光の経路 2 を斜めに横切る斜辺 G をもつようにした種々の形状に変形して構成することができる。

また、位相調整用の電極 9A・9B と、周期的ドメイン反転部 15 とを、必要に応じて、複数に分けて配置する。この場合、これらの分けたものの配置箇所は、それぞれ、必要に応じて、他の Qスイッチ用の電極 12A・12B と、位相調整用の電極 9A・9B と、周期的ドメイン反転部 15 との配置に対して、適宜に、配置を入れ換えて構成することができる。

(3) 上記の図8の第6実施例の構成において、Qスイッチ用の電極 12A・12B を、図4・図6の第2実施例・第4実施例と同様に、周期的ドメイン反転部 15 を設けた箇所に重ね合わせるように配置して構成する。この場合、Qスイッチ用の電極 12A・12B を配置した箇所に周期的ドメイン反転部 15 を移動してもよく、また、周期的ドメイン反転部 15 を配置した箇所に Qスイッチ用の電極 12A・12B を移動してもよい。

(4) 上記の図8の第6実施例の構成において、図7の第5実施例と同様に、Qスイッチ用の電極 12A・12B を除去して構成する。

(5) 上記の図1・図4・図5・図6・図7の第1実施例～第5実施例の構成において、入力側3の端面3Aと鏡面5Aの部分を、端面4Aの中心が焦点になる曲面に変更して構成する。

(6) 上記の図5の第3実施例・図6の第4実施例・図8の第6実施例において、Qスイッチ用の電極 12B を電極 12A と同様の形状、例えば、梯形状に形成して構成する。

(7) 上記の図5の第3実施例・図6の第4実施例・図8の第6実施例において、位相調整用の電極9A・9BとQスイッチ用の電極12Bを電極12Aとうちの共通の電位側に相当する各電位、例えば、図5・図6の電極9Bと電極12Bとを共通の1つの連続した電極に形成して構成する。

(8) 上記の図1・図4・図5・図6・図7の第1実施例～第5実施例の構成において、入力側3の端面3Aと鏡面5Aの部分を、端面4Aの中心が焦点になる曲面に変更するとともに、端面4Aと鏡面5Bの部分をz軸と平行な平面に変更して構成する。

(9) 上記の図8の第6実施例の構成において、光学結晶体1の平面の外形を、他の多角形、五角形・七角形などの多角形に形成して構成する。この場合、入力側3の端面3Aと出力側4との端面とを、図8の場合と同様に1つの共通の端面にして構成し、または、異なる適宜の端面になるように多角形を形成して構成することができる。

産業上の利用可能性

この発明によれば、以上のように、光学結晶体として、非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する結晶体を用いているため、光学結晶体の中のレーザ活性イオンを所要の入力光によって励起することにより、光学結晶体自体の中でレーザ発振を行わせて所要の周波数の光を発生することができる。

また、光学結晶体の中を通る光の経路の途中に、周期的ドメイン反転部、Qスイッチ用の電極および位相調整用の電極の全て、または、そのうちの所要のものを適宜に選択して配置しているため、1つの光学結晶体に所要の入力光を与えるのみで、QPM動作による高調波または、周波数変換による出力光、QPM動作を利用した光パラメトリック発振による出力光などを得ることができるほか、位相調整用の電極に印加する電圧を調整するのみで、光学結晶体の共振周波数を所要の光の周波数に一致させて出力光を増強し得るなどの特徴をもつ至極便利な光デバイスを提供することができる。

請 求 の 範 囲

1. 非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体の所定の入力面から所定の入力光を与えて、前記光学結晶体の内部を通る所定の経路に設けた周期的ドメイン反転部の前記非線形光学性によって擬似位相整合を行わせることにより、前記光学結晶体の所定の出力面から所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光による出力光を送出する光デバイスであって、前記光学結晶体の光軸と直交する方向の両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所とは異なる箇所に、対向する電極を配置してなるQスイッチ用電極手段を具備することを特徴とする光デバイス。

2. 非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体の所定の入力面から所定の入力光を与えて、前記光学結晶体の内部を通る所定の経路に設けた周期的ドメイン反転部の前記非線形光学性によって擬似位相整合を行わせることにより、前記光学結晶体の所定の出力面から所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光による出力光を送出する光デバイスであって、

a. 前記光学結晶体の光軸と直交する方向の両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所とは異なる箇所に、対向する電極を配置してなるQスイッチ用電極手段と、

b. 前記対向する電極の間に印加する電圧に所定の変化を与えることにより、前記電気光学性にもとづいて前記出力光に対するQスイッチを行うQスイッチ手段と

を具備することを特徴とする光デバイス。

3. 非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体の所定の入力面から所定の入力光を与えて、前記光学結晶体の内部を通る所定の経路に設けた周期的ドメイン反転部の前記非線形光学性によって擬似位相整合を行わせることにより、前記光学結晶体の所定の出力面から所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光による出力光を送出する光デバイスであって、前記光学結晶体の

光軸と直交する方向の両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所に、対向する電極を配置してなるQスイッチ用電極手段を具備することを特徴とする光デバイス。

4. 非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体の所定の入力面から所定の入力光を与えて、前記光学結晶体の内部を通る所定の経路に設けた周期的ドメイン反転部の前記非線形光学性によって擬似位相整合を行わせることにより、前記光学結晶体の所定の出力面から所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光による出力光を送出する光デバイスであって、

a. 前記光学結晶体の光軸と直交する方向の両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所に、対向する電極を配置してなるQスイッチ用電極手段と、

b. 前記対向する電極の間に印加する電圧に所定の変化を与えることにより、前記電気光学性にもとづいて前記出力光に対するQスイッチを行うQスイッチ手段と

を具備することを特徴とする光デバイス。

5. 前記入力光によって前記光学結晶体の中のレーザ活性イオンを励起することにより前記レーザ活性および前記経路の全長によって定まる第1の周波数をもつコヒーレントな光を発生するとともに、前記擬似位相整合によって、前記第1の周波数の2倍の周波数をもつ前記出力光を送出する請求の範囲1～4のいずれかに記載の光デバイス。

6. 前記入力光によって前記光学結晶体の中のレーザ活性イオンを励起することにより前記レーザ活性および前記経路の全長によって定まる第1の周波数をもつコヒーレントな光を発生するとともに、前記擬似位相整合によって、前記第1の周波数と前記第1の周波数のパラメトリック発振による第2の周波数をもつ出力光と第3の周波数とのうちの所要のものを前記出力光として送出的請求の範囲1～4のいずれかに記載の光デバイス。

7. 前記入力光を2つの入力光とし、前記2つの入力光のうちの1つの入力光によって前記光学結晶体の中のレーザ活性イオンを励起することにより前記レ

ーザ活性および前記経路の全長によって定まる第1の周波数をもつコヒーレントな光を発生するとともに、前記擬似位相整合によって、前記2つの入力光のうちの他の1つの入力光をもつ第2の周波数と前記第1の周波数との差の周波数をもつ前記出力光を送出する請求の範囲1～4のいずれかに記載の光デバイス。

8. 前記入力光を第1の周波数をもつ入力光とし、前記入力光によって前記光学結晶体の中のレーザ活性イオンを励起することにより前記レーザ活性および前記経路の全長によって定まる第2の周波数をもつコヒーレントな光を発生するとともに、前記擬似位相整合によって、第2の周波数と前記第1の周波数との差の周波数をもつ前記出力光を送出する請求の範囲1～4のいずれかに記載の光デバイス。

9. 非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体の所定の入力面から所定の入力光を与えて、前記光学結晶体の内部を通る所定の経路に設けた周期的ドメイン反転部の前記非線形光学性によって擬似位相整合を行わせることにより、前記光学結晶体の所定の出力面から所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光による出力光を送出する光デバイスであって、

