

# 論文内容要旨 (和文)

平成20年度入学 大学院博士後期課程

物質生産工学専攻 材料物理工学分野

氏名 高岡 俊允



論文題目 プラスチック光学素子の微細転写成形に関する研究

近年、自動車の安全運転を支援する技術が盛んに開発されており、実用化が進んでいる。それらを支えるキーデバイスとしてセンサやカメラが挙げられ、自動車への光学素子の使用が急激に増えてきている。車載用としてセンサやカメラなど厳しい耐環境性が要求されているなかで、光学多層薄膜と比較して耐環境性に有利な反射防止構造 (ARS) など微細構造を有する光学素子の期待が高まっている。また、自動車分野に限らず、幅広い分野で微細構造の特徴を活かしたユニットの軽量化、小型化、薄型化などが期待され、それらを普及させるために安価で大量生産する成形転写技術が求められている。

そこで、本研究では、反射防止構造などサブ波長構造を中心にした生産性の高いプラスチック光学素子の微細転写成形技術の向上を目的とし、重要と思われる課題の中で、転写分布の均一化、転写と透過波面との両立、2面間の位置精度が高い薄型大面積化について実験検証を行い、悪化させるメカニズムの解明や実現可能性について調べた。

まず、射出成形で問題となりやすい成形品面内の転写分布の均一性について、回折現象を利用してサブミクロンスケールの構造体に対する転写分布の評価方法を提案した。周期的な格子に光を透過させると、転写高さに従って回折される光強度が増し、相対的にそのまま透過した0次光が減少することで濃淡として肉眼でも大凡確認できる。ピッチ1 $\mu\text{m}$ 、Duty比0.5、格子高さ約500nmのライン&スペース状の格子を用いて定量的に光透過像の輝度分布とAFMによる転写率との関係を調べた。結果、両者には良好な線形性がみられた。これらの間には材質を変えた場合でも同様の線形性を示した。また、RCWAによる電磁場解析を用いて格子形状を変えた場合の格子高さとの関係性を調べた。結果、ピッチ0.8 $\mu\text{m}$ 、Duty比0.5前後、アスペクト比1程度であれば、本手法は可視光にて評価可能であることを示した。

次に、提案した評価手法を利用して成形品の厚みと射出速度に対する転写分布の違いを調べた。フローフロントの形状が均一ではない高速射出の状況下で発生していた転写不良に対してショートショットによる転写分布の推移や3次元流動解析で調べた。結果、充填パターンの不均一性やせん断発熱による樹脂温度の不均一性によって初期の転写に違いが生じ、転写されやすい領域から逃げ場を失ったエアの圧力が上昇したことで転写不良を発生させた可能性を示した。

さらに、反射防止構造を表面に持つ小径レンズをターゲットに、一般的に難しいとされる微細転写精度と透過波面収差との両立について検討した。反射防止構造の転写に対して、まず影響しやすい成形因子を実験によって抽出し、金型温度と保持圧力が支配的であるとわかった。しかし、保持圧力を高くすると透過波面収差が著しく悪化し、それは金型が開くまでに残っている圧力と高い相関関係がみられた。成形品の残留応力や側面の傷の状態から、金型から成形品を取り出す際の突き出しのバランスがゲートを起点としてレンズ部への変形を生じさせていることを示唆した。また、型締め力の脱圧機能を用いて金型の残存圧力を減らすことで転写率を維持したまま透過波面収差をRMS値で0.03 $\lambda$  ( $\lambda$ :波長632.8 nm)程度まで改善できることを確認した。しかし、それでも反射防止構造に対する転写率は50%に留まり、透過波面収差を低く抑えたまま転写率を100%近くに改善するためには、外部から熱量を与えるなど、別の手法が必要であることを示した。

そこで、電磁誘導による金型局所加熱を用い、加熱温度のピークや型内圧力波形、転写精度との関係性を調べた。結果、金型コアの側面で計測した温度において、成形材料のガラス転移温度より15 °C以上に加熱し成形するとほぼ100 %に近い転写率が得られた。また、加熱によって一時的に膨張したコアが冷却工程で収縮することにより型内圧力の低下がみられ、透過波面収差に悪影響を及ぼす型内残存圧力を減少させる効果も示した。最終的に曲面上に加工されたコアを用いて条件を最適化した結果、透過波面収差を0.02  $\lambda$ 程度と低く抑えたまま、ほぼ100 %の転写が可能であると示した。

