

平成 22 年 6 月 26 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19560038
 研究課題名（和文） 電気光学係数と圧電定数の相対的符号の決定及び電気光学係数の波長分散特性の測定
 研究課題名（英文） Measurement of absolute values and relative signs of electrooptic coefficients and piezoelectric constants and wavelength dependence of the electrooptic coefficients
 研究代表者
 滝沢 國治 (TAKIZAWA KUNIHARU)
 成蹊大学・理工学部・教授
 研究者番号：80327973

研究成果の概要（和文）：サンプルを2分割する新しい計測法により、LiNbO₃、LiTaO₃結晶の電気光学係数と圧電定数の絶対値と相対符号を測定した。また、多重反射干渉法により、LiNbO₃結晶の電気光学係数 r_{13} 、 r_{22} 、 r_{33} の波長依存性（波長 409-3390nm）と r_{51} の波長依存性（441.6-1580nm）を初めて測定した。

研究成果の概要（英文）：Absolute values and relative signs of electrooptic coefficients and piezoelectric constants of LiNbO₃ and LiTaO₃ crystals were measured by a novel method dividing the sample into two. The electrooptic coefficients r_{13} , r_{33} and r_{22} of LiNbO₃ crystal in the wavelength range 409-3390nm and r_{51} in the wavelength range 441.6-1580nm were measured for the first time by the multiple interference method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用光学 光学素子・装置・材料

キーワード：応用光学 結晶工学 計測工学 誘電体物性 光スイッチ

1. 研究開始当初の背景

(1) 電気光学(EO)結晶は、光通信、光情報処理、光記録、表示など様々な分野で光デバイスへの応用が進められている。デバイス設計にはEO係数、圧電定数、光弾性定数などの光学定数が必要であるが、殆どの結晶においてそれらの符号は不明である。LiNbO₃、LiTaO₃結晶など少数のEO結晶では各光学定数の符号が測定されているが、それらの結晶でも光

学定数の間の相対的符号関係は不明である。3種類の光学定数の符号関係が不明であること、および光学定数測定や光デバイス設計の際に逆圧電効果が考慮されていないことが、EO係数のこれまでの測定値の大幅なばらつきを引き起こし、精密な光デバイス設計を困難にしている。

(2) EO係数は、屈折率と同様に大きな波長依存性をもつが、その波長分散特性を測定した報告は、殆ど無い。最も詳しく調べられてい

る LiNbO₃ 結晶でも、Chrakadze らの r_{22} の波長分散(420-1000nm)が知られているだけである。一方、LiNbO₃ 結晶の応用範囲は、可視光から赤外光領域まで広がっており、広範囲で正確な EO 係数波長分散特性が望まれている。

2. 研究の目的

- (1)測定法を開発し、LiNbO₃, LiTaO₃ 結晶の EO 係数 r_{13} , r_{22} , r_{33} , r_{51} と圧電定数 d_{31} , d_{22} , d_{33} , d_{15} の絶対値と相対的符号を求める。
- (2)測定法を開発し、LiNbO₃ 結晶の 4 種類の EO 係数の波長分散特性(可視光～赤外光領域)を測定する。

3. 研究の方法

- (1) EO 係数と圧電定数の絶対値と相対的符号を決定する測定系(図 1)を開発した。サンプルの EO 結晶を 2 等分割し、入射端面の 1 つに誘電体ミラー M を蒸着した。図 1 ①の 2 個の結晶が Z カットの場合、EO 係数 r_{13} と r_{33} が計測され、2 つが Y カットの場合は、 r_{22} が計測される。②のように一方のサンプルを反転すると、 $r_{13}+2d_{31}/n_o^2$, $r_{33}+2d_{31}/n_o^2$, $r_{22}-2d_{22}/n_o^2$ が計測される。 n_o は結晶の常光線屈折率、 n_e は異常光線屈折率である。さらに、③のように一方の結晶を取り去ると、圧電定数 d_{31} と d_{22} が計測される。これらは、すべて絶対値であるが、3 種類の測定値の大きさを比較することで、 r_{13}/d_{31} , r_{33}/d_{31} , r_{22}/d_{22} の符号を容易に判定できる。