I. 前記光学結晶体の光軸と直交する方向の両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所とは異なる箇所に、第1の対向する電極を配置してなるQスイッチ用電極手段と、

II. 前記両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所と前記第1の対向する電極の配置箇所との両箇所とは異なる箇所に、第2の対向する電極を配置してなる位相調整用電極手段と

を具備することを特徴とする光デバイス。

10. 非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体の所定の入力面から所定の入力光を与えて、前記光学結晶体の内部を通る所定の経路に設けた周期的ドメイン反転部の前記非線形光学性によって擬似位相整合を行わせることにより、前記光学結晶体の所定の出力面から所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光による出力光を送出する光デバイスであって、

a. 前記光学結晶体の光軸と直交する方向の両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所とは異なる箇所に、第1の対向する電極を配置してなるQスイッチ用電極手段と、

b. 前記第1の対向する電極に印加する電圧に所定の変化を与えることにより、前記電気光学性にもとづいて前記出力光に対するQスイッチを行うQスイッチ手段と、

c. 前記両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所と前記第1の対向する電極の配置箇所との両箇所とは異なる箇所に、第2の対向する電極を配置してなる位相調整用電極手段と、

d. 前記第2の対向する電極の間に印加する電圧に所定の変化を与えることにより、前記電気光学性にもとづいて前記経路の中を伝搬する光の位相を調整する位相調整手段と

を具備することを特徴とする光デバイス。

11. 非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体の所定の入力面から所定の入力光を与えて、前記光学結晶体の内部を通る所定の経路に設けた周期的ドメイン反転部の前記非線形光学性によって擬似位相整合を行わせることにより、前記光学結晶体の所定の出力面から所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光による出力光を送出する光デバイスであって、

I. 前記光学結晶体の光軸と直交する方向の両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所に、第1の対向する電極を配置してなるQスイッチ用電極手段と、

II. 前記両表面における前記第1の対向する電極の配置箇所とは異なる箇所に、第2の対向する電極を配置してなる位相調整用電極手段と

を具備することを特徴とする光デバイス。

12. 非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体の所定の入力面から所定の入力光を与えて、前記光学結晶体の内部を通る所定の経路に設けた周期的ドメイン反転部の前記非線形光学性によって擬似位相整合を行わ

せることにより、前記光学結晶体の所定の出力面から所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光による出力光を送出する光デバイスであって、

a. 前記光学結晶体の光軸と直交する方向の両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所に、第1の対向する電極を配置してなるQスイッチ用電極手段と、

b. 前記第1の対向する電極印加する電圧に所定の変化を与えることにより、前記電気光学性にもとづいて前記出力光に対するQスイッチを行うQスイッチ手段と、

c. 前記両表面における前記第1の対向する電極の配置箇所とは異なる箇所に、第2の対向する電極を配置してなる位相調整用電極手段と、

d. 前記第2の対向する電極の間に印加する電圧に所定の変化を与えることにより、前記電気光学性にもとづいて前記経路の中を伝搬する光の位相を調整する位相調整手段と

を具備することを特徴とする光デバイス。

13. 非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体の所定の入力面から所定の入力光を与えて、前記光学結晶体の内部を通る所定の経路に設けた周期的ドメイン反転部の前記非線形光学性によって擬似位相整合を行わせることにより、前記光学結晶体の所定の出力面から所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光による出力光を送出する光デバイスであって、前記光学結晶体の光軸と直交する方向の両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所とは異なる箇所に、対向する電極を配置してなる位相調整用電極手段を具備することを特徴とする光デバイス。

14. 非線形光学性、電気光学性およびレーザ活性を有する光学結晶体の所定の入力面から所定の入力光を与えて、前記光学結晶体の内部を通る所定の経路に設けた周期的ドメイン反転部の前記非線形光学性によって擬似位相整合を行わせることにより、前記光学結晶体の所定の出力面から所定の周波数をもつコヒーレントなビーム光による出力光を送出する光デバイスであって、

a. 前記光学結晶体の光軸と直交する方向の両表面における前記周期的ドメイン反転部の配置箇所とは異なる箇所に、対向する電極を配置してなる位相調整用電極手段と、

b. 対向する電極の間に印加する電圧に所定の変化を与えることにより、前記電気光学性にもとづいて前記経路の中を伝搬する光の位相を調整する位相調整手段と

を具備することを特徴とする光デバイス。

15. 前記入力光によって前記光学結晶体の中のレーザ活性イオンを励起することにより前記レーザ活性および前記経路の全長によって定まる第1の周波数をもつコヒーレントな光を発生するとともに、前記擬似位相整合によって、前記第1の周波数の2倍の周波数を持つ前記出力光として送出する請求の範囲9～14のいずれかに記載の光デバイス。

16. 前記入力光によって前記光学結晶体の中のレーザ活性イオンを励起することにより前記レーザ活性および前記経路の全長によって定まる第1の周波数をもつコヒーレントな光を発生するとともに、前記擬似位相整合によって、前記第1の周波数と、前記第1の周波数のパラメトリック発振による第2の周波数を持つ出力光と第3の周波数を持つ出力光とのうちの所要のものを前記出力光として送出する請求の範囲9～14のいずれかに記載の光デバイス。

17. 前記入力光を2つの入力光とし、前記2つの入力光のうちの1つの入力光によって前記光学結晶体の中のレーザ活性イオンを励起することにより前記レーザ活性および前記経路の全長によって定まる第1の周波数をもつコヒーレントな光を発生するとともに、前記擬似位相整合によって、前記2つの入力光のうちの他の1つの入力光のもつ第2の周波数と前記第1の周波数との差の周波数をもつ前記出力光を送出する請求の範囲9～14のいずれかに記載の光デバイス。

18. 前記入力光を第1の周波数をもつ入力光とし、前記入力光によって前記光学結晶体の中のレーザ活性イオンを励起することにより前記レーザ活性および前記経路の全長によって定まる第2の周波数をもつコヒーレントな光を仲介光

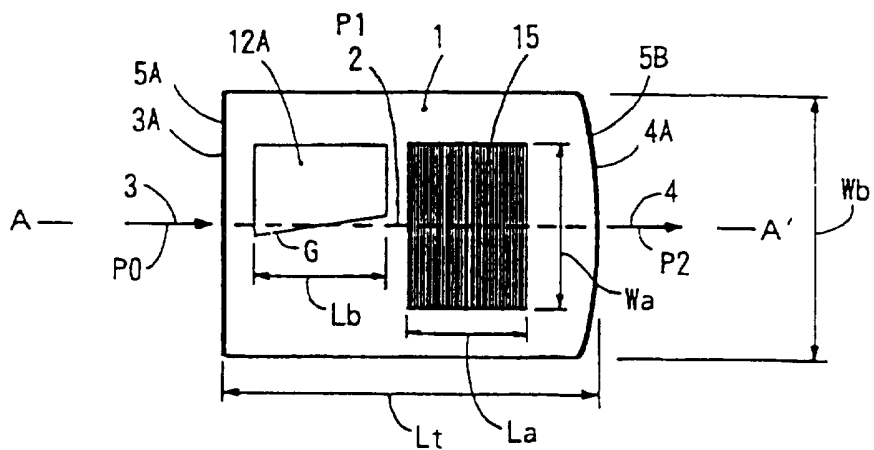
として発生するとともに、前記擬似位相整合によって、第2の周波数と前記第1の周波数との差の周波数をもつ前記出力光を送出する請求の範囲9～14のいずれかに記載の光デバイス。

