

研究課題別 中間評価結果

1. 研究課題名: 「Fiber to the Display のためのフォトニクスポリマー」

2. 総括責任者: 小池 康博 (慶応義塾大学 理工学部 教授)

3. 研究概要

本研究は、ERATO 研究の成果である高速屈折率分布型プラスチック光ファイバー (GI-POF; Graded-Index Plastic Optical Fiber) を高精細・大画面ディスプレイまで接続する「Fiber to the Display」構想の実現に向け、新規フォトニクスポリマーの作製を目指す。具体的には、次の 1)~4) を目標に研究を行っている。

- 1) 低材料分散性、低損失性、高耐熱性を有する新規フッ素化ポリマーの設計と合成
- 2) 超高速 GI-POF の試作と POF による世界初の 10Gbps・300m、さらには 40Gbps・100m の伝送
- 3) 完全ゼロ複屈折フォトニクスポリマー (ゼロ・ゼロ複屈折ポリマー) の実現
- 4) Fiber to the Display 実現のための接続デバイス等の試作と GI-POF によるネットワーク構造の設計

現在までの SORST 研究期間において新規フッ素化合物ポリマーの設計・作製、ポリマーの偏波制御機能開発におけるゼロ・ゼロ複屈折ポリマーの作製、実証、微小針状粒子の高配向方法の成功による光散乱機能発現等の成果を上げている。

現状、プロジェクトは 3 グループで構成されており、各グループの主な成果を以下にまとめる。

1) 分子デザイングループ

低材料分散および低損失が期待出来るポリマーとしてフッ素化ポリマーに重点を置き、分子デザインを行った。分子設計は次の指針の下に行い、Perfluoro-2-methylene-1, 3-dioxolane 誘導体と fluorinated phenyl methacrylates について重点的に研究を進めた。

- ① 低材料分散性・低損失性の観点から、C-H 結合の H 原子が出来るだけ少なく、F 原子に置換されたポリマー
- ② 低損失性の観点から、アモルファスなポリマー
- ③ 高耐熱性の観点から、ガラス転移温度が高い ($T_g > 130^\circ\text{C}$) ポリマー
- ④ 実用化を念頭に、比較的容易で安価な合成工程で得られるポリマー

Perfluoro-2-methylene-1, 3-dioxolane 誘導体を構成する 2 種類のモノマーの共重合系について解析を進めたところアモルファスであることが確認され、かつ窒素雰囲気下では分解温度 350 度以上、屈折率 1.333~1.357 (波長 532nm)、近紫外域から近赤外域まで透明性が確保出来る GI-POF 用の有望なポリマー候補であることが判明した。また、fluorinated phenyl methacrylates は、共重合体の透明性も高く、GI-POF 用の有望なポリマーの候補と考えられることだけでなく、共重合の状態によっては配向複屈折、光弾性複屈折がゼロのポリマーになることが見出され、多様

な光学デバイスへの応用が期待出来る材料であることが判明した。

2) 光機能発現グループ

新規フォトニクスポリマーの提案を目指し、そのフォトニクス機能の発現原理まで遡って研究を行った。具体的に着目したフォトニクス機能は偏波保持を中心とした偏波制御機能、光散乱機能である。

偏波制御機能: モノマーと複屈折の関係を解明するため、ポリマーサンプルの成形に際して配向複屈折と光弾性複屈折をパラメータ化して検討した。得られた結果から両複屈折がゼロとなる条件を見出し、新規のポリマー(ゼロ・ゼロ複屈折ポリマー)を設計、合成した。

光散乱機能: 光学異方性粒子としてミクロンオーダーの炭酸カルシウム針状結晶を用い、粒子の配向度を高めたポリマーサンプルを作製した。そのサンプルを用いた光学異方性粒子の光散乱特性解析を行った結果、粒子の長軸、短軸に平行な面で入射光を分離した散乱現象を考察出来ることが示唆された。

3) 超高速伝送・応用グループ

本グループでの課題とその成果を以下に記載する。

① POF による 10Gbps・300m、40Gbps・100m の伝送の実現

伝送損失、伝送帯域に関して、GI-POF の曲げ特性を検討した結果、多数の曲げがある状態で 1.25Gbps 伝送に成功した。開口数とコア径の適切な設計により、高速リンク構築のための最適屈折率分布を実現した。

