19p-A6-1

KTN結晶を用いた電界誘起相転移型可変容量コンデンサ

Variable condenser due to electric-field-induced phase transition using KTN crystals

○豊田誠治　今井欽之　宮津純　小林潤也
○Seiji Toyoda　Tadayuki Imai　Jun MIyazu　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

近年可変容量コンデンサは、容量の変化によるLC共振器の共振周波数の変化を利用した発振器、LCフィルタ、アンテナとしての応用が盛んに検討されている。特に電界制御による可変容量コンデンサは、小型化が容易なため携帯電話含めたさまざまな電子機器で用いられている。用いられている材料としては、(Ba, Sr)TiO_3(BST)を代表とする強誘電体材料が知られている[1]。これらの材料は、DCバイアス電圧印加により、強誘電体のソフトモードをハード化させて誘電率を制御しており、低コストで高性能を有する方式として実用化されている。

ところで、我々は、優れた電気光学効果を有する$KTa_{1-x}Nb_xO_3$(KTN)結晶を用いて、光スキャナ、可変焦点レンズ、導波路光スイッチ、光変調器を含む種々の電気光学デバイスの開発を進めている。特に光スキャナの応用開発が進展し、200 kHzの掃引速度を有する広帯域波長掃引光源を実現し、3次元生体イメージング用の光源として実用化された。いずれのデバイスにおいても、優れた電気光学効果は、正方晶(強誘電相)-立方晶(常誘電相)の相転移に基づく発散的な非常に高い誘電率によりもたらされている。さらにLiがドープされたKTN結晶は、電界を印加することにより、相転移付近で電界誘起相転移に伴い誘電率が大きく変化することが最近見出され[2,3]、誘電率の増大により光スキャナの電気光学特性が増大していることを確認した[4]。今回、相転移近傍の誘電率の電界依存性および温度依存性を詳細に検討し、大きな可変性を有する電界制御型可変容量コンデンサを実現したので報告する。

2. 実験

5%の Li がドープされたKTN結晶(4mmX3mmX1.2mmt)の上下面に Ti/Pt/Au 電極を蒸着し平行平板型チップコンデンサを形成した。チップコンデンサはペルチェ素子を用いて相転移近傍に温度コントロールした。さらに、DCバイアスに 200 kHzのAC信号を重畳し電流プローブを用いて変位電流(I)を測定し、下記の式より容量(C)を求めた。

$$C = \frac{I}{2\pi f V} \qquad (1)$$

ここで、fはAC信号の周波数、VはAC印加電圧である。Vの振幅として 50Vpp とした。

3. 可変容量コンデンサ特性

測定した容量から換算して求めた比誘電率のDCバイアスの電界強度および動作温度依存性を図1に示す。Ti 電極を用いると電荷注入の影響により厚み方向に電界強度に分布が生じるが、平均電界強度および平均比誘電率としてプロットした。まず、無バイアス時に温度を変化させたときの比誘電率の変化が正方晶-立方晶に相転移に関する変化に相当する。相転移温度(Tc 28℃)以上に温度を上昇させると比誘電率が減少している。ここで、比誘電率の電界強度依存性に着目すると、Tcに近い温度の方がその電界強度依存性が大きくなっていることがわかる。また、比誘電率が電界強度の増大に伴い増加している要因としては、電界誘起相転移に伴い強誘電相の割合が増えて、誘電率を支配しているソフトフォノンモードが大きな影響を受けるため、大きな比誘電率の増大が観測されたと考えられる。さらに電界を増大させると強誘電相の割合が支配的になり劇的に比誘電率が低下する。Tc＋2℃の動作温度において、1.4kV/cm から 2kV/cm にDCバイアスを変化させると、比誘電率は約 41000 から約 10000 に4倍以上変化した。その変化率および急峻さは動作温度を上げるともに減少した。Tc＋10℃では電界の影響は残っているものの比誘電率の電界強度依存性は非常に小さい。このようにKTN結晶の正方晶(強誘電相)-立方晶(常誘電相)の相転移温度近傍において、可変性が大きい電界誘起相転移型可変容量コンデンサを実現できた。

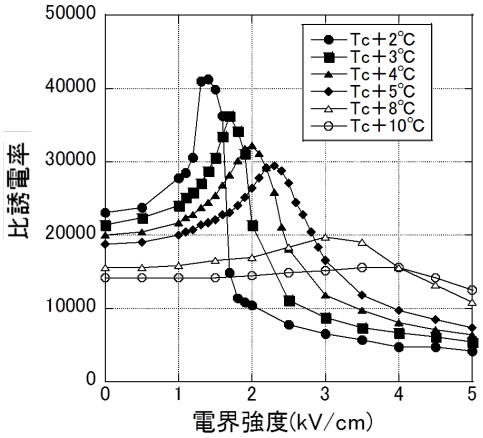

図１ＫＴＮコンデンサの容量可変特性

4. まとめ

今回我々は、KTN結晶を相転移近傍において電圧制御することにより4倍以上の可変容量変化を実現した。これは、BSTよりも優れた広範囲のLC共振器周波数チューナビリティを実現できる可能性を示す。今後より小型・高周波数での実験を行い、KTN結晶の可変容量コンデンサとしての有用性を確認する。

参考文献

[1] A. Tombok et al.: “Tunable RF Filters Using Thin Film Barium Strontium Titanate Based Capacitors”,IEEE MTT-S Int Microw Symp Dig. Vol.3 1453 (2001).
[2] 今井他: “KTN 単結晶の誘電率温度依存性の電子注入による変化”, 2013 年応用物理学会秋季学術講演会,19A-C11-4.
[3] A. Gumennik et al.: “Electrooptical effects in glass forming liquids of dipolar nano-clusters embedded in a paraelectric envirment ”, Opt. Mat. Exp. Vol.1 332 (2011).
[4] S. Toyoda et al.: “Injected-charge-driven increase in electro-optic effect of KTN crystals”, AIP Advances, Vol. 4, 05710915 (2014) .

© 2014 年　応用物理学会