図 1 ①の 1 つを Z カット、他方を Y カット

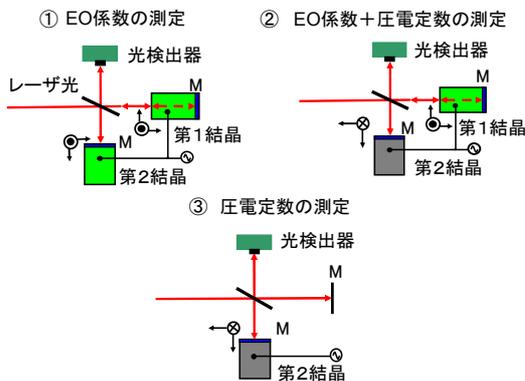


図 1 EO 係数と圧電定数の絶対値と相対符号判定する光学系

とし、2 個とも M 面を入射光側にセットすると、 d_{31} と d_{22} の相対的符号を判定できる。圧電定数 d_{33} と d_{15} も同様の方法で判定可能である。

LiNbO₃ 結晶の EO 係数 r_{51} は、 X_1 軸を中心に、他の 2 軸を 41.5° ~ 74.0° の範囲で回転させた幾つかの結晶を用いて、8 種類の EO 係数と

圧電定数からなる実効的 EO 係数を計測し、これまでの測定結果を用いて、 r_{51} と d_{15} の絶対値と相対的符号を決定した。

- (2)レーザ光源、光アイソレータ、サンプルおよび光検出器を光軸上に並べ、サンプル内の多重反射干渉を利用して、動的位相を精密に計測する多重反射干渉法(図 2)を開発し、この方法により LiNbO₃ 結晶の EO 係数 r_{13} , r_{22} , r_{33} , r_{51} の波長依存性を、可視光から赤外

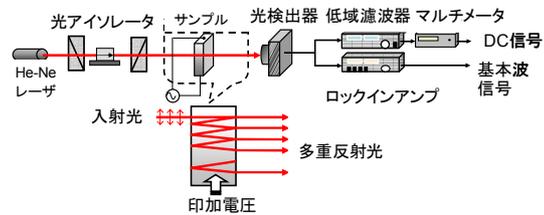


図 2 多重反射干渉計測システム

光まで計測した。計測に用いたレーザ光源を表 1 に示す。このように多数の光源を用いて干渉計測できた理由は、多重反射干渉法の優れた簡便性と計測安定性に因るものである。

表 1 計測に用いられたレーザ光源

波長	レーザ光源	メーカー	Lc	発振モード
409	GaN laser	Pointsource	0.35	Multi
441.6	He-Cd laser	KIMMON Electric	100	Single
488, 515	Ar laser	Spectra Physics	1993	
543.5	He-Ne laser	MELLES GRIOU	214	
594.1		Spectra Physics	214	
632.8		Spectra Physics	399	
700-900	Ti-Sa laser	Showa Optronics	150	
1064	Nd:YAG laser	NEC	no data	Multi
1340	Nd:YAP laser	laser Export	2	
1480-1580	InGaAsP laser	Hewlett-Packard	1196	
3390	He-Ne laser	Neocark	1000	Single

Lc: コヒーレンス長 (mm)

4. 研究成果

- (1)He-Ne レーザ(波長: 632.8nm)を用いて、コングルエント LiNbO₃ 結晶と LiTaO₃ 結晶の EO 係数と圧電定数の絶対値と相対的符号を測定した結果を表 2 にまとめて示す。

表 2-1 LiNbO₃ と LiTaO₃ の EO 係数と圧電定数の絶対値と相対的符号関係

LiNbO ₃ 結晶の EO 係数(pC/V)			
r_{13}	r_{22}	r_{33}	r_{51}
+9.35 ± 0.01	+6.53 ± 0.19	+30.52 ± 0.03	+33.2 ± 0.68
LiNbO ₃ 結晶の圧電定数(pC/N)			
d_{31}	d_{22}	d_{33}	d_{15}
-0.74 ± 0.02	+21.2 ± 0.3	+10.5 ± 1.5	+77.1 ± 0.95

