

主 論 文 要 旨

| 報告番号 | 甲 第 号 | 氏 名 | 中尾 亮介 |
|---|-------|-----|-------|
| <p>主 論 文 題 目：</p> <p style="text-align: center;">部分的ハロゲン置換ポリマーを用いた高速通信性・低価格を両立する 屈折率分布型プラスチック光ファイバーの開発</p> | | | |
| <p>(内容の要旨)</p> <p>屈折率分布型プラスチック光ファイバー(GI POF)は、従来型の Step-Index POF の持つ長所(柔軟・大口径・軽量・安全など)を維持しつつ、高速通信性能を併せ持つため、住宅内や輸送機内でのネットワークや、家電機器内配線として最適と考えられてきた。本研究の目的は、その GI POF を、広く社会に普及するレベルの低価格で提供可能とする、素材技術、成形技術を創出することである。</p> <p>第 1 章に、本研究の目的、背景を概説した。</p> <p>第 2 章では、関連分野の基礎知識として、POF の諸特性、及びポリマーの(共)重合、熱分解、ガラス転移温度(T_g)についてまとめ、POF 製造方法についても概説した。</p> <p>第 3 章では、GI POF の導光部(コア)に用いる素材の選定検討結果をまとめた。候補モノマーは、分子内の C-H 結合が部分的にハロゲン置換されているもの、非晶性であるもの、目標 T_g を有する可能性があるものとして計 14 種類を挙げ、重合によりポリマーロッドを作製し、熱熔融紡糸によりコア単層ファイバーに成形し性能を調べた。結果、目標性能(コア素材 $T_g \geq 85$ °C、伝送損失 ≤ 200 dB/km、伝送帯域 ≥ 1 GHz/50m など)の達成に向けて、2,2,2-Trichloroethyl methacrylate (TCEMA) 系ポリマーが最も有望であることを確認した。</p> <p>第 4 章では、まず、TCEMA ポリマーに関し、先行技術との比較を行いつつ、押出成形において想定される熱分解特性を調べた。成形熱負荷によりポリマーが解重合し、コア素材の T_g 低下が生じることが推定された。実際の押出成形テストにおいてもファイバー外表面の気泡発生が見られ、伝送損失が下がらず、ホモポリマーでの POF 実現性が薄いことが確認された。</p> <p>次に PTCEMA の熱分解性改善を狙い共重合検討を行った。コモノマーの沸点、ポリマー屈折率、及び T_g から 17 種挙げ選定を行った結果、<i>N</i>-Cyclohexyl maleimide (cHMI)との組合せにおいて、著しい熱分解性の改善が見られ、また、T_g も上昇可能なことが確認された。本共重合系のモノマー反応性比を調べた結果、TCEMA が優先的に重合し、重合の進行に伴いコポリマー組成が変化することが分かった。TCEMA と cHMI の両ホモポリマーは屈折率が異なる($\Delta n = 0.022$)ことから、共重合化により散乱損失が増加したが、これは、ドーパント(Diphenyl sulfide)の添加により抑制されることが分かった。この効果は別のドーパント種においても確認され、その原因は TCEMA と cHMI の各連鎖ユニット間の相溶性が、その両方に対しての良溶媒であるドーパントにより、改善されたためと推察された。</p> <p>本共重合体により、T_g が 115 °C となるようにコア素材組成を決定し、ドーパント拡散共押出プロセスにより GI POF を試作した。クラッド素材としては PMMA を、二次被覆の補強層素材としては Polycarbonate を採用した。吐出ポリマーロッドには気泡は見られず、紡糸後の外径も 746 ± 5 μm 以内と安定していた。伝送損失は 132 dB/km @660 nm、330 dB/km @780 nm と PMMA 系 GI POF よりも、特に長波長側で優れていた。50 m ファイバーでの伝送帯域は 2 GHz 以上 @654 nm、1.7 GHz @774 nm と目標を上回っていた。また、開口数が約 0.3 と高いため、曲げ損失は曲げ半径 10 mm (180 度一回曲げ)で 0.03 dB と優れていた。機械的強度は、結びや巻付けでの感応評価、及び引張り導光試験、キンクストレス試験により評価され、既存の PMMA 系 POF 素線と遜色ないことが確認された。100 °C での長期耐熱性試験も行い、2000 hr 後も伝送損失の低下が見られないことを確認した。</p> <p>第 5 章に、結言として、研究成果を要約し、本開発試作品 GI POF の応用が期待される用途や、将来的な検討項目についても言及した。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | | | |

