

可搬型テラヘルツセンシングに向けた 薄膜ニオブ酸リチウム変調器ベース光コム発生

日大生産工(院) ○阿部 紘大 中野 晶博
佐野 直哉 黒岩 芽生
日大生産工(学部) 原竹 幸輝 林 志桜
日大生産工 野邑 寿仁重 石澤 淳

1. まえがき

本研究は、テラヘルツ波を用いたセンシング技術を用いて、文化財の内部構造や組成を解析し、年代や産地を科学的に推定する手法の確立を目指している。テラヘルツ波は100 GHz～3 THzの電波と光の中間の電磁波であり、分光分析として用いることで、物質固有の情報が得られやすいことから、新たな分析手法として注目されている¹⁾。テラヘルツ波を発生させる手法として、繰り返し周波数25 GHzのEOコムから300 GHz離れたEOコム縦モードを切り出し、単一走行キャリア・フォトダイオードと呼ばれる光電変換デバイスに入光することで、その差周波である300 GHzのテラヘルツ波を発生させる。しかし、従来のEOコムに用いられる、バルク型ニオブ酸リチウム (LN) 変調器は、その構造上、小型化、集積化が困難という課題があった。さらに、テラヘルツセンシングを遺跡などの現地で行うにはシステムの可搬化、小型化が必要不可欠である。近年、強く光を閉じ込められ、集積化を可能とした薄膜ニオブ酸リチウム (TFLN) を用いたデバイスが実用化され始めている。TFLNはバルク型LNと比べ小さなサイズで高効率な変調が可能である。本研究では、可搬型テラヘルツセンシングシステムの実現に向けてTFLN変調器を用いたEOコムの性能を評価し、従来のバルク型変調器と比較検討した結果を報告する。

2. LN変調器の原理

LN変調器はLN結晶のポッケルス効果による屈折率変化を利用した光変調器である。ポッケルス効果とは、電場をかけると結晶の屈折率が変化する現象のことであり、これにより光の伝搬速度が変化する。Fig. 1とFig. 2には、それぞれバルク型LN変調器とTFLN変調器の内部構造を示す。バルク型LN変調器は単結晶のLN基盤をそのまま利用したものであ

り、電極は基板表面に直接形成され、光導波路はTi拡散で作る。バルク型LN変調器は導波路とLN基盤の屈折率の差が小さいため、光の閉じ込めが弱く、電極を近づけられないため、動作させるには高電圧 (数V～10 V級) が必要だった。一方、TFLN変調器はLNを数百ナノメートル厚に薄膜化し、SiO₂の絶縁層の上に張り付けたものである。屈折率の高いTFLNと屈折率の低いSiO₂の差により光の閉じ込めが強くなることで、TFLN自体が光導波路となる。さらにバルク型と比べ、電極との距離は近くなっているため、EO相互作用が強くなり半波長電圧が小さくなる。これにより、低電圧駆動 (1～2 V程度) を可能とし、さらに薄膜構造により小型化を可能とした。

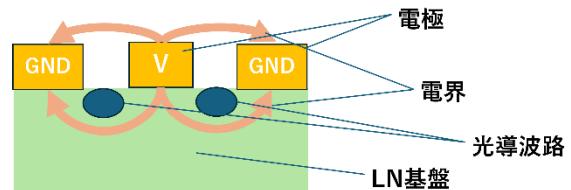


Fig. 1 バルク型LN変調器の内部構造

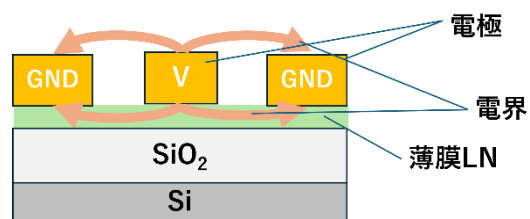


Fig. 2 TFLN変調器の内部構造

3. 実験手法

Fig. 3とFig. 4には、それぞれTFLN変調器とバルク型LN変調器の実験配置図を示す。TFLN変調器は、IMとPMが集積化されており、バルク型変調器はそれぞれ独立している。中心波長1552 nmの線幅7 Hzの狭線幅CWレーザを種光

Thin-film lithium niobate modulator-based optical comb generation
for portable terahertz sensing

Kodai ABE, Naoya SANO, Mei KUROIWA, Akihiro NAKANO, Koki HARATAKE,
Shion HAYASHI, Junia NOMURA and Atsushi ISHIZAWA

