

液晶ミリ波位相変調器を組み合わせた

ツインアンテナアレイシステムの基礎特性

能勢敏明¹, 永澤雅¹, 真坂護², 伊藤謙二², 伊東良太¹, 本間道則¹¹ 秋田県立大学システム科学技術学部電子情報システム学科² 由利工業株式会社

携帯端末等の無線通信に使われている周波数より高い周波数領域にあり、これまであまり使われて来なかったミリ波帯は、周波数資源の枯渇問題や次世代の超高速・広帯域無線通信手段としての期待から、民生用に簡単に利用できる様々な基盤技術の開発が急務となっている。ミリ波等の電磁波の伝搬方向を電子的に高速に制御するデバイスとしてフェーズドアレイアンテナシステムが知られているが、その実現の為に優れた位相変調器の開発が重要となる。筆者らは、これまで平板型の高周波回路として良く使われているマイクロストリップラインの一部に液晶素子を集積化する事によって、小型・低駆動電圧で動作する液晶ミリ波位相変調器の開発を行ってきた。次のステップに向けた試みとして、ここではマイクロストリップライン上にアンテナ素子と液晶位相変調器を組み合わせた素子を作製した。次に、最も簡単なアレイ化として2素子を組み合わせた場合のミリ波の放射特性について、素子単体での放射特性等との比較・検討を行った。

キーワード: 液晶, ミリ波, 位相変調器, フェーズドアレイアンテナ, ビームステアリング

近年の携帯端末の急激な普及、およびその高性能化に伴う情報通信量の急激な増加によって、利用できる電磁波の周波数帯域の枯渇が懸念されている。そこで、これまでほとんど使用されて来なかったより高い周波数帯の開拓が急務となっている。この帯域は”ミリ波・THz波”と呼ばれる領域であり、高速・広帯域の通信応用だけでなく、全く新しい応用分野が生まれる期待から様々な分野において研究が盛んになっている。

ミリ波帯は、現在の携帯端末利用の中心となっているマイクロ波帯の先にある高い周波数領域であり、通信応用の他に衝突防止用の車載レーダーやセキュリティチェック用のイメージング装置への応用が具体的に進んでいる。ミリ波帯は、周波数が高い事によって高速・広帯域の通信能力があること、機器を小型軽量化できること、更に電波の直進性が高いため省エネ化した使い方が容易であること等の特徴

を持っている。一方で、これらの長所を十分に生かす為には、電波をビーム状に放射して自由に取り回す事ができる何らかの制御デバイスが不可欠となる。従って、今後様々な民生分野でミリ波帯の利用が進めば、発振器や検出器だけでなくその間のミリ波伝搬を操る扱い易い制御デバイスが益々重要になると考えられる。

ところで液晶材料は、フラットパネルディスプレイの製品化が非常に大きな成功を収めた事により、本来の電子材料としてのポテンシャルが一般には狭く解釈されてしまっている。液晶とは固体と液体の両者の性質を併せ持つ大変ユニークな材料群を表す言葉であり、最近、前述のミリ波・THz波領域でも大きな複屈折を持つことが分って来ている。そこで本研究では、ディスプレイ応用で実証されている液晶材料の優れた性質を利用して、空間を伝搬するミリ波を制御する扱い易いデバイスを実現する事を目

指している。液晶材料の大きな複屈折性と小さな電界で容易に分子配向状態が変化する性質を利用すれば、ディスプレイ応用と同様に、小型軽量で低駆動電圧を特徴とするミリ波制御デバイスの実現が期待できる。

さらに、機械的な動作を伴わずに電波の伝搬方向を高速に制御するデバイスとして、フェーズドアレイアンテナシステムが良く知られている。このようなシステムの実現には、優れた位相変調器の開発がキーとなる。そこで筆者らは、液晶を用いてミリ波帯で動作する位相変調器を実現する事を具体的な目標としてきた。まず、高周波用の平板回路として良く使われているマイクロストリップラインの一部に液晶層を集積化する簡単な素子構造を開発した。(伊東ら, 2012) (能勢ら, 2013) これまで、通常の p 形液晶を用いて位相変調特性を評価すると共に、n 形液晶を用いた場合の動作特性を明らかにし、相補的な動作が実現できる事を示した。(能勢ら, 2015) 本稿では、次のステップであるアンテナアレイの実現を目指して、素子をアレイ化した場合のミリ波放射特性について評価を行った結果について述べる。

