# 電気光学 KTN 結晶を用いた偏波無依存光スキャナ

Polarization-independent optical scanner using electrooptic KTN crystals

○豊田 誠治 宮津 純 佐々木 雄三 今井 欽之 小林 潤也

<sup>O</sup>Seiji Toyoda Jun Miyazu Yuzo Sasaki Tadayuki Imai Junya Kobayashi

日本電信電話株式会社 NTT フォトニクス研究所 NTT Photonics Laboratories, NTT Corporation

## 1. 緒言

優れた電気光学効果を有する $KTa_{1-x}Nb_xO_3(KTN)$ 結晶を用いた光スキャナは、ガルバノミラーなどの機械駆動型光スキャナより高速な光スキャナとして幅広い分野で注目されている。近年、KTN光スキャナを波長掃引光源に応用し掃引速度が 200 kHzに達する 3 次元画像撮像用光源を実現し、その応用領域を拡大している。KTN光スキャナの動作原理としては、最初DCを印加して注入された電荷が形成する残留屈折率分布に対しAC信号を印加することによってその偏向動作が実現されている。この駆動方式でのKTN光スキャナのスキャン全角  $\theta$  は下式となる[1]。

$$\theta x = -n^3 g_{11} e N L \varepsilon \frac{V}{d}$$

$$V$$
(1)

$$\theta y = -n^3 g_{12} e N L \varepsilon \frac{V}{d} \tag{2}$$

 $(n_0:$ 電圧印加前屈折率、L:光路長、g:電気光学定数、 $\epsilon:$ 誘電率、 $\rho:$ 注入電荷密度、V:印加電圧、d:結晶厚)

ここで、 $\theta_x$  は図1(a)に示すように残留電界(x方向)と平行な偏波を入射したときのスキャン角、 $\theta_y$  は残留電界と垂直な偏波(y方向)を入射したときのスキャン角を示す。Kerr 効果のみに電気光学効果が発現するとした既報告では、 $g_{11}$  と  $g_{12}$  の値は各々0.136  $m^4/C^2$  および-0.038  $m^4/C^2$  (633 nm)であり、スキャン角の偏波依存性が大きいと考えられた。よって、KTN光スキャナは  $\theta_x$  のみで用いられスキャン角の偏波依存性は報告されていない。一方、通信応用などでは偏向無依存動作が要求され、偏波無依存動作が可能となれば、KTN光スキャナの応用領域がさらに拡大する。今回、半波長板を介したKTN光スキャナをカスケードに接続し、偏波無依存動作を確認したので報告する。

### 2. 実験

KTN光スキャナ単体の偏波依存性を確認するために残留屈折率分布およびスキャン角の偏波依存性を測定した。電圧印加前にKTNの比誘電率が 17,500 となるように、KTNスキャナの温度をペルチェ素子を用いて温調し諸特性を評価した。前者については、±400 Vの電圧を印加した後電圧をOFFした時の残留屈折率分布の偏波依存性を測定した。後者については、±400 Vの電圧を印加後電圧をOFFし続いてV<sub>p</sub>720Vの200 kHzの正弦波を印加した時のスキャン角の偏波依存性を測定した。

#### 3. KTNスキャナの偏波依存性

図 2 に、位相シフト法による残留屈折率分布の偏波依存性を示す。 $\Delta n_x$  が入射光の偏波と電界が平行な場合の、 $\Delta n_y$  が射光の偏波と電界が垂直な場合の残留屈折率分布である。ここで、残留屈折率分布は下式で与えられ[1]、 $\Delta n_x$  は  $g_{11}$ 、 $\Delta n_x$  は  $g_{12}$  に関連した電気光学効果に起因し、下式のxの 2 次の係数の比がg定数の比となる。

$$\Delta n = -\frac{n_0^3}{2} g_{ij} \left( \frac{\rho}{\varepsilon} x + E_0 \right)^2$$
 (3)

図 2 より求めた g 定数の比( $g_{11}/g_{12}$ )は約 20 となった。 既報告の g 定数の比は約 2.6 であり、電気光学的異方性が既報告値より大きくなることがわかった。 これは、可変焦点レンズで報告されているように弾性と電歪による光弾性効果を受けて異方性が大きくなったと考えられる[2]。 スキャン角の偏波依存性を求めたところ、 $\theta_x$  は 30 mrad、 $\theta_y$  は 2.2 mrad となった。 スキャン角の偏液依存性の比は約 13 で、位相シフト法からの結果とほぼ一致した。

## 4. 偏波無依存 KTN 光スキャナモジュール

図1(b)に示すように、同一形状で同等のスキャナ特性を有するKTN光スキャナをポリイミド半波長板を介し接続した。このモジュールにおいて、 $\theta_x$ および  $\theta_y$ は次式で与えられる。

$$\theta = -n_0^3 g_{11} \rho L \varepsilon \frac{V}{d} - n_0^3 g_{12} \rho L \varepsilon \frac{V}{d}$$
 (4)

g<sub>11</sub>と g<sub>12</sub>の符号が逆のため、各偏光のスキャン角は両チップ間で相殺されるが、前述したように約 1/13 しか劣化しない。実際、表1に示すように、単独チップの特性を大きく劣化させることなく両偏波とも偏向角はほぼ等しく、偏波無依存動作を達成した。

#### 5. まとめ

今回我々は、KTN光スキャナのスキャン角の偏波依存性を初めて確認した。さらに、KTN光スキャナ2個をカスケードに接続することによって、単独のスキャナのスキャン特性を損なうことなく偏波無依存動作を達成した。以上により、KTN高速光スキャナの応用領域が今後拡大するものと考えられる。

## 参考文献

- [1] J. Miyazu et al.: "New beam scanning model for high-speed operation using KTa1-xNbxO3 Crystals", APEX, Vol. 4, Issue 11, pp. 115101-1-111501-3, (2011).
- [2] Inagaki et al.: "Polarization-independent varifocal lens using KTN crystals", Opt.Lett., Vol. 38, Iss. 15, pp. 2835-2837 (2013).

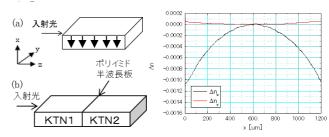


図 1 (a) KTN光スキャナ 図 2 残留屈折率分布の偏波依存性 (b) 偏波無依存光スキャナ

表1 KTNスキャナおよび偏波無依存モジュールのスキャン特性

	$\theta_{\rm x}$ (mrad)	$\theta_{\rm y}({\rm mrad})$	$\theta_{\rm x}/\theta_{ m y}$
KTN1	30.1	2.3	13
KTN2	2.2	30.0	0.073
Module	28.2	28.1	1.0