源とし、TFLN変調器レーザ光を入力し、TFLN変調器のIMとPMに25 GHzのRF信号を印加させ、変調器を駆動する。一方、バルク型LN変調器は、IMとPMがそれぞれ独立してあるため、CWレーザをIMに入力したのち25 GHz正弦波信号を印加し駆動させ、IMにより変調された光信号をPMに入力し、電気信号を印加し、駆動させる。PMによるEOコム発生の際、25 GHz繰り返し周期のアップチャープ、ダウンチャープが生成される。IMにより線形なダウンチャープ部を抜き出すことで平坦なスペクトルを得られる。IMに印加する25 GHz正弦波信号のパワーは半波長電圧によって決まるため、半波長電圧が低いTFLNと、半波長電圧が高いバルク型LN、それぞれ異なるパワーを印加する。バルク型LN変調器は18 dBm程度に対し、TFLNは8 dBm程度と低電圧で動作する。PMに印加する電気信号はIMを駆動する電気信号とのタイミングを合わせるために、位相シフタを用いて調節する。この調節を行うことでサイドバンドが広がる。PMに印加する電気信号のパワーはバルク型LN、TFLNいずれも同じパワーを印加している。すべての調節を終えたのち、オプティカルスペクトラムアナライザで記録する。

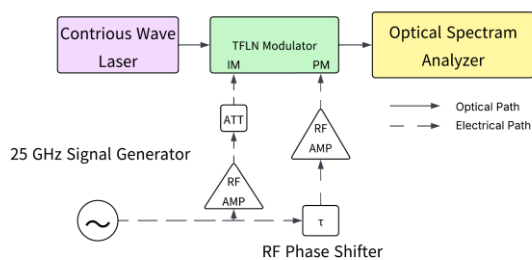


Fig. 3 TFLN変調器実験配置図

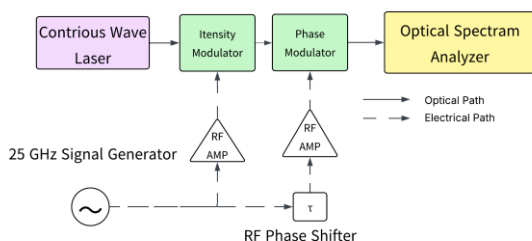


Fig. 4 バルク型LN変調器実験配置図

4. 実験結果

Fig. 5とFig. 6には、それぞれTFLN変調器およびバルク型LN変調器で発生した光コムスペクトルを示す。実験の結果、TFLN変調器の場合、10 nmの帯域に及ぶ光コムの発生に成功した。一方、バルク型LN変調器の場合6 nmの帯域の光コムであった。

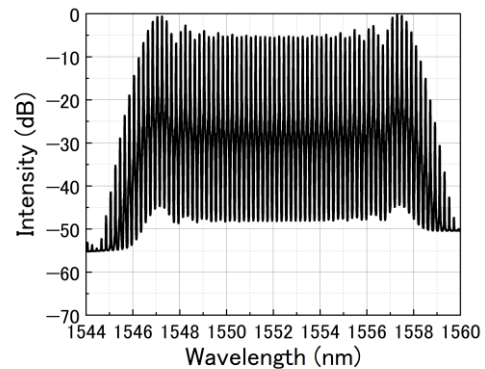


Fig. 5 TFLN変調器によるEOコム

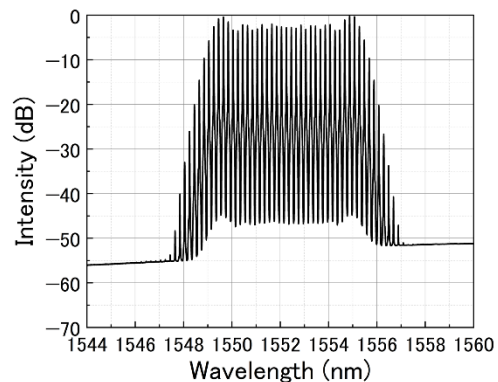


Fig. 6 バルク型LN変調器によるEOコム

5. 結論及び今後の展望

本研究は、バルク型LN変調器、TFLN変調器双方でEOコムを発生し、その波形と、帯域の比較を行った。波形はほぼ同じであり、帯域はTFLN変調器においてより広いスペクトルが得られた。今後は、小型19 inchラックに収めるための各要素の設計、評価を行い、光コム技術とテラヘルツ技術の確立で、新たなセンシング技術の構築を目指す。

参考文献

- 1) 福永香, テラヘルツ分光による文化財非破壊調査, 情報通信研究機構季報, No.1, (2008), pp.57-60.
- 2) 石澤淳, 西川正, 日達研一, 後藤秀樹, 電気光学変調コム, 電子情報通信学会誌, No.11, (2020), pp.1097-1104.