19. 前記光学結晶体を四角形の板状に形成し、前記四角形の対向する2つの面を前記入力面と前記出力面として形成するとともに、前記経路を直線状の経路によって形成した請求の範囲1～請求の範囲18のうちのいずれかの光デバイス。

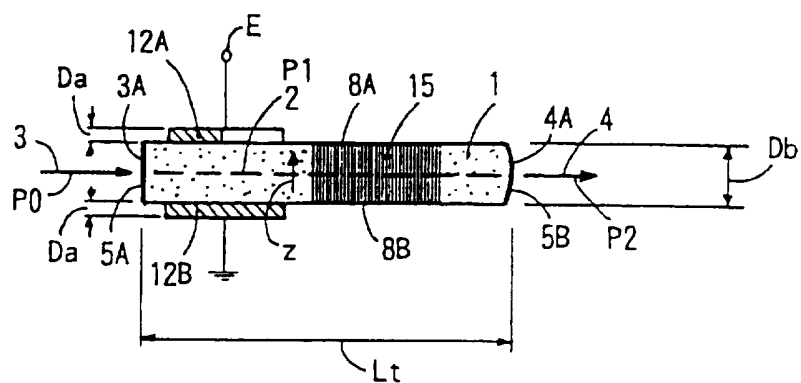
20. 前記光学結晶体を多角形の板状に形成し、前記多角形の1つの辺に相当する面を前記入力面と前記出力面として形状するとともに、前記経路を前記多角形の所定の辺で反射する経路によって形成した請求の範囲1～請求の範囲18のうちのいずれかの光デバイス。

1

〔平面〕



〔A-A' 断面〕



〔斜 視〕

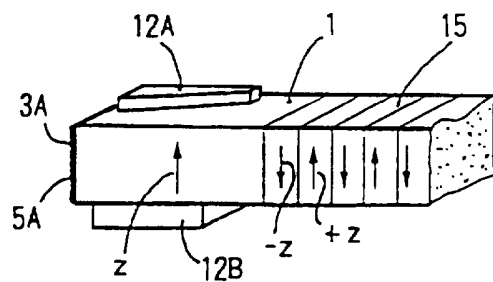


図 2

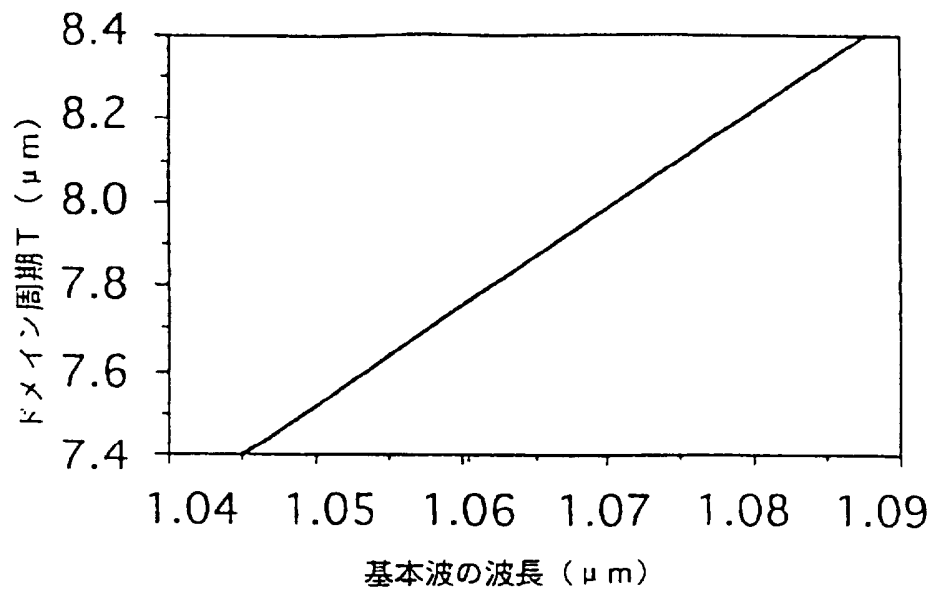
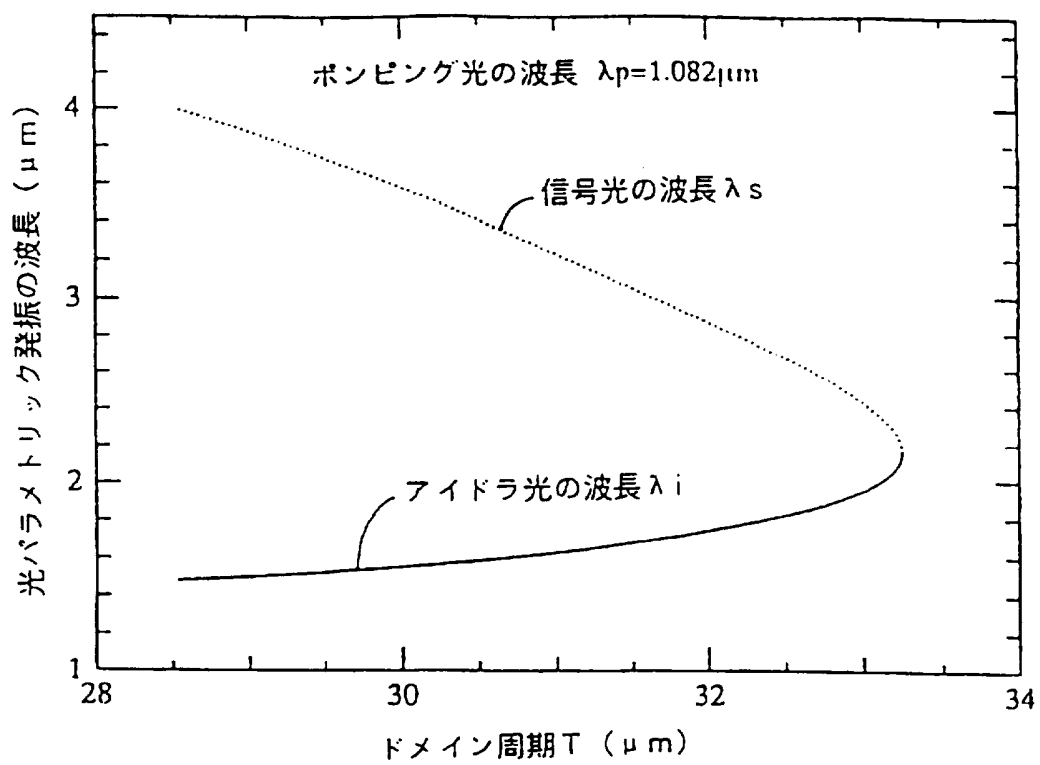
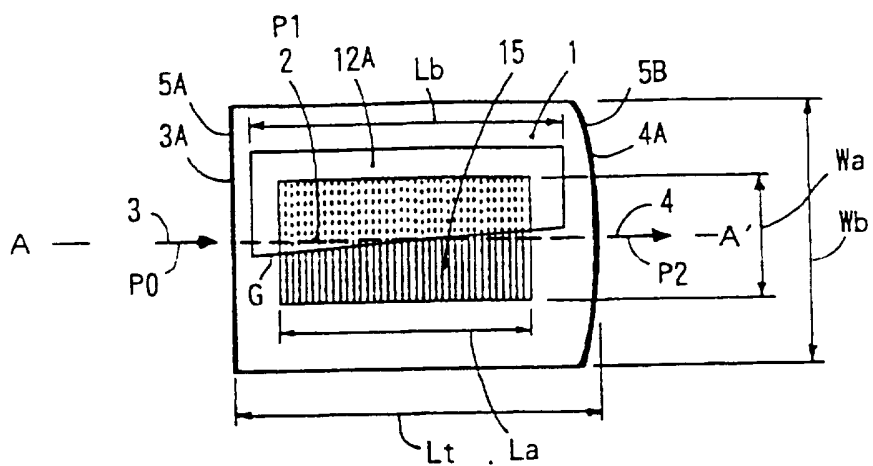