表 2-2 LiNbO₃ と LiTaO₃ の EO 係数と圧電定数の絶対値と相対的符号関係

LiTaO ₃ 結晶のEO係数(pm/V)			
r_{13}	r_{22}	r_{33}	r_{51}
+7.09±0.04	+0.145±0.057	+28.4±0.1	

LiTaO ₃ 結晶の圧電定数(pC/N)			
d_{31}	d_{22}	d_{33}	d_{15}
+3.28±0.04	+8.45±0.11		

LiNbO₃ 結晶の d_{33} の従来の報告値は、8~16 pC/N という大きなばらつきがあった。これは、 d_{33} の激しい共振特性に因るものであり、交流電圧を加えるだけの方法では、安定に計測することは出来なかった。そこで、交流電圧に階段状電圧を加えるステップバイアス変調法を開発し、+10.5±1.5 pC/N を得た。

LiNbO₃ 結晶の r_{51} を求める従来の方法は、逆圧電効果を見逃していることと、印加電界のフリッジ効果のため、大きな誤差を含んでいた。本研究の測定値とフリッジ効果を含む従来値がそれほど変わらないのは、 r_{33} や r_{22} などによるフリッジ効果の影響が偶然にも r_{51} の正值に近かったためと考えられる。これを確かめるため、従来の方法で LiTaO₃ 結晶の r_{61} ($=r_{22}$) を計測したところ、正值の約百倍となる大きな値を得た。これは、三方晶系 C_3 では、フリッジ効果が、 r_{51} や r_{61} などの交差係数に大きな影響を及ぼす事を示している。

(2) LiNbO₃ 結晶の EO 係数 r_{13} 、 r_{22} 、 r_{33} の波長依存性を 409 nm~3390 nm にわたり、計測した。(図 3~図 5) また、EO 係数 r_{51} の波長依存性を 441.6 nm~1580 nm にわたり初めて計測した。(図 6) LiNbO₃ 結晶の EO 係数の波長依存性がこれほど広範囲に精密測定されたことはこれまでに無く、これらのデータは、LiNbO₃ 結晶の物性や光デバイスの設計に貢献するであろう。また、これらの値は、逆圧電効果を排除した応力一定状態の値であり、 $r_{13}+2d_{31}/n_o^2$ 、 $r_{33}+2d_{31}/n_o^2$ 、 $r_{22}-2d_{22}/n_o^2$ を計算すれば、これまで良く知られた応力一定状態の値とほぼ一致する。

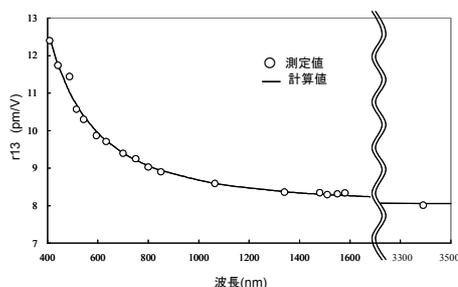


図 3 LiNbO₃ 結晶の r_{13} の波長依存性

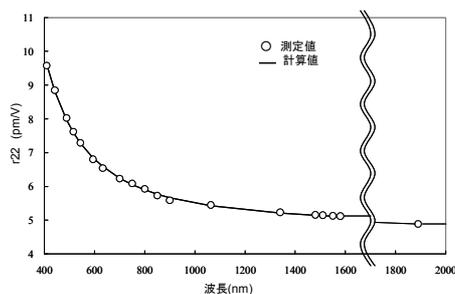


図 4 LiNbO₃ 結晶の r_{22} の波長依存性

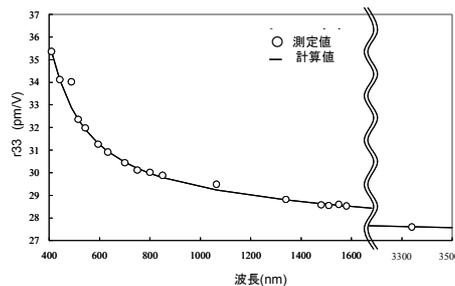


図 5 LiNbO₃ 結晶の r_{33} の波長依存性

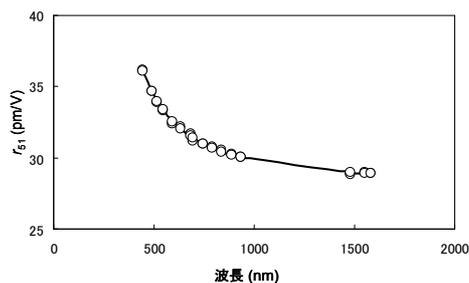


図 6 LiNbO₃ 結晶の r_{51} の波長依存性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

