

(様式2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 菅 真一郎

題 目 連続積層賦形法によるプラスチックGRINレンズの新規製造法

学位論文の概要及び要旨

屈折率分布型レンズ (Gradient Index Lens, GRINレンズ) は、均質レンズには無い優れた光学設計上の特性を有しており、新規な光学素子として、特に光情報処理や光通信分野で利用されている。円柱状GRINレンズは、屈折率分布方向により、Axial-GRINレンズとRadial-GRINレンズの2種に分類される。このうちRadial-GRINレンズは、2次元的に屈折率分布が形成されたレンズであり、一般的には、中心軸から周辺に向かって屈折率が徐々に減少するような分布を有するレンズである。本研究では、このRadial-GRINレンズを研究対象とした。円柱状GRINレンズは、ロッドレンズとも呼ばれており、中心軸から外周にかけて半径に対して2次関数的に減少する屈折率分布を有している。このようなレンズは適当な長さで用いることにより、レンズ端面に倒立の実像や、正立の等倍像などを結像させることが可能であるため、ワーキングディスタンスをほとんど必要としない。すなわち、装置の小型化や高性能化が可能となる。ロッドレンズは初期には、無機ガラスを素材としたガラス製レンズの独占市場であった。しかしながら、ガラスという素材の持つ欠点と、製造技術の省エネルギー、環境負荷の観点から、1970年代半ばからプラスチック材料を用いたロッドレンズの研究開発が始まり、連続的な生産技術の開発研究を経て、現在に至っている。

本論文は、アクリル系ポリマーを用いたプラスチックロッドレンズ製造に関して、異なる屈折率を持つポリマー溶液内のモノマーの相互拡散を利用した、新規な屈折率分布形成手法の提案と、作製したレンズ特性に関する工学的研究を行ったものである。所定の屈折率を持つプラスチックファイバーを、ファイバーの屈折率より少し低い高分子溶液の自由表面から、重力と反対方向（上方）に引き上げ、ファイバー周囲に高分子溶液の薄膜を形成させる。ファイバー周囲に付着した高分子溶液中のモノマー成分が固体ファイバー内部に拡散し、屈折率分布が形成される。紫外線を照射しモノマーを重合させ、屈折率分布を固定したファイバーを、さらにより屈折率の低い高分子溶液の自由表面から引き上げ、同様に溶液薄膜を形成させると、溶液中のモノマーが内部の重合した薄膜内に拡散し、新しい屈折率分布が形成される。この操作を複数回繰り返すことにより、中心軸上から外周部にかけて放物型屈折率分布を有し、目的の直径を持つGRINファイバーが得られる。

中心部材となる芯ファイバーは最も屈折率が高い部位にある。理想放物型屈折率分布を仮定した場合、中心軸は1.544の高屈折率となる。また、連続積層賦形法は芯ファイバーの周

囲に高分子溶液を積層するため、高い引張り強度を有する必要がある。本研究では、メタクリル酸ベンジル(BzMA)とメタクリル酸メチル(MMA)の共重合体を用い、芯ファイバーを熔融押出紡糸法で作製するための操作条件の検討、すなわち、熔融押出温度の最適化、ファイバーの直径安定性と引張り強度に与えるダイ温度の影響、共重合体に含有された少量のオリゴマーの連続除去方法を検討した。また、カラーレンズ用材料として、BzMA/MMA/ジシクロペンタニルメタアクリレート (TDMA) 共重合体を用いて、熔融押出法による芯ファイバー作製条件の検討を行った。

ファイバーの外周に形成される高分子溶液賦形膜厚の制御は、連続積層賦形法の技術的な要である。本年球では、新規に開発した高分子溶液賦形装置を用いて、屈折率の異なるモノマーを配合した2種類の溶液による賦形実験を行った。実験結果をもとに、賦形膜厚をLandau-Levich-Derjaguin式 (LLD式) およびMiddleman式による相関を行い、引上げ速度およびポリマー濃度 (粘度) が賦形膜厚特性に与える影響を中心に検討した。

GRINレンズは、収差や歪みが少なく鮮明な像が得られる特徴を有しているが、この特徴を最大限引き出すためには、レンズ内部の半径方向に放物型屈折率分布を形成させる必要がある。しかしながら、操作条件を個々に変化させ、作製されたレンズの屈折率分布を測定して最適条件を定めるのは、そのパラメータの多さから考えて容易ではない。そこで、賦形液膜内および内部賦形層へのモノマーの移動を相互拡散モデルで数値計算し、各成分モノマーの分布から屈折率分布を計算する計算機プログラムを確立した。また、このプログラムを用いて、MMAとBzMAをモノマー成分とするポリマー溶液の拡散物質移動を数値解析し、ファイバーの屈折率分布に与える高揮発成分の蒸発の影響、賦形膜厚の影響、3層賦形ファイバーへの拡張などに関する検討を行った。

本法によるGRINレンズの実用的生産を目指して設計された10層賦形装置を用いて、GRINファイバーを作製し、屈折率分布の測定を行うとともに、ファイバーを切削加工してレンズアレーを作製し、MTF等の光学特性を測定して実用化への可能性を検討した。