図 3



4

[平面]



[A-A' 断面]

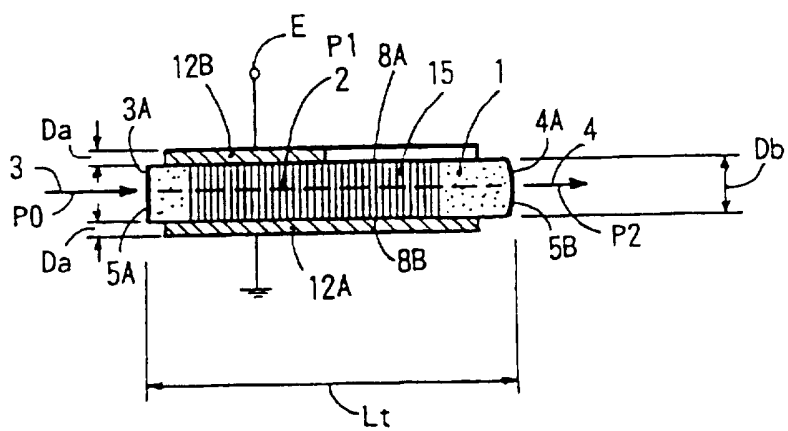
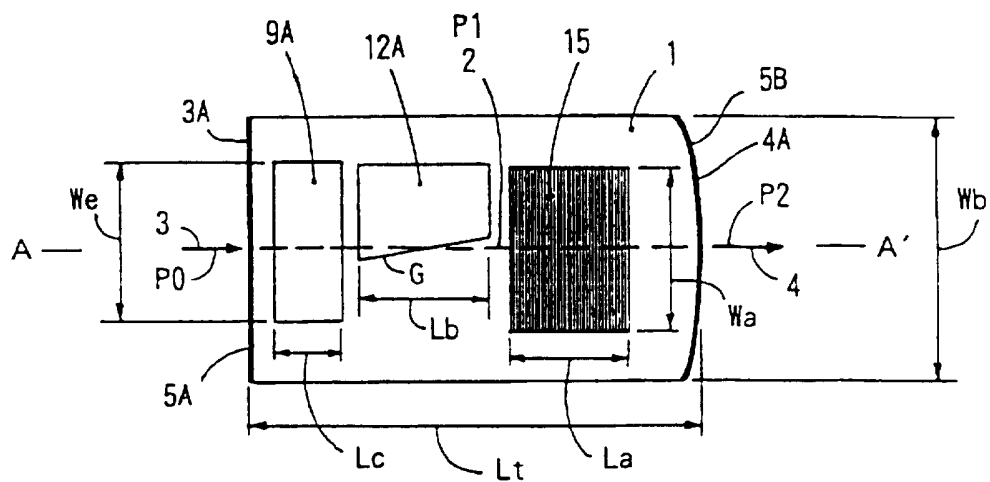
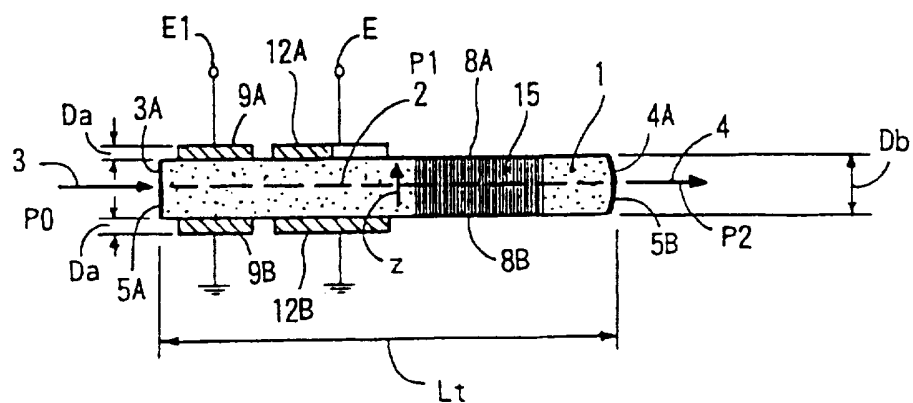