① 滝沢國治、金蓮花、ポラリメータ用 Y カット Z 軸伝搬 LiNbO₃ 光変調器の温度特性、成蹊大学理工学研究報告、Vol. 47、 No. 1、 pp. 15-25、 82010). 査読無

② L. Jin, M. Kasahara, B. Gelloz and K. Takizawa, "Polarization properties of scattered light from macrorough surfaces," Opt. Lett., Vol. 35. No. 4, pp. 595-597 (2010). 査読有

③ Kuniharu Takizawa, Kazuya Yonekura and Lianhua Jin, "Temperature characteristics of a Y-cut Z-propagation LiNbO₃ light modulator for application to polarimeters," Opt. Rev., Vol. 17, No. 1, pp. 30-40, (2010). 査読有

④ Lianhua Jin and Kuniharu Takizawa,

“Stokes parameters of reflected and scattered light by a rough surface,” *Optical Inspection and Metrology for Non-Optics Industries*. Edited by Huang, Peisen S.; Yoshizawa, Toru; Harding, Kevin G. Proceedings of the SPIE, Vol. 7432, pp. 74320B-1-74320B-9 (2009). 査読無

⑤ Kuniharu Takizawa, Lianhua Jin, Yoshihiro Yoshida and Kazuya Yonekura, “Performance of a television camera system for the detection of oil slicks”, *Opt. Eng.*, Vol. 47, NO.9, pp.093801-1-093801-8, (2008). 査読有

⑥ Kazuya Yonekura, Lianhua Jin and Kuniharu Takizawa “Measurement of dispersion of effective electro-optic coefficients r_{13}^E and r_{33}^E of non-doped congruent LiNbO_3 crystal” *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 47, No. 7, pp. 5503-5508 (2008). 査読有

⑦ Lianhua Jin, Kazuya Yonekura and Kuniharu Takizawa, “Effect of multiple reflections on the accuracy of electro-optic coefficients measurements,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 46, No. 12, pp. 7904-7911 (2007). 査読有

⑧ Kazuya Yonekura, Lianhua Jin and Kuniharu Takizawa “Measurement of wavelength dependence of electro-optic coefficients r_{22} of non-doped and 5% MgO-doped congruent LiNbO_3 crystals and 1.8% MgO-doped quasi-stoichiometric LiNbO_3 crystal by multiple reflection interference method,” *Opt. Rev.*, Vol. 14, No. 4, pp. 194-200 (2007). 査読有

⑨ 滝沢國治、米倉和也、金 蓮花、油膜画像検出用 TV カメラ(スリックカメラ)の設計、成蹊大学理工学研究報告、Vol. 44、No. 1、pp. 63-76 (2007). 査読無

⑩ 米倉和也、金蓮花、滝沢國治、反射干渉法の測定精度改善と LiNbO_3 結晶の電気光学係数 r_{22} の測定、電子情報通信学会論文誌 C、Vol. J89-C、No. 12、pp. 1124-1127 (2007). 査読有

⑪ 鈴木健夫、滝沢國治、レーザの黎明と発展の一側面、電気学会電気技術史研究会資料、HEE-07-13、pp. 1-4 (2007). 査読無

⑫ 米倉和也、金 蓮花、滝沢國治、Y カット LiNbO_3 位相変調器による複屈折と方位角の同時測定、成蹊大学理工学研究報告、Vol.44、No.1、pp.77-81、2007. 査読無

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 17 件)

① 滝沢國治、長谷川智人、飯島崇雄、原口康史、希釈した濁度標準液の吸収・散乱係数の同時測定、2010年3月18日、東海大学 湘南キャンパス

② 金 蓮花、八木亮磨、笠原将孝、ベルナール ジェローズ、滝沢國治、ラフな表面による散乱光の偏光解析、第57回応用物理関連連合講演会、2010年3月18日、東海大学 湘南キャンパス