② GI-POF の広波長帯対応化および広帯域化

ドーパント(屈折率調製用添加物)と母材を重水素化することにより、従来の GI-POF では達成出来なかった 850nm での 100m 伝送実験に成功した。帯域は 1GHz 以上であり、既存の波長 850nm のネットワーク機器を用いた伝送の可能性を示唆した。

③ 溶融押出法による GI-POF の量産技術

溶融押出法による屈折率分布形成機構が拡散係数変動型の Fick 拡散であることを明らかにした。また、溶融押出法により作製した GI-POF は、従来の界面ゲル重合法と同程度の性能を有することを確認した。

④ 高耐熱 GI-POF の作製

分子デザイングループが作製した部分フッ素化モノマーは従来の GI-POF に比べガラス転移温度が 20 度ほど高く、耐熱 POF としての可能性があることを明らかにした。

⑤ GI-POF 光通信用光接続方式および接続機器の開発

従来のレンズを用いた接続機器の代わりに集光器を試作し、シミュレーション結果を併用することで集光面形状の最適化を行った。試作した集光器は、レンズより高い性能を示すことがわかった。

⑥ GI-POF 光通信ネットワーク用光素子の探索およびトランシーバ試作・評価

GI-POF で使用する 630nm-850nm 帯域の半導体レーザーの選別を行い、映像伝送実験を行っている。光トランシーバも試作し、テレビ映像の伝送に成功した。

⑦ GI-POF 光通信ネットワークの構造検討

GI-POF ネットワークを構築した施設で伝送試験を行い、使用状態、通信機器の種類等、最も効率の良いネットワーク構成を検証した。

⑧ GI-POF の端末加工および配線施工技術の検討

既存の端末加工用具を用い、熟練者による GI-POF の端末加工の所用時間と接続損失を測定することにより、施工の簡易性評価を行った。その結果、ホットプレート法による加工端末での結合損失は JIS 規格の N 等級に適合する等、高い性能を示すことが確認出来た。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況と今後の見込み

新規フッ素系化合物ポリマーの設計・作製に成功する等、研究の進捗は良好である結晶ドープ法、異方性低分子ドープ法によるゼロ複屈折の実証のみならず、光学異方性粒子の高配向方法の成功、光散乱特性の解析等、偏波制御機能および光散乱機能の開発に関しても目標達成に近い成果を上げている。しかし、超高速伝送技術に関しては、10Gbps 超の伝送実験の当初目標（10Gbps 300m）に比べ、基本的な開発に止まっている。今後、顕著な成果を出すためには、企業との連携が必要と考える。

4-2. 研究成果の現状と今後の見込み

ゼロ・ゼロ複屈折ポリマー、光散乱導光ポリマーの実現等は、新デバイス開発へつながる可能性が高く、実用化まで含めて世界に誇るべき成果と言える。特に、ゼロ・ゼロ複屈折ポリマーを実現するためのパラメータ抽出や、一定の性能の実現、さらには複屈折性結晶ドープ法による偏波制御技術開発は、実用化に向けて貴重な研究開発成果である。しかしながら、実用化を考えた場合、当該分野の特許数が少ないこと、従来のシリカ系ファイバーが普及し技術が向上していること等を考えると、超高速伝送技術としての優位性が低下しつつあることが懸念される。車載ネットワーク用 GI-POF ファイバー、液晶画面等のディスプレイ関連用途、ゼロ・ゼロ複屈折ポリマーの応用等、新たな応用分野を検討することで、科学的・技術的インパクトの向上が期待出来る。

4-3. 総合的評価

独自技術を次々に開発しており高く評価出来る。特に、新規フッ素化合物ポリマーの設計・作製、ゼロ・ゼロ複屈折ポリマー、光散乱導光ポリマーの実現等は新デバイス開発への貢献が期待出来る特筆すべき成果である。しかしながら、高速伝送技術に代表される応用技術への検討は十分ではなく、関連企業との共同研究等、新たな検討方法や、設定すべき目標の再検討等を行う必要がある。基礎研究としては高い成果が出ており、得られた成果を次のステージにシームレスにつなげる努力が必要であると考えられる。