図 5

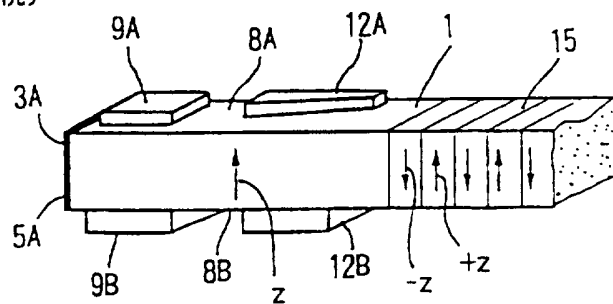
〔平面〕



〔A-A' 断面〕

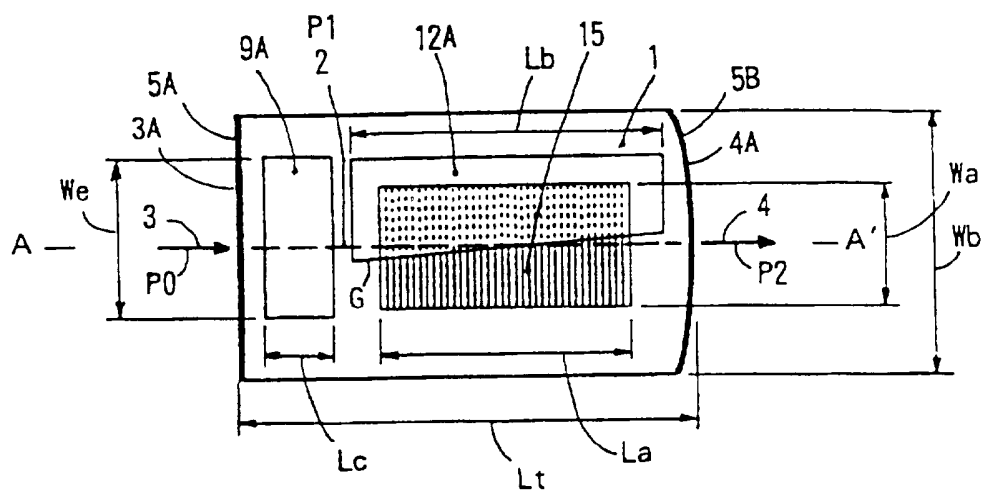


〔斜 視〕

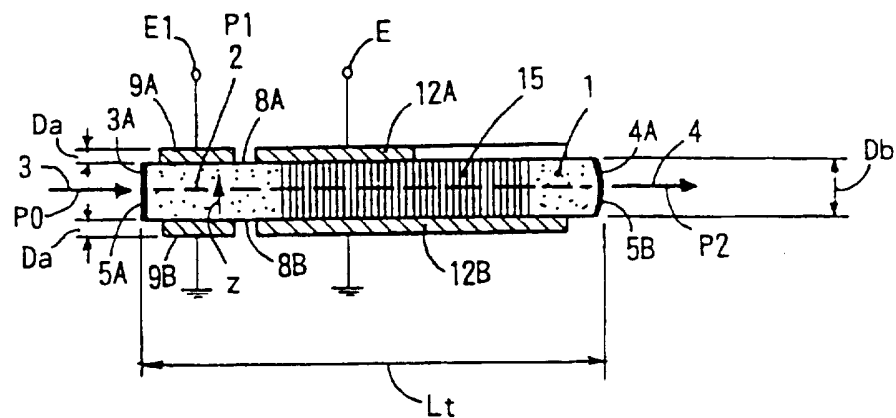


 6

〔平面〕

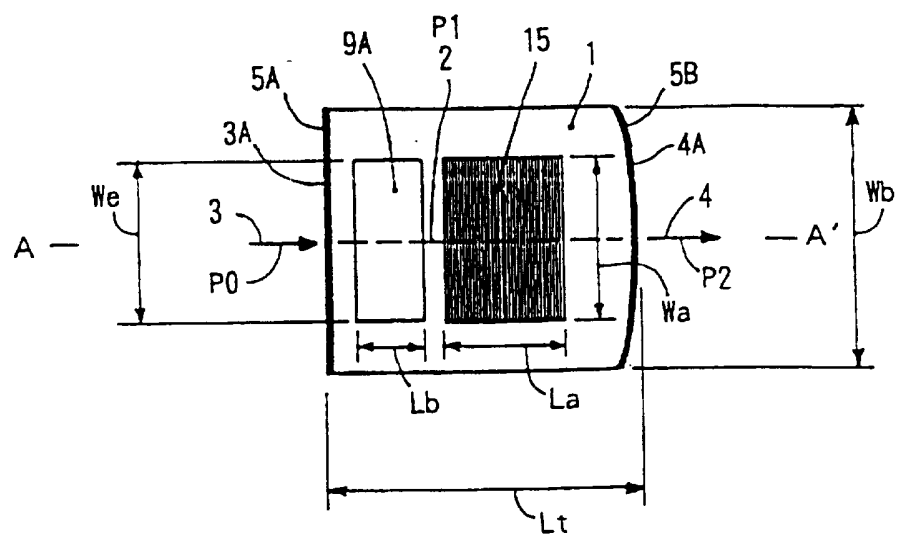


〔A-A' 断面〕

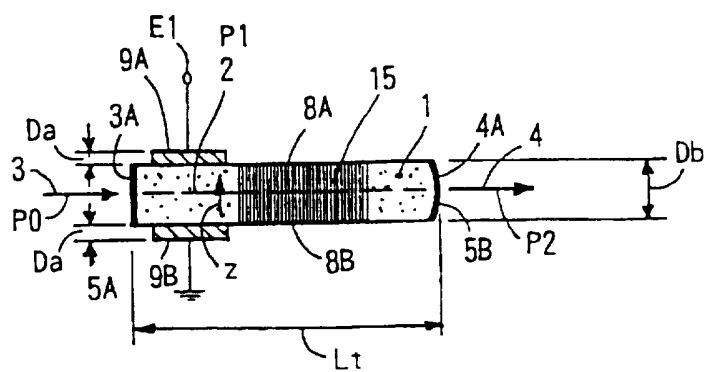


 7

〔平面〕



〔A-A' 断面〕



8

(平 面)

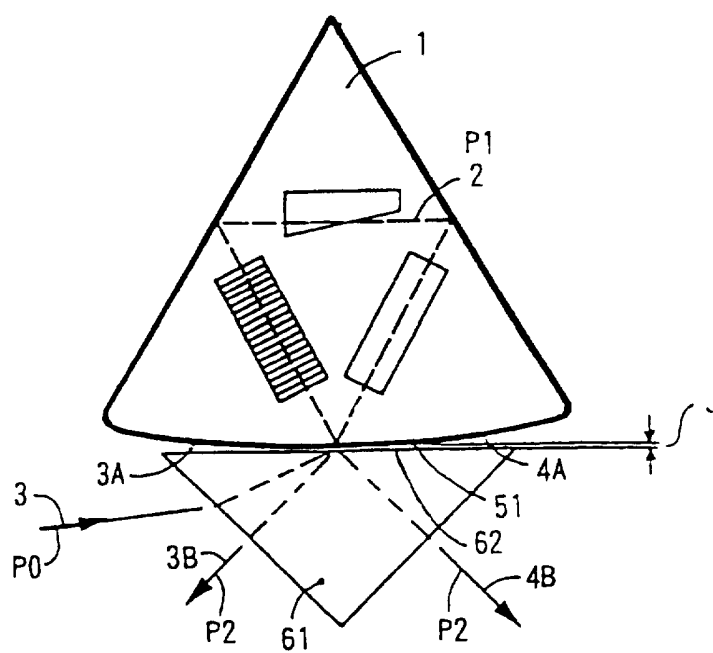
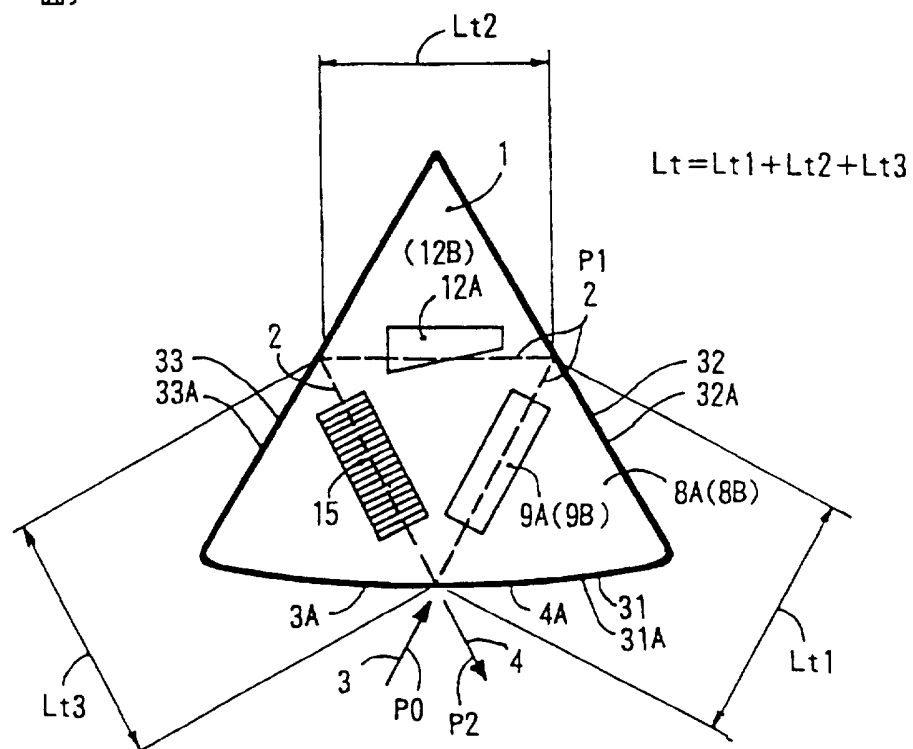


図 9

(平面)

