

## 審査の結果の要旨

氏名 中西 務

「ナノ粒子の自己組織化を用いた超微細加工技術とその光学的応用に関する研究」と題した本論文は、ナノ粒子の自己組織化を用いた超微細加工技術及びその応用技術に関して検討したものである。大面積領域にナノ粒子単層膜を形成するための新規プロセス技術である Embedded Particle Monolayer (EPM) 法を提案し、これを実現するための材料及びプロセス条件を検討し、このナノ粒子単層膜をテンプレートに用いた超微細加工技術について論じている。さらに開発された手法を用いて、光学材料や発光デバイスへの応用を検討しており、7章から構成されている。

第1章は序論であり、ナノテクノロジーにおける超微細加工技術の重要性と課題、次世代技術ならびに研究目的が述べられている。本論文では、ナノ粒子の自己組織化を利用した超微細加工技術について述べたのち、この手法の光学的応用について論じている。

第2章は、EPM法のコンセプトと、その実験結果が記述されている。従来のナノ粒子単層膜形成方法はマイクロメートルオーダーの欠陥領域が生じやすく、大面積領域に均一に作製することが難しかった。EPM法は熱可塑性樹脂の接着層上にナノ粒子多層膜を形成した後、余分な粒子を除去することでナノ粒子単層膜を形成するため大面積化に適している。EPM法を実現するための材料及びプロセス条件を検討しており、様々なナノ粒子単層膜を大面積領域に形成できることを実証している。

第3章は、この手法で作製したナノ粒子単層膜をエッチングマスクに用いた超微細加工技術について記述している。粒子配列パターンを反応性イオンエッチングにより下地材料に転写することで、様々なナノ構造を作製しており、この手法により大面積領域に安価にナノ構造を形成できるようになった。この手法の応用技術に関して、本論文の後半部で述べている。

第4章は、次世代ディスプレイである有機EL素子の高輝度化技術について記述している。従来の有機EL素子は発光した光の約80%が素子内部に閉じ込められる。この閉じ込め光を、EPM法を用いた超微細加工技術で作製した微細回折構造によって素子外部に取り出し、高輝度化することを検討している。作製した有機EL素子の電気特性は回折構造の有無にかかわらず同等のまま、発光特性は

全光束で約 1.6 倍、発光ピーク波長で約 2 倍の輝度向上を実証している。

第 5 章は、安価な製造コストが求められる光学フィルムへの応用を論じている。携帯機器や、カーナビゲーションシステムのような外部環境下で使用するディスプレイ表面の外光反射抑制のため、無数のナノ突起構造を形成した Moth-eye フィルムを安価に大面積に形成するための作製方法について記述している。EPM 法を用いて 12 インチ基板全面に Moth-eye 構造を形成することに成功しており、得られた Moth-eye 構造は可視光全域で反射率が 0.8%以下と高い反射防止効果を確認している。この基板を原盤として、電気鋳造法によってディスプレイ向け大面積 Ni スタンパーを作製し、量産性の高い光インプリントによって反射防止効果の高い Moth-eye フィルムを作製することに成功している。

第 6 章は、EPM 法を用いた新規ナノ構造材料の開発について論じている。光学デバイスに用いられている酸化物透明導電材料の代替として、レアメタルフリーで低抵抗な新規透明電極材料である Al 薄膜にナノ開口を設けた Al ナノメッシュ電極を検討している。EPM 法を用いた作製手法を開発し、その構造と光学特性の関係を明らかとしている。

第 7 章は、結論であり、本研究で得られた結果を総括し、ナノ粒子を用いた超微細加工技術の位置づけと今後の方向性を示している。

本論文は、ナノ材料の自己組織化を利用して新規微細加工プロセスを開発し、新しい方法論によりデバイス試作までを行っており、化学システム工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。