論文審査の要旨および学識確認結果

| 報告番号 | 甲 第 号 | 氏 名 | 中尾 亮介 |
|---|--|------------|--------------|
| 論文審査担当者： | 主査 | 慶應義塾大学教授 | 工学博士 小池 康博 |
| | 副査 | 慶應義塾大学教授 | 工学博士 山中 直明 |
| | 副査 | 慶應義塾大学教授 | 博士(工学) 津田 裕之 |
| | 副査 | 慶應義塾大学専任講師 | 工学博士 二瓶 栄輔 |
| (論文審査の要旨) | | | |
| <p>学士(工学)、修士(工学)中尾亮介君提出の学位請求論文は、「部分的ハロゲン置換ポリマーを用いた高速通信性・低価格を両立する屈折率分布型プラスチック光ファイバーの開発」と題し、5章より構成されている。屈折率分布型プラスチック光ファイバー(GI POF)は、使い易さと高速通信性能を併せ持つため、住宅内や家電機器配線としての研究開発が進められてきたが、本論文の目的は、更に広く社会に普及するレベルの高性能と低価格が両立された GI POF を生み出す素材技術、成形技術を創出することである。</p> <p>第1章は、本研究の目的、背景を述べている。</p> <p>第2章では、POFの諸特性、及びポリマーの(共)重合、熱分解、ガラス転移温度(T_g)についてまとめ、POF製造方法について概説している。</p> <p>第3章では、GI POFの導光部(コア)に用いる最適ポリマーを検討している。候補モノマーは、分子内のC-H結合が部分的にハロゲン置換されているもの、非晶性であるもの、目標T_gを有する可能性があるものとして計14種類を挙げ、重合によりポリマーロッドを作製し、熱溶融紡糸によりコア単層ファイバーに成形し性能を詳細に検討している。その結果、目標性能(コア素材$T_g \geq 85^\circ\text{C}$、伝送損失$\leq 200\text{ dB/km}$、伝送帯域$\geq 1\text{ GHz/50 m}$など)の達成に向けて、2,2,2-Trichloroethyl methacrylate (TCEMA)系ポリマーが最も有望であることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、先ず、TCEMAポリマーに関し、押出成形において想定される熱分解特性を検討している。成形熱負荷によりポリマーが解重合し、コア素材のT_g低下が生じることが推定され、ホモポリマーでのPOF実現性が薄いことを確認している。</p> <p>そこで、さらにTCEMAポリマーの熱分解性改善のため共重合を検討している。コモノマーの沸点、ポリマー屈折率、及びT_gから17種挙げ選定を行った結果、N-Cyclohexyl maleimide (cHMI)との組合せにおいて、著しい熱分解性の改善が見られ、T_gも上昇可能なことを確認している。ここでTCEMAとcHMIの両ホモポリマーは屈折率が異なる($\Delta n = 0.022$)ことから、共重合化により散乱損失が増加したが、これはドーパント(Diphenyl sulfide)の添加により抑制されることを明らかにしている。その原理はTCEMAとcHMIの各連鎖ユニット間の相溶性が、その両者に対しての良溶媒であるドーパントにより、改善されたためと結論づけている。</p> <p>本共重合体により、T_gが115°Cとなるようにコア素材組成を決定し、ドーパント拡散共押出プロセスによりGI POFを試作した結果、紡糸後の外径は$746 \pm 5\ \mu\text{m}$と安定しており、伝送損失は波長660 nmで132 dB/km、780 nmで330 dB/kmとポリメタクリル酸メチル(PMMA)系GI POFよりも、特に長波長側で優れていることを明らかにしている。また全長50 mのGI POFの伝送帯域は2 GHz以上と目標を上回っていることを明らかにしている。機械的強度は、結びや巻付けでの感応評価、及び引張り導光試験、キンクストレス試験により評価され、既存のPMMA系POF素線と遜色ないことを確認している。さらに100°Cでの長期耐熱性試験も行き、2000 hr後も伝送損失の低下が見られないことを確認している。</p> <p>第5章に、結言として研究成果を要約し、本開発試作品GI POFの応用が期待される用途や、将来的な検討項目についても言及している。</p> <p>以上要するに、本論文は、新規なフォトニクスポリマーの設計と成形技術のもとにGI POFを広く社会に展開しようとするものであり、光通信分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p> | | | |
| 学識確認結果 | <p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第2(機能デザイン科学専修)科目担当で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また、語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。</p> | | |

○○○には審査担当者氏名、△△△には専修名を記載する。