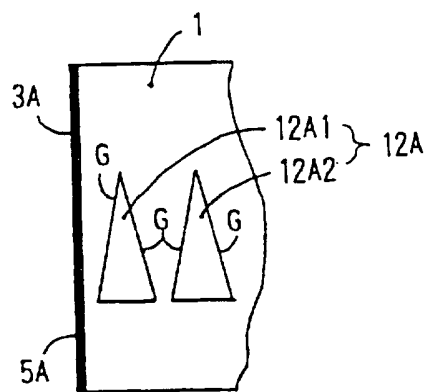
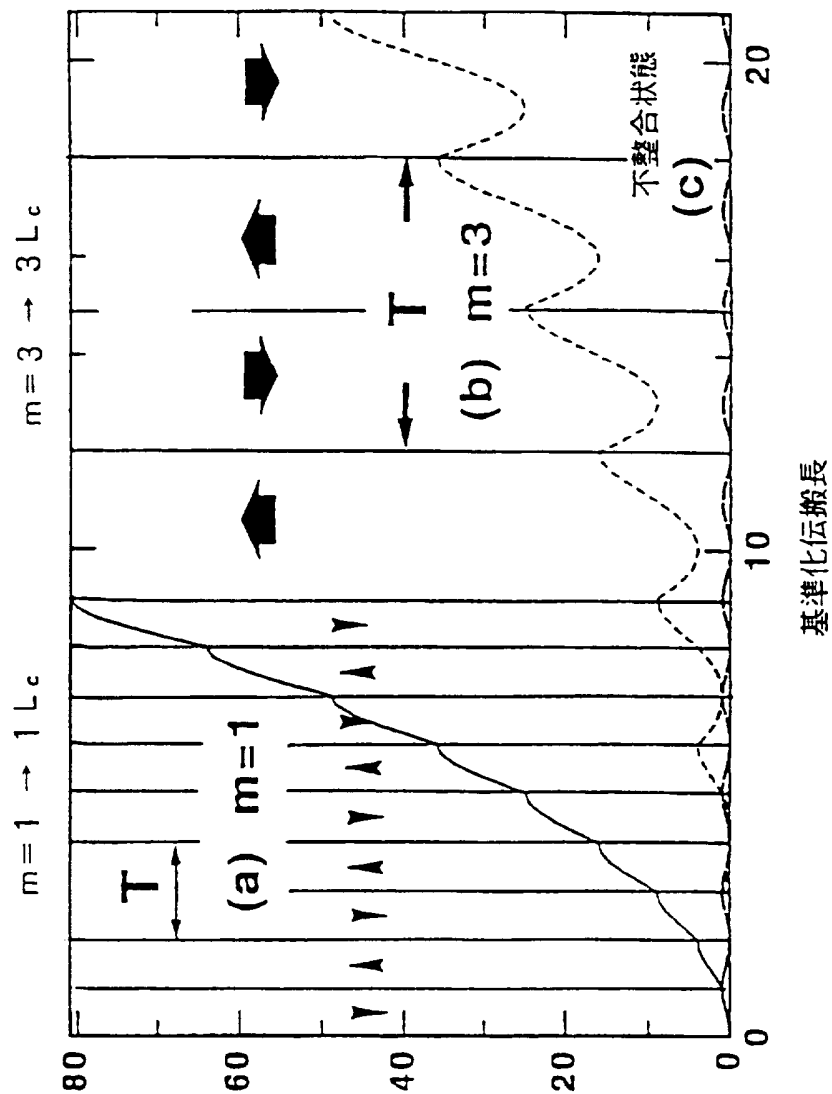
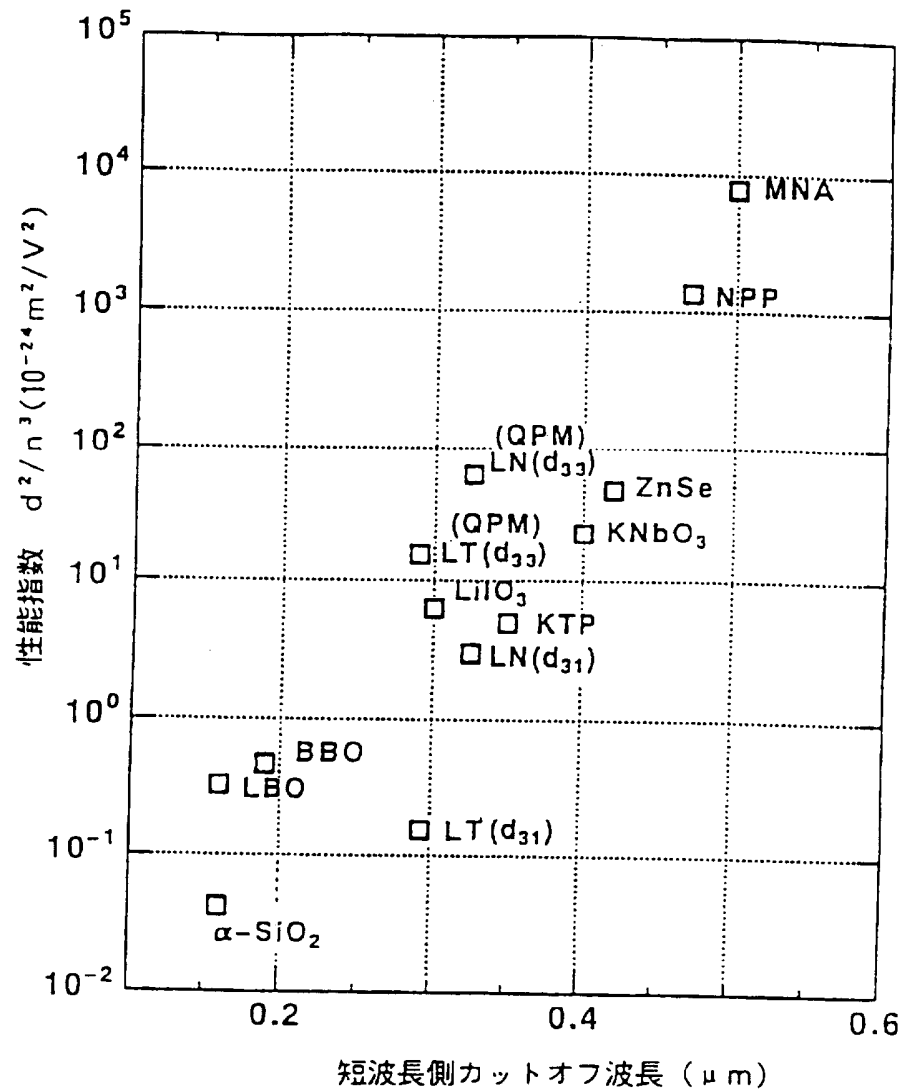


図 1 O



第2高調波の強度（任意目盛）

 1 1
 $\alpha\text{-SiO}_2$ = 水晶

BBO = ホリ酸バリウム

LiIO₃ = ヨウ素酸リチウム

NPP = (有機材料)

LT = LiTaO₃ = タンタル酸リチウムLN = LiNbO₃ = ニオブ酸リチウムKNbO₃ = ニオブ酸カリウム

MNA = (有機材料)

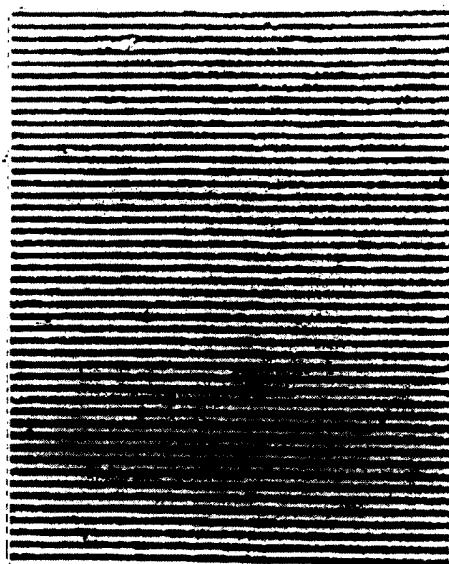
LOB = トリホリ酸リチウム

KTP = リン酸チタニルカリウム

ZnSe = セレン化亜鉛

図 1 2

電子ビーム照射面
[- z 面 顕微鏡写真]



裏面
[+ z 面 顕微鏡写真]