基本特性

素子構造

図 1 に、作製した素子の構造を示す。誘電体基板に形成されたマイクロストリップラインの上部から、厚さ 200 μm のスペーサを介してグランド電極がマウントされ液晶位相変調器が形成されている。さらにその先にアンテナ電極が接続された構造となっている。アンテナ電極は、基板裏側のグランド電極面にも同じ形状で左右対称になるように配置されている。基板の左端にはコネクタを接続し、同軸ケーブルを介してガンダイオードからのミリ波 (50GHz:波長 6mm) を給電した。この様な素子を 2 個作製し、それらの素子間隔等を変化させながらアレイ化した場合のミリ波放射特性の変化について調べた。

図 2 は、アンテナ単体のミリ波放射特性を調べた結果を示す。基板に平行な偏波成分と垂直な偏波成分を調べているが、それらは桁違いに大きさが違い、ほぼ水平な偏波成分が放射されている事が分る。ま

た、誘電体基板面に平行な方向である x 軸方向にはほぼ左右対称な放射特性を示しているのに対して、y 軸方向の分布をみると、基板上部に強い放射が生じている事が分る。この原因は今のところはっきりしていないが、少なくともアンテナ部分からではなくコネクタ等の接続部からの放射が生じている可能性もあり、今後の対策が必要である。ここでは、主に基板に水平な面内で x 軸方向の放射パターンについて比較を行う。

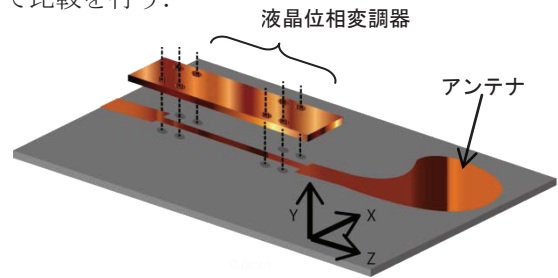


図 1 単位素子の構造. 液晶位相変調器部分は、上部から電極をマウントする事によってセル構造が構成されている。

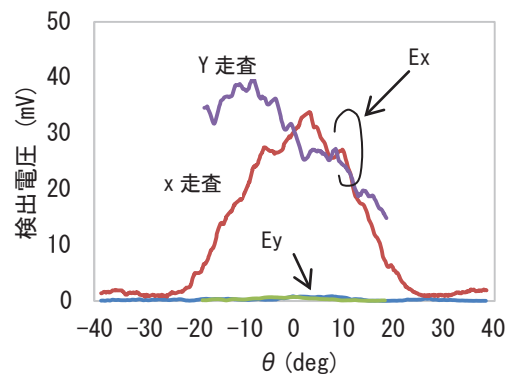


図 2 アンテナ単体でのミリ波放射特性

アンテナアレイの放射特性

図 3 は、2 個のアンテナを基板面を積み重ねるような配列方向で、基板間の距離を 10mm として配列した場合のミリ波放射パターンである。強度が 2 倍程度に強くなると共に、放射角が半分程度に狭くなる様子が見られた。

同様に、図 4 は組み合わせた素子の基板間の距離を 20mm に広げた場合の測定結果を示す。この場合は、中央の大きなビームの他に左右に二つのサイドローブが観察された。アンテナ間の距離とミリ波の波長を考慮すると、左右の山はほぼ $\pm \lambda$ の干渉効果

で説明できる角度に現れている。中央のビーム幅に注目すると、図3に比べてさらに細くなり、強度も更に1.5倍程度に強くなっている様子が見られる。アレイ化によって放射ビームが鋭くなる効果は明らかであるが、左右にサイドローブが現れるため様々な条件下での測定結果を基に、用途に応じた設計法を確立しておく必要があると考えられる。

