

## 論文の内容の要旨

### 1 申請者

防衛大学校 ラン・チョン・ギア

### 2 論文題目

高分子ファイバー／液晶複合体の電気的特性評価とそれを用いたテラヘルツ波制御デバイスに関する研究

### 3 論文の内容の要旨 (博士:2,000 字程度)

無線技術の発展に伴い、大容量・高速通信の需要が年々高まっている。マイクロ波・ミリ波に続き、100 GHz を超えるテラヘルツ (THz) 波が次世代無線通信の周波数帯として注目を浴びている。しかし、高周波を使用した際には大きな自由空間伝搬損失による通信範囲の縮小と、強い直進性により通信できないスポットが発生するなどという問題点が生じる。そこで、特定の方向に電波を集中させ遠くまで届けるフェーズドアレーアンテナ (PAA)、及び基地局からの電波を特定方向に反射させるリフレクタレー (RA) 技術は通信範囲の拡大に有効な手法として近年大変注目を集めている。一方、液晶 (LC) は、外部電界に対する応答性が高く THz 波領域においても大きな誘電異方性を示すことから、LC を用いた PAA 又は RA など様々な THz 波デバイスへの応用が期待されている。しかし、光学用途とは異なり、これらのデバイスには厚い LC 層が使用されるため、立ち下がり応答時間が非常に長くなり応用上大きな課題となる。そこで、本研究の目的として高速応答の LC 装荷 THz 波制御デバイスの実現を目指す。

本研究では、高分子ファイバーを導入し、厚い液晶層を細分化させることにより応答時間の改善を行った。ファイバー材料にポリアクリロニトリル (PAN) を用い、ファイバーは電界紡糸法により作製した。濃度が 8、10、12、14 wt% の PAN 溶液で紡糸を行った場合はほぼ平行な繊維状が得られた。その平均直径はそれぞれ 0.4、0.6、1.1、1.4  $\mu\text{m}$  であり、溶液濃度の増加とともに太くなった。一方、濃度 16 wt% の場合では網目状のような状態に形成された。また、溶液濃度の増加とともにファイバーの体積比が減少することが分かった。各種ファイバーとネマティック液晶との厚さ 50  $\mu\text{m}$  複合素子を作製し、それぞれの電気特性を明らかにした。平均直径 1.4  $\mu\text{m}$  のマイクロファイバーと液晶との複合体 (MF/LC) は LC 単体に比べ 90% 近くの大きな誘電異方性を示し、複合素子の中で最も低い閾値電圧を有することが分かった。外部電界に対する応答時間については、MF の導入により立ち上がり応答時間が少し増加する代わりに、LC 単体の約 8.3 s に対し約 270 ms まで大きな立ち下がり応答時間の短縮効果が得られた。また、THz 波分光システムにより測定した結果、100 GHz において MF/LC は LC 単体に比べ同じ程度の損失を示しており、約 80% の大きな複屈折を有することが分かった。

MF/LC を用いたテラヘルツ波制御デバイスとして、移相器、PAA と RA の 3 種を作製しそれぞれの特性評価を行った。まず、MF/LC 装荷 100 GHz 帯及び 350 GHz 帯テラヘルツ波移相器の構造設計を行い、作製したデバイスの特性を実験により明らかにした。移相器の構造に低損失な非放射型誘電体線路 (NRD ガイド) を用いた。シミュレーション結果により、テラヘルツ波はほぼ移相器の中心に集中することが分かった。100 GHz 帯移相器では 1.0 mm、350 GHz 帯移相器では 0.4 mm の MF/LC 層を使用した。損失特性と移相特性を測定した結果、100 GHz 帯移相器では線路長 10 mm で約 2.7 dB の透過損失と 182°までの連続的な位相変化を示すことが分かる。一方、350 GHz 帯移相器は線路長 4 mm で約 4.4 dB の透過損失と 380°まで連続的な位相変化を有し、先行研究に比べ優れた特性を示していることが確認できた。また、提案した 2 つの移相器は 240 ms 程度の立ち下がり応答時間を示し、同じ厚さの LC 単体素子に比べ大幅な応答時間の改善を実現した。

この移相器を用い、100 GHz 帯 MF/LC 装荷 4 素子 PAA を作製し、その特性評価を行った。本研究の PAA は分配器・変換器・可変移相器・アンテナ素子の順で構成され、アンテナ素子の間隔が 2 mm となるように設計された。実験結果により、約 19.6°のビーム幅と約 10.6 dBi の高利得を示しており、印加電圧によってアンテナ素子間の位相差を調整することでビーム方向を $-40.9^{\circ}$ ~ $+41.6^{\circ}$ まで振ることが可能である。放射ビームを正面から特定方向に切り替える時間 (ON) は電界強度に依存し全体として 80~260 ms の範囲内である。一方、特定方向から正面に戻る時間 (OFF) は MF の改善効果により約 230 ms まで高速化できた。

また、100 GHz 帯 MF/LC 装荷 RA を作製し、その特性評価を行った。本研究の RA は、一辺が約 0.7 mm の正方形パッチを持つ 144 個 (12x12) の単位セルで構成され、1.5 mm の周期で配置される。また、液晶分子制御用電圧を印加するため幅 20  $\mu$ m の配線を設計した。シミュレーション結果より、約 315°までの反射位相変化量が可能であるが、実際に作製した RA の測定結果では最大 294°が得られた。PAA と同様に印加電圧によって単位セル間の位相差をつけることで反射ビームを振ることができた。本研究では、 $-41.2^{\circ}$ ~ $+40.4^{\circ}$ の広い走査範囲で連続的に反射ビームの制御を実現した。また、ON の切り替え時間は数 100~数 10 ms 程度を示し、OFF の切り替え時間は約 230ms となり MF の改善効果を確認できた。

以上の結果により、高分子ファイバー/液晶複合体は THz 波デバイスなど厚い液晶層を有するデバイスの応答時間改善に有効であることを確認するとともに、次世代無線通信のエリア拡大へ必要な PAA や RA など THz 波制御デバイスを実現した。

#### 4 キーワード (5 個程度)

高分子ファイバー、液晶、テラヘルツ波、可変移相器、フェーズドアレーアンテナ、リフレクトアレー