図 1 3

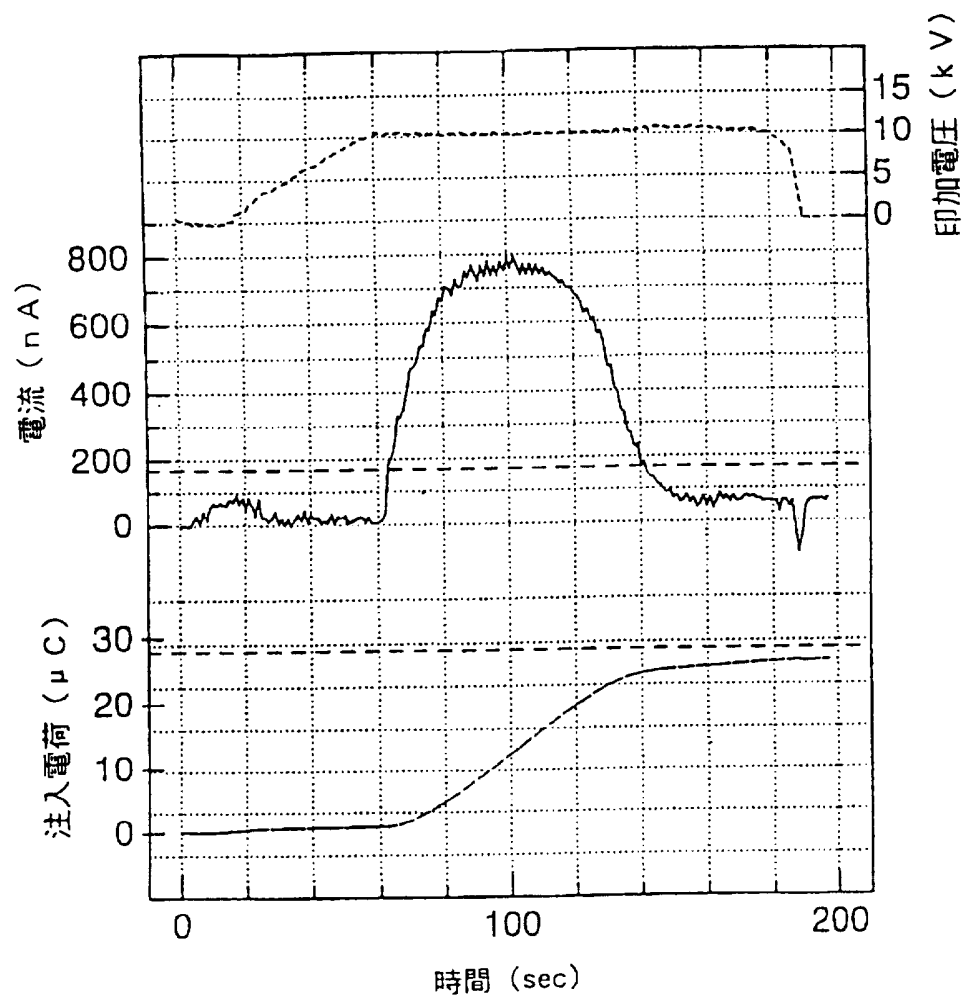
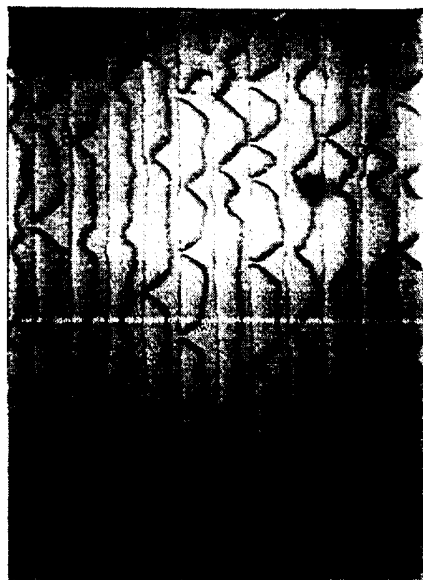


図 1 4

〔一様電極側(+z面)顕微鏡写真〕

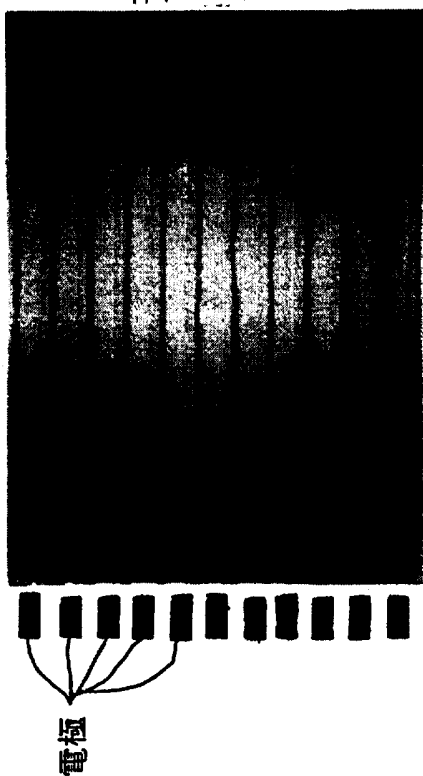


〔+z面内部顕微鏡写真〕



図 1 4

〔パターン電極側(-z面)顕微鏡写真〕



〔-z面内部顕微鏡写真〕



図 15

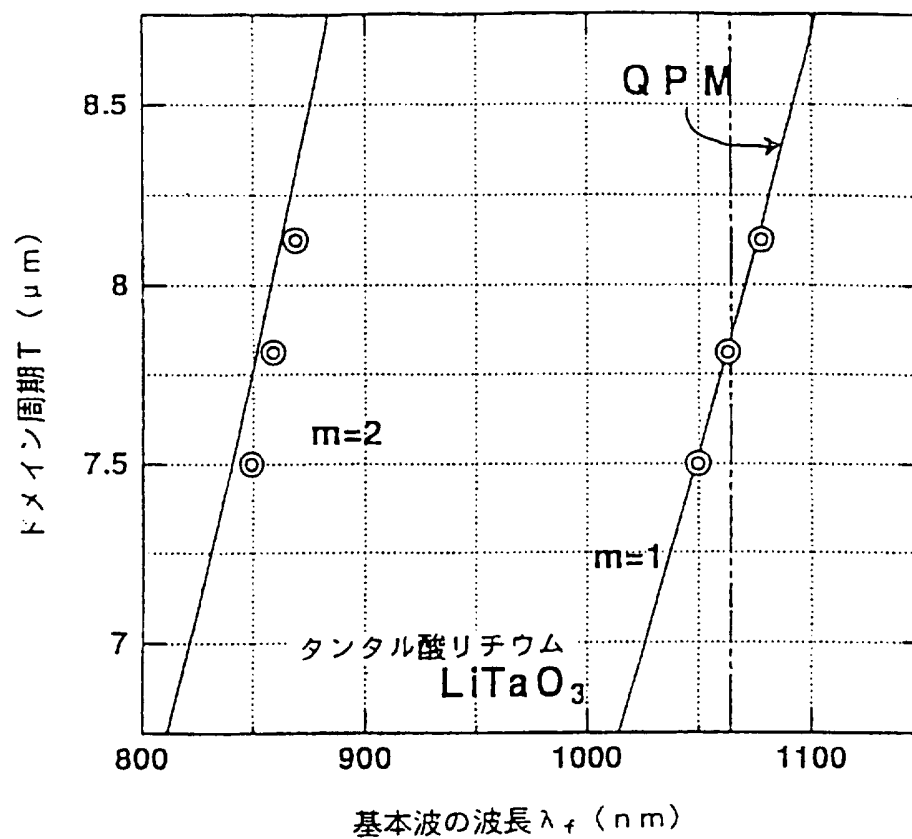
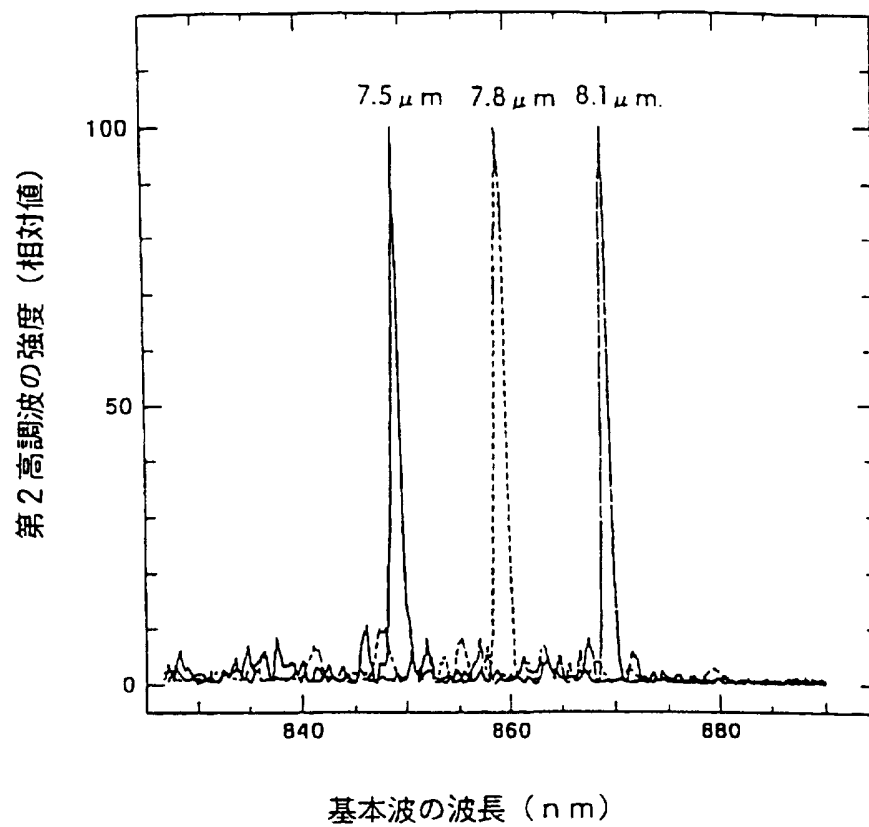