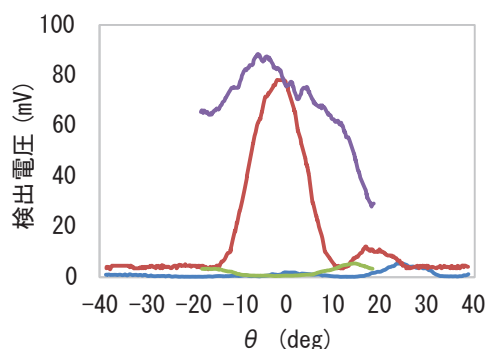


図3 基板間を10mmの距離で組み合わせたツインアンテナアレイのミリ波放射特性

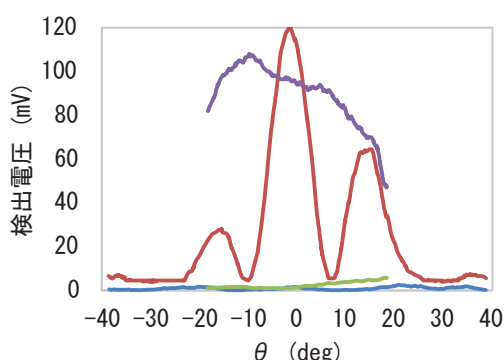


図4 基板間距離20mmとした場合のツインアンテナアレイのミリ波放射特性

液晶による可変特性

図5は、位相変調器部分に液晶材料を導入する前後での放射強度パターンの測定結果を示している。アンテナ間は、図4と同じ20mmとしている。液晶材料はわずかな損失を持っているが、位相変調器の長さが40mmであるため素子全体での損失は無視できない大きさになってしまう。測定結果を見ても、液晶材料の導入によって大幅にミリ波強度が低下す

る様子が分かる。液晶材料に求められる性能として、第一に屈折率異方性の大きさも重要であるが、それと同等にこの周波数帯域での損失が小さい事が重要である。伝搬長が極端に長い為にわずかな材料の損失がデバイスの大きな損失を生む事になるが、逆に言えば、わずかな材料特性の改善によって大幅なデバイスの低損失化が実現できる事になる。従って、現状ではディスプレイ用に開発された市販の液晶材料を用いているが、ミリ波帯で優れた性能を発揮する新規な材料の探索は、継続して進めなくてはならない重要な課題となっている。

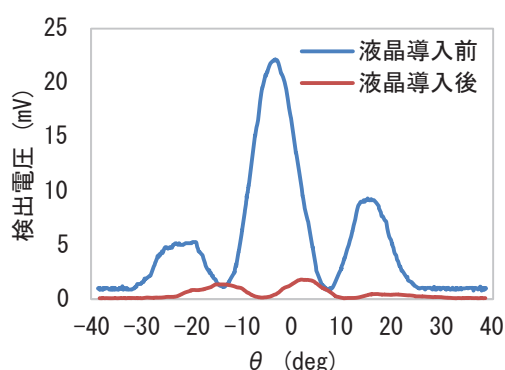


図5 液晶導入前後でのミリ波放射特性

図6は、アレイ化した二素子の片側の液晶位相変調器のみを駆動して、素子間に位相差を与えた場合のミリ波放射特性の変化を測定した結果を示す。二つの素子（特に液晶位相変調器部分）が完全に同じ特性になっていない為と思われるが、0Vにおける放射パターンが、液晶導入後に原点からややプラス方向(右側)に移動している。その中央付近のピークに注目してみると、電圧印加と共に左側へ移動しながらピーク強度も大きくなる様子が観察された。電圧印加によって液晶分子が基板に平行な状態から垂直な状態に立ちあがると、そこを伝搬するミリ波が感じる誘電率が大きくなる。従って、駆動した位相変調器側にミリ波の伝搬方向が曲がるものと考えられる。また、強度変化について考察してみると、液晶材料の損失異方性を考慮すると分子配向変化によって損失の減少が予想されるため、ピーク強度が大きくなっているものと思われる。しかし、二倍程度に達する大幅な強度変化が生じている事から、液晶の損失異方性のみで説明できる現象であるか、今後定

量的な検証が必要である。

図7は、図6の測定において各印加電圧における中央のピーク的位置をプロットした結果を示している。150mm離れた場所で30mm程度シフトしている事から、角度に換算すると 12° 程度の角度変化が得られている事になる。また、液晶の駆動方法に課題は残されているが、他方の位相変調器のみを駆動する事によって、右方向への同程度の角度変化が期待できる事から、 $\pm 12^\circ$ 程度のビームステアリング特性が得られる可能性がある事を実験的に確認した。また、1Vから2Vの間で急激な変化が生じており、液晶分子の配向変化との関係について定量的な整合性を今後確認する必要がある。

