

論文の内容の要旨

申請者 ブイ ヴァン バオ

論文題目

マイクロ波からテラヘルツ波帯で動作する液晶装荷可変移相器に関する研究

近年、携帯電話や衛星通信等の利用が進むにつれて、マイクロ波やミリ波、テラヘルツ波といった高周波信号を電子的に制御できるデバイスが注目されており、高周波帯で誘電率を変化させることができる媒質として液晶が注目されている。本論文ではマイクロ波からテラヘルツ波帯で動作する液晶装荷可変移相器について扱っている。従来のマイクロ波ミリ波移相器では、ネマティック液晶に主にマイクロストリップ線路(MSL)を用いたものが用いられていたが、液晶層の厚さが 50 μm 以上で厚いため、電圧を除去した際の立ち下がり時間が非常に長くなり、応用上大きな問題となっている。この問題を解決するために高分子安定化ネマティック液晶(PSNLC)の利用が有効である。これまでの研究結果より、MSL 構造の不透明な基板に適用が可能な熱重合型 PSNLC では立ち下がり時間を減少できたがその改善度が低く、均一な高分子ネットワークの形成が困難であったため、高周波線路と接地導体が同一平面上にあるコプレーナ線路(CPW)を高周波線路とし、液晶の上部基板にガラス基板を用いることより、上部基板側から紫外線照射による重合が可能な構造が検討されてきた。

本論文ではテストセルとして ITO ガラス平行平板セルを用い、PSNLC により立ち下がり時間の改善効果を確認すると共に、CPW 型移相器に装荷し応答測定を行ったところ、高分子濃度の増加と共に立ち下がり時間及び位相変化量が減少し、位相変化が飽和する電界が増加することが確認できた。また、4 wt%の PSNLC を使用したときの立ち下がり時間が 1 s 程度であり、単体液晶と比べて 1/13 に短縮することを確認できたが、位相変化量が小さくなるなどの問題があった。CPW 型移相器では高周波電界の半分以上が液晶以外の部分を透過することから位相変化量が小さくなるため、光重合型 PSNLC を取り上げ、MSL 型移相器の構造を見直し、中心線路を持つ基板幅を 3 mm と細くすることで側面から紫外線照射による高分子化し応答改善を図った。CPW 型に比べ MSL 型移相器の方が応答時間の改善には高い高分子濃度が必要であるが、位相変化量については CPW 型よりも MSL 型移

相器の方が約2倍大きいという結果が得られ、MSL型移相器の効率の良さが確認できた。

一方、通信量の増大等に対応するため、新たな周波数領域の活用を検討する必要がある、未開拓周波数領域と言われるテラヘルツ波領域が期待されている。しかし、マイクロ波ミリ波領域において実績があるMSL型およびCPW型伝送線路はテラヘルツ波領域では伝送損失が大きくなるため、新たな伝送線路型の検討が必要である。ミリ波やテラヘルツ波領域で使用可能な導波路としてNRDガイドがあり、線路の曲がりや不連続部で不要な放射波が発生しない、かつ誘電体線路本来の低損失の特性を有している。そこで、NRDガイドの誘電体としてネマティック液晶を取り上げ、周波数が260~400 GHzのテラヘルツ波帯における移相器を初めて提案し、その特性について検討した。当初、ネマティック液晶5CBを用い、液晶層厚350 μm 液晶装荷NRDガイド型テラヘルツ波移相器を検討したところ、立ち上がり時間は100 ms以下であり、位相変化量は約 314° が得られたが、立ち下がり時間は292 sで非常に長いことがわかった。この立ち下がり時間を改善するため、液晶層内に2枚のPETフィルムを挿入し、液晶層厚を100 μm または25 μm に減少させた。液晶層厚を25 μm に減少することで位相変化量が 40° 程度に減少したが、立ち下がり時間は約1.4 sに短縮することができた。液晶層厚を薄くする程、立ち下がり時間は短縮できるが位相変化量も大きく減少してしまう。そこで、ネマティック液晶5CBより大きい複屈折を有するネマティック液晶RDP-A4188およびRDP-A3123を用い、二周波駆動と液晶/ナノファイバー複合体の使用による応答改善方法について検討した。ネマティック液晶5CBと比較してネマティック液晶RDP-A4188を用いることにより、約1.5倍の位相変化量が得られたが、二周波駆動による立ち下がり時間の改善度が低いことがわかった。これは、誘電異方性の符号が反転する周波数が高いため、デバイスに十分な電界が印加できなかったためであり、二周波駆動の改善方法の効果を十分に発揮させるためには、新たな液晶材料の選定が必要であることがわかった。一方、液晶層厚100 μm のネマティック液晶RDP-A3123/ナノファイバー複合体装荷NRDガイド型テラヘルツ波移相器において、立ち上がり時間が約1 s、立ち下がり時間が約0.14 s、位相変化量が約 60° とバランスの良いデバイスが実現でき、NRDガイド型テラヘルツ波移相器の立ち下がり時間の改善にはナノファイバー複合体の利用が有効であることが確認できた。