図 16



 1 7

[代表的な非線形光学結晶の
テンソル成分 d_{33} と
テンソル成分 d_{31} の比較]

結 晶	透過域 (nm)	d_{33} (pm/V)	d_{31} (pm/V)
LiNbO_3	320-5000	-40	-6
LiTaO_3	280-5000	-18	-1
KTP	350-4500	-14	-7
KNbO_3	350-4000	-27	-16

LiNbO_3 = ニオブ酸リチウム
 LiTaO_3 = タンタル酸リチウム
 KTP = リン酸チタニルカリウム
 KNbO_3 = ニオブ酸カリウム

18

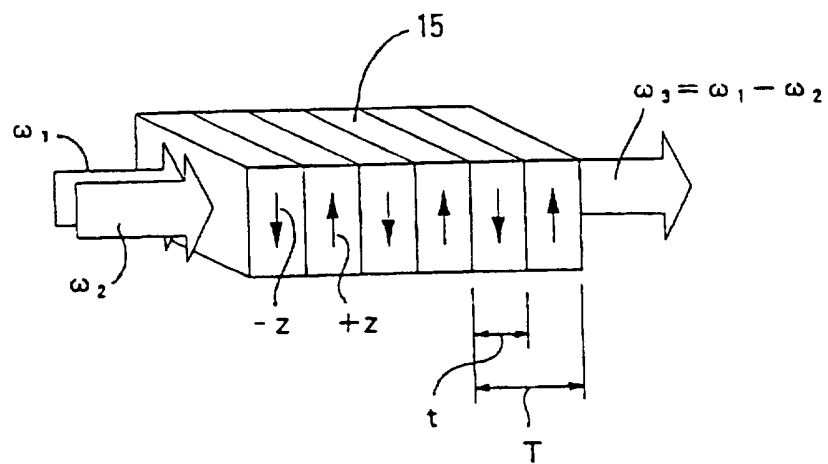
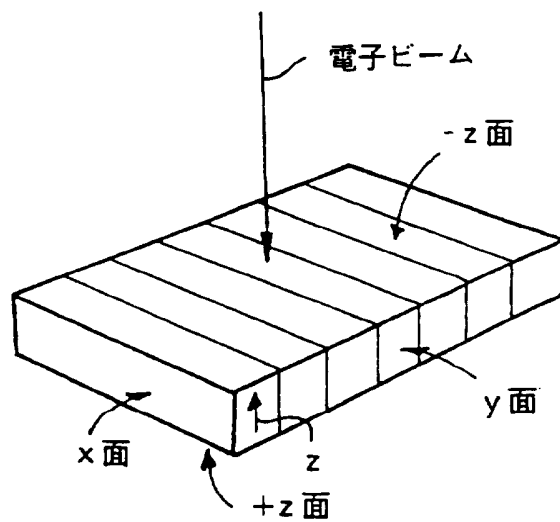


図 19



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP96/03149

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl⁶ G02F1/37

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 G02F1/37, H01S3/109, H01S3/115

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

Jitsuyo Shinan Koho	1926 - 1997
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971 - 1997
Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994 - 1997

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 4-296731, A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), October 21, 1992 (21. 10. 92), Paragraphs 15 to 17; Fig. 5	1 - 20
Y	JP, 7-92513, A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), April 7, 1995 (07. 04. 95), Paragraphs 42 to 67; Fig. 1 & EP, 644636, A2 & US, 5504616, A	1 - 20
Y	JP, 6-88979, A (Sumitomo Cement Co., Ltd.), March 29, 1994 (29. 03. 94)	1-12, 15-20
Y	JP, 4-172329, A (NEC Corp.), June 19, 1992 (19. 06. 92), Fig. 7	13 - 20
Y	JP, 6-27509, A (NEC Corp.), February 4, 1994 (04. 02. 94), Fig. 2	20

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

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

February 7, 1997 (07. 02. 97)

Date of mailing of the international search report

February 18, 1997 (18. 02. 97)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP96/03149

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 5-241217, A (Hitachi Metals, Ltd.), September 21, 1993 (21. 09. 93), Fig. 1 & US, 5412502, A	20

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁶ G02F1/37

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. Cl⁶ G02F1/37,Int. Cl⁶ H01S3/109, H01S3/115

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 1926-1997

日本国公開実用新案公報 1971-1997

日本国登録実用新案公報 1994-1997

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P, 4-296731, A (松下電器産業株式会社) 21. 10月. 1992 (21. 10. 1992), 第15-17段落および図5	1-20
Y	J P, 7-92513, A (沖電気工業株式会社) 7. 4月. 1995 (07. 04. 1995), 第42-67段落および図1 & EP, 644636, A2&US, 5504616, A	1-20
Y	J P, 6-88979, A (住友セメント株式会社) 29. 3月. 1994 (29. 03. 1994),	1-12, 15-20

☒ 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

07. 02. 97

国際調査報告の発送日

18.02.97

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100

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)

大淵 統正

2K

9411

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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
Y	JP, 4-172329, A (日本電気株式会社) 19. 6月. 1992 (19. 06. 1992), 第7図	13-20
Y	JP, 6-27509, A (日本電気株式会社) 4. 2月. 1994 (04. 02. 1994), 図2	20
Y	JP, 5-241217, A (日立金属株式会社), 21. 9月. 1993 (21. 09. 1993), 図1&US, 5412502, A	20