③ 金 蓮花、齋藤 壮、正村行徳、近藤英一、高和宏行、滝沢國治、デュアル電気光学結晶位相変調器を用いた高速複屈折計測システムの開発：第一報 理論解析、第57回応用物理関連連合講演会、2010年3月18日、東海大学 湘南キャンパス

④ 渡辺雄騎、滝沢國治、原口康史、光ヘテロダイン干渉法を用いた LiTaO_3 結晶の電気光学係数の測定、第57回応用物理関連連合講演会、2010年3月19日、東海大学 湘南キャンパス

⑤ 望月 圭、滝沢國治、原口康史、アズカット LiTaO_3 結晶表面の見掛けの屈折率測定、第57回応用物理関連連合講演会、2010年3月19日、東海大学 湘南キャンパス

⑥ 滝沢國治、伊林亜希子、 LiNbO_3 結晶の電気光学係数 r_{51} と d_{15} の符号および絶対値の測定、*Optics & Photonics Japan 2009*、2009年11月24日、朱鷺メッセ：新潟コンベンションセンター

⑦ 滝沢國治、伊林亜希子、 LiNbO_3 結晶の電気光学係数 r_{51} の波長依存性、*Optics & Photonics Japan 2009*、2009年11月24日、朱鷺メッセ：新潟コンベンションセンター

⑧ 松本有祐、星野智子、吉田 瞳、滝沢國治、 LiNbO_3 結晶の圧電定数 d_{33} の測定、第56回応用物理関連連合講演会、2009年3月31日、筑波大学

⑨ 滝沢國治、金 蓮花、 LiNbO_3 結晶を用いた YZ 光変調器と XZ 光変調器の変調特性と加工誤差の関係、第56回応用物理関連連合講演会、2009年3月31日、筑波大学

⑩ 滝沢國治、金 蓮花、LiNbO₃結晶の電気光学係数 r_{51} の測定、第56回応用物理関連連合講演会、2009年3月31日、筑波大学

⑪ 滝沢國治、金 蓮花、YカットZ伝搬LiNbO₃光変調器と温度補償型LiNbO₃光変調器の温度特性の比較、Optics & Photonics Japan 2008、2008年11月4日、つくば国際会議場

⑫ 松本有祐、吉田 瞳、滝沢國治、微小位相変調と多重反射干渉を利用した電気光学係数の測定、Optics & Photonics Japan 2008、2008年11月5日、つくば国際会議場

⑬ 松本有祐、杉本尚也、米倉和也、金 蓮花、滝沢國治、LiNbO₃結晶の圧電定数 d_{31} の絶対値および相対的符号の決定、第55回応用物理学関係連合講演会、2008年3月28日、武蔵工業大学

⑭ 滝沢國治、米倉和也、金 蓮花、ポラリメータ用YカットZ軸伝搬LiNbO₃光変調器の温度特性、第55回応用物理学関係連合講演会 2008年3月29日 日本大学

⑮ 幸島知之、米倉和也、金 蓮花、滝沢國治、LiNbO₃位相変調器を用いた温度無依存の2次元旋光計測システム、第55回応用物理学関係連合講演会、2008年3月29日、日本大学

⑯ 金蓮花、米倉和、滝沢國治、電気光学係数の測定精度における多重反射の影響、第68回応用物理学会秋季学術講演会、2007年9月5日、北海道工業大学

⑰ 米倉和也、金蓮花、滝沢國治、LiNbO₃結晶の電気光学係数 r_{51} と圧電定数 d_{15} の測定、第68回応用物理学会秋季学術講演会、2007年9月5日、北海道工業大学

[図書] (計 2 件)

① 滝沢國治 (共著)、LCD/光学材料における偏光・複屈折の制御・測定と応用、(技術情報協会)、pp.14-35、2008.

② 滝沢國治 (共著)、各種光学部材における透明樹脂の設計と製造技術(情報機構株式会社)、pp.38-58、2007

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

<http://www.seikei.ac.jp/university/library/st/journal/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

滝沢 國治 (TAKIZAWA KUNIHARU)

研究者番号：80327973

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：