電荷注入による KTN 結晶の誘電率異常増大

Remarkable increase in dielectric constant of KTN crystals by injected carriers

○豊田誠治 宮津純

今井欽之

上野雅浩 小林潤也

 $^{
m O}$ Seiji Toyoda $\,$ Jun Miyazu Tadayuki Imai Yuichi Okabe Masahiro Ueno Junya Kobayashi

岡部勇一

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_xNb_{1-x}O₃(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 OCT 光源を実現し、その応用領域を拡大してい る[1]。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[2]。こ の駆動方式での KTN 光スキャナの偏向角θは下式となる。

$$\theta = -n_0^3 g_{11} \rho L \varepsilon \frac{V}{V} \tag{1}$$

(n₀:電圧印加前屈折率、L:光路長、g₁₁:電気光学定数、ε:誘電 率、ρ:注入電荷密度、V:印加電圧、d:結晶厚)ここで、電気光学 効果が ε の2乗に比例するという仮定を用いている。この式か ら自明のように、偏向角はAC印加電圧に比例するが、AC印加 電圧が大きくなると偏向角が飽和していた[2]。今回、これは高 周波数信号印加時の KTN の自己発熱の影響を受けた誘電率 の変化に起因するものであり、また、電荷注入によって KTN の 誘電率が異常に増大することを明らかにした結果を報告する。

2. 実験

本報告に用いた KTN の物性パラメータとしては、(1)式において、 $n_0=2.2$, $g_{11}=0.11m^4/C^2$,L=12mm (3パス)、 $\rho=93C/m^3$ (400V DC 印加時)であった。両面電極着き直方体状 KTN を金属ブロックで挟んで AC/DC 電圧を印加した。電圧印加前に $\epsilon=17,500$ となるように KTN の温度をペルチェ素子を用い温調し諸特性を評価した。また、発熱の影響を受けない小振幅信号印加時、発熱の影響を受ける高周波大振幅信号印加時でのキャパシタンスは、各々、LCRメータ、電流プローブにて測定した。

3. 電荷注入時のキャパシタンス(小振幅信号印加)

図1(a)に、キャパシタンスのDC印加電圧依存性を示す。自 己発熱の影響を受けないように印加電圧振幅は 2V とした。100 V 以上の DC 印加電圧で急激にキャパシタンスが大きくなり、 400 Vでは電荷注入前の約2倍の3.2 nFとなる。電圧が増大す ると注入電荷は増大することから、キャパシタンスが注入電荷と 密接に関係していることがわかる。さらにキャパシタンスは誘電 率に比例するため注入電荷密度が増加するとKTNの誘電率が 増大する可能性があることが示唆された。

4. 電荷注入時のキャパシタンス(200 kHz 大振幅信号 印加) & 200 kHzでの偏向角の電圧依存性

図1(b)に、緒言で述べた光偏向動作をさせている同等の信 号を印加した時のキャパシタンスのAC信号の V_{pp} 依存性を示 す。実際には 400 VでDC印加し電荷注入後、200 kHz正弦 波を印加した。電荷注入により増加したキャパシタンスが V_{pp} が 大きくなると減少することがわかる。これは、自己発熱によりKTN 結晶の誘電率が低下することによるものと考えられる[3]。なお、 電荷を注入しない場合は、キャパシタンスの V_{pp} 依存性はほとん どみられない。図1(b)より電荷注入時の誘電率を求め、式(1) に基づき計算した偏向角と実測した偏向角を図2に示す。両者 はほぼ一致した。以上より、200 kHzにて電圧が大きくなると偏 向角が飽和するのは自己発熱による誘電率の低下が主要因で あり、また、KTN への電荷注入により真に誘電率が増大すること がわかった。

5.まとめ

今回我々は、KTN 光スキャナの高周波数での偏向角の飽和 は自己発熱による誘電率低下が主要因であり、また、電荷注入 により誘電率が増大することを見出した。高周波数での自己発 熱の影響は環境温度を下げれば解決するため、電荷注入によ り誘電率を増大させ偏向特性等の電気光学特性を飛躍的に改 善できることは非常に意義深いものと考える。この誘電率の増大 の要因としては電荷注入によるイオンの変位などが想定される。 参考文献

- [1] 岡部他:「KTN 高速波長掃引光源を用いた OCT3 次元立体断 層画像システム」,信学総大 C-3-26, 2012.
- J. Miyazu et al.: "New beam scanning model for highspeed operation using KTa1-xNbxO3 Crystals", APEX, Vol. 4, Issue 11, pp. 115101-1-111501-3, 2011.
- [3] 上野他:「KTN を用いたOCT用 200kHz 光偏向器の消費 電力」,信学ソ大 C-3-7, 2012.



図1 (a)キャパシタンスのDC印加電圧依存性 (b)電荷注入あり/なしの 200 kHz 正弦波印加時のキャパシタンスの Vpp 依存性



図 2 400 Vで電荷注入時の 200 kHz における偏向角の Vpp 依存性 (●実測値、▲図 1(b)から求めた誘電率で補正した計算値)