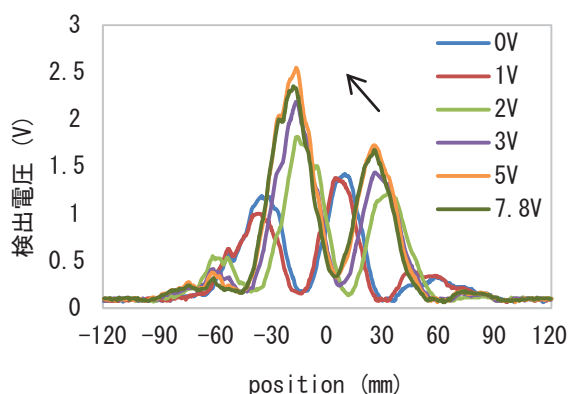


図6 液晶位相変調器の駆動による放射パターンの変化特性

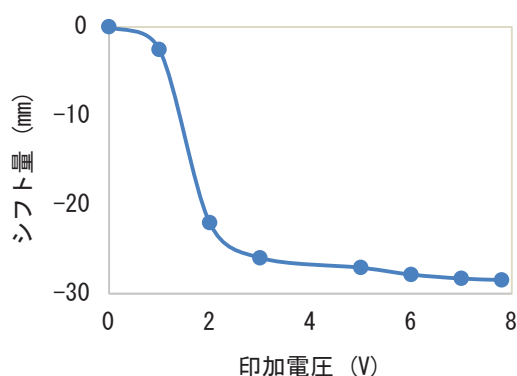


図7 ミリ波放射パターンにおける中央ビームのシフト特性

まとめ

これまで開発を進めてきた液晶ミリ波位相変調器とアンテナパターンを組み合わせ、ミリ波放射パタ

ーンの変化について基礎的な検討を行った。アレイ素子として最低限の2個の素子を配列したツイーンアレイアンテナシステムを構成したが、アレイ化による放射パターンの先鋭化とミリ波強度の大幅な増加が確認された。さらに、長さ40mmの液晶位相変調器を片側ずつ駆動する事により、 $\pm 12^\circ$ 程度のビームステアリング特性が得られる事も確認された。本研究によって、液晶位相変調器を基本とするミリ波ビームステアリングデバイス実現の可能性が実証されたが、液晶素子の独立した駆動法の問題やビームステアリングと共に強度も大幅に変化してしまう問題も明らかになり、今後詳細な動作メカニズムの解明を進めると共に、素子の最適化によって更に良好な動作特性が得られるものと期待される。

文献

- Ryouta Ito, Takayuki Kawakami, Yusuke Ito, Takayuki Sasamori, Yoji Isota, Michinori Honma, and Toshiaki Nose (2012). Fundamental Properties of Novel Design Microstrip Line Type of Liquid Crystal Phase Shifter in Microwave Region. *Jpn. J. Appl. Phys.* 51, 044104.
- Toshiaki Nose, Liang-Chy Chien, Otilia Catanescu, Andrii Golvin, Yusuke Ito, Takayuki Sasamori, Yoji Isota, Ryouta Ito, and Michinori Honma (2013). Improved High-Frequency Performance of Microstrip-Line-Type Liquid Crystal Phase Shifter. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 52, 091701.
- 能勢敏明, 長澤雅, 渡辺猛, 伊藤謙二, 伊東良太, 本間道則 (2015). 「n形液晶を用いたミリ波位相変調器の検討」『秋田県立大学ウェブジャーナル B』, 2, 194-198.

〔平成28年7月20日受付〕
〔平成28年7月31日受理〕

Fundamental Properties of a Twin-Array Antenna System Combined with a Liquid Crystal Millimeter-Wave Phase Shifter

Toshiaki Nose¹, Masashi Nagasawa¹, Mamoru Masaka², Kenji Ito²,
Ryouta Ito¹, and Michinori Honma¹

¹ *Department of Electronics and Information Systems, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

² *Yurikogyo Co. Ltd.*

Recently, the volume of communications traffic has substantially increased because of the rapid increase in the number and performance of mobile devices. Because of concerns over the depletion of frequencies designated for wireless communications in the electromagnetic spectrum, the use of the unexplored higher-frequency region known as millimeter wave (MMW) region is strongly desired. If consumer use of this novel frequency region expands widely, several types of manageable MMW control devices will be necessary. Therefore, we have been developing a compact and low-driving-voltage MMW phase shifter using liquid crystal (LC) materials because LC materials exhibit large birefringence in the MMW region, similar to their performance in the optics region. In this paper, an LC phase shifter is integrated onto a planar waveguide with planar antenna to attain an array system; also, the fundamental MMW emission properties are investigated using the minimal twin-array antenna system.

Keywords: Liquid crystal, Millimeter wave, Phase shifter, Phased array antenna, Beam steering