

論文内容の要旨

博士論文題目 マイクロレンズ用波面収差測定装置の高精度化と
国際標準への適用に関する研究

氏名 宮下 隆明

(論文内容の要旨)

要旨

マイクロレンズ、マイクロレンズアレイは、半導体レーザー、センサーと光ファイバー、光導波路間のカップリングなどの光通信用途、プロジェクター用液晶パネル、共焦点顕微鏡、イメージセンサー (CCD, CMOS) などの光利用効率向上、シャック・ハルトマンセンサなどの計測分野、さらに、3D イメージングなど広範な用途で用いられている。

作成方法では、ガラス材料のイオン交換、プラスチック材料の重合による屈折率分布の形成、また、フォトリソグラフィ技術、ドライエッチング技術などの半導体プロセスの活用がすすむなど進歩がめざましい。形状も単なる球面だけでなく非球面、アナモフィック光学系など複雑な形状も容易に作成できるようになり、用途が広がっている。直径が数 μm 程度の小さなレンズの作成も可能になり、重要な光学特性である波面収差測定の小径レンズへの適用に関するニーズが増大している。しかし、サイズの制約で測定用の干渉計開発が十分とはいえなかった。また、メーカーとユーザー間で共通の評価基準を定めるための国際標準開発も望まれていたが、評価技術開発の課題があり進展が遅れていた。

以下、本研究成果について各章ごとに整理する。

第1章「序論」では、研究の背景、本研究における目的と課題を示す。

第2章「マイクロレンズとその計測技術」では、各種製法で作製されたマイクロレンズの評価を通じて特性評価技術をまとめ、個々の技術の適用性を明らかにする。また、代表的な光学特性である波面収差の測定法について整理する。

第3章「マイクロレンズの波面収差測定」では、まず、マイクロレンズの波面収差測定技術の課題を明確にする。次に、Mach-Zehnder 干渉計を用いた波面収差測定技術をマイクロレンズの評価に適用する場合の回折光の影響に関し、測定範囲を限定するために用いるハードウェアとソフトウェアによるアパーチャーについて、理論検討と開発装置を用いた実測との対比をおこない、精度確保の可能性を確認する。さらに実用化の可能性も明らかにする。

第4章「マイクロレンズの国際標準開発」では、開発したマイクロレンズ用 Mach-Zehnder 干渉計の技術を、ISO TC172 (Optics and photonics) / SC9 (Electro-optical systems)での審議を通じて、ISO 標準 (14880-2 Microlens Arrays Part 2 : Test methods for wavefront aberrations) に適用した。メーカーとユーザー間で使用可能な共通の評価基準を定めた波面収差測定技術の国際標準への反映により、評価技術の一般化を通じた製品の市場価値を高める検討をすすめた。

最後に、第5章「結論」では、各章の成果をまとめ、本研究から得られた知見を総括すると共に、残された課題について議論し、将来の展望も述べる。

(論文審査結果の要旨)

マイクロレンズ、マイクロレンズアレイは、半導体レーザーと光ファイバーのカップリングなどの光通信用途や液晶プロジェクタパネル、CCD・CMOS イメージセンサ用マイクロレンズなど様々な分野で用いられている。そのような状況で、レンズの重要な光学特性のひとつである波面収差測定に関するニーズが増大している。しかし、レンズサイズが小さいために、収差測定用の干渉計の開発が十分に進んでいなかった。これは、マイクロレンズメーカー（サプライヤ）とユーザー間で国際標準化を進めるための評価技術が確立されていなかったためであり、これらの解決が望まれていた。

本研究では、先ず様々なマイクロレンズの特性評価技術をまとめ、個々の技術の適用性を明らかにした。異なる製造方法によるマイクロレンズの波面収差を測定・評価し、マレシャル基準をもとに議論を行った。次に代表的な光学特性評価法である波面収差測定をマイクロレンズに適用した干渉計のプロトタイプ開発を行った。そして評価技術の理論検討を行うとともに、実測との対応を検証し、実用化の可能性を明らかにした。具体的には、マイクロレンズの波面収差測定用途に選定した Mach-Zehnder 干渉計を用いた波面収差測定装置において、不要光を遮断するために、光学系の途中にアパーチャーを設け、マイクロレンズの瞳面に縮小投影し、測定領域にだけ干渉縞を形成し物理的に測定範囲外の光束を遮断した場合と、ソフトウェアのみで測定範囲を規定した場合の差異について詳細な検証を行った。両者の差異をシミュレーションと実測とで確認し、マイクロレンズ用波面収差測定用干渉計に必要な要件を明らかにした。またこのプロトタイプモデルの評価結果をもとに実用的なマイクロレンズ波面収差評価装置を開発した。

次に産業界のニーズに対応したマイクロレンズメーカー（サプライヤ）とユーザー間で共通の評価基準を定めるための波面収差測定技術の国際標準開発の状況について明らかにした。ISO 14880-2(2006) Microlens arrays - Part.2 Test methods for wavefront aberrations に投影型ハードウェアアパーチャーを設けた Mach-Zehnder 型干渉計の技術を反映させる目的で、ラウンドロビンテストを実施した。ドイツ Erlangen 大学で開発された Mach-Zehnder 型の透過波面収差測定光学系に基づくファイバー光学系を用いた方式と比較した結果、高い測定互換性があることがわかった。これらの結果により本研究で開発した投影型ハードウェアアパーチャーを設けた Mach-Zehnder 型干渉計の技術が ISO 標準の 1 方式として採用された。本研究で開発した測定技術を国際標準に反映することで、マイクロレンズの評価技術を汎用的なものとし、マイクロレンズ製品の市場価値を高めることが期待できる。

本研究におけるマイクロレンズ用波面収差測定装置の高精度化とその国際標準への適用は、高度情報通信社会にとって極めて重要かつ汎用的な技術である。従って、審査委員一同は、本論文が博士（工学）の学位論文として価値あるものと認めた。