最後に、射出成形では難しい薄型大面積化の課題に対して、2面間の位置精度が優れた素子が成形できる金型を開発し、溶融微細転写装置を用いて成形した。実験では大きさ約100×60 mmの両面にマイクロレンズアレイが加工されたスタンプを用いて、金型温度や加圧力を変化させて2面間の位置精度の違いを調べた。結果、位置精度は温度や圧力条件で大きく変わらないが、成成品の全体的な収縮の差については条件によって変動し、均一に加圧できることが重要であることを示した。厚み0.5 mmで固有複屈折の大きいポリカーボネートを用いて成形しても、複屈折位相差が20 nm(測定波長542 nm)程度と極めて小さく抑えられ、また、数十nmピッチのランダムな反射防止構造に対しても十分な転写が可能であることを示した。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成 29 年 2 月 6 日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 伊藤 浩志

副査 岡田 修司

副査 香田 智則

副査 杉本 昌隆

副査



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	専攻・分野名	物質生産工学専攻	材料物理工学分野	氏名	高岡 俊允
論文題目	プラスチック光学素子の微細転写成形に関する研究				
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	平成 29 年 1 月 25 日～ 平成 29 年 2 月 6 日		
論文公聴会	平成 29 年 2 月 6 日	場 所	工学部 GMAP 4 階 406 室セミナー室		
最終試験結果	合格	最終試験年月日	平成 29 年 2 月 6 日		

学位論文の審査結果の要旨 (1,000 字程度)

本論文は、生産性の高いプラスチック光学素子の微細転写成形技術の向上を目的とし、重要と思われる「転写分布の均一化」「転写と透過波面との両立」「薄型大面積化」について実験検証を行い、悪化させるメカニズムの解明や実現可能性について明らかにした内容である。全 7 章から構成され、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、車載用としてセンサやカメラなど厳しい環境信頼性が要求される中、光学多層膜と比べ耐熱性などに優れた反射防止構造(ARS)など有する光学素子を安価で大量生産する成形転写技術を検討する意義を明らかにした。

第 2 章では、回折を利用して微細構造の転写分布を光の透過画像として評価する手法を提案し、有用性を示した。

第 3 章では、その評価手法を用いて成形品厚みと射出速度に対する転写分布の違いを調べた。充填パターンやせん断発熱の不均一さによって初期転写に違いが生じ、逃げ場を失ったエアの圧力が転写を妨げることを明らかにした。

第 4 章では、ARS の転写に対する条件傾向を調べ、金型温度と保持圧力の影響が大きいことがわかった。しかし、保持圧力を高くすると著しく透過波面収差を悪化させ、それは金型が開くまでに残っている型内圧力と強い相関があることを明らかにした。また、射出成形では ARS の転写率は約 50%に留まることを示した。

第 5 章では、電磁誘導加熱によって金型コアの温度をガラス転移温度より 15°C以上高くすることで、曲面上に ARS をほぼ完全に転写でき、またコアの熱収縮で型内圧力を低減させ、透過波面収差を小さくできることを明らかにした。

第 6 章では、100×60 mm の両面にマイクロレンズアレイを配置した金型を製作し、熔融微細転写装置で成形した。2 面間の位置精度は成形条件で変わらないが、収縮分布の低減には均一な加圧が重要であると明らかにした。製品厚み 0.5 mm の成形品でも配向複屈折が極めて小さく、また、数十 nm ピッチのランダム ARS の転写も可能と示した。

第 7 章では、本研究を総括しており、複雑な外形を有し、かつレンズ面に微細構造を持つ複合光学素子の大量生産に適した微細転写技術の実現可能性を示し、その有用性に期待ができると結論付けられている。

本研究の成果は、2 報の学術論文 (英文 2 報) としてまとめられており、掲載されている。国際学会では 4 件、国内学会では 1 件の発表を行い、審査基準を満たしているものである。

以上を総合的に判断し、本論文に関する研究及びその成果は、博士(工学)学位論文の研究としての水準を満足しているため、合格と判定した。なお本論文は、研究倫理又は利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ありません。

最終試験の結果の要旨

本学の規定に従い、本論文および関連分野に関して口頭により最終試験を行った。最終試験は、学位論文を中心とした 40 分の口頭発表ならびに 20 分の質疑応答により実施した。その結果、学位論文の内容ならびに関連分野に関する理解度は十分にあり、博士の学位を授与するのに必要とされる専門知識および研究能力を十分に備えているものと判断し、合格と判断した。