

論文内容要旨 (和文)

2020年度入学 大学院博士後期課程

有機材料システム専攻

氏 名 小松 迅人



論 文 題 目 反転オフセット印刷法を用いた微細グレーティング構造形成に関する研究

印刷技術を用いた電子デバイス製作技術は、産業界で注目されており研究所からはこれまで多くの報告がされている。反転オフセット印刷に代表されるブランケットを活用した印刷手法は、高解像度のパターン形成を可能とする。反転オフセット印刷は、インクを塗布した版のパターンを一旦PDMSなどのブランケットに転写し、その後、ブランケットから基材に印刷を行うものである。ブランケットは、インクに含まれる溶剤の吸収による流動性や粘度を制御する機能を持っていることから転写時の適切なインクの状態をつくることのできるため、精細パターン印刷との関係の報告があるほど重要な部品である。ところで、高解像度印刷を可能とする条件には、「キスタッチ」という表現がある。しかし、「キスタッチ」は、数値化されていないため工業的な展開に課題がある。

ところで、X線イメージングは、医学、物質科学から産業界まで幅広く活用されている。物質のX線の吸収率の違いを用いて透過したコントラストにより投影像を取得する。投影像の高い解像度には、Talbot干渉計、フレネルレンズプレートなどがある。Talbot干渉計は、試料を挟むように二つの回折格子(grating)からなる。回折格子によって試料の屈折が微細に変化するようになり、低吸収な物質にも高解像度な干渉縞パターンが形成される。回折格子は、ある程度のX線吸収が必要となりアスペクト比が高ければ高い方が望ましい。Talbot干渉計は、通常のX線装置に回折格子を導入することにより、高解像度の投影像が取得できるため着目されている。

本研究の目的は、従来の微細な回折格子の作製に使用される半導体プロセスやLIGAプロセスといった除去加工により作製する手法に対して印刷法を用いてX線デバイスの作製を提案すること、そして高精細な印刷が可能となる条件を導き出し、微細転写と積層印刷実験により作製されたデバイスの検証である。本研究では、Agナノインクと反転オフセット印刷機を用いて実験を行った。

本論文は、以下4章で構成されている。下記に概要を示す。

○第一章では、序論として、研究の背景、目的、各印刷法、PDMSの概要、Talbot効果、フックの法則および弾性率について述べる。

【各印刷法とPDMSの概要】

- ・プリンテッドエレクトロニクスで活用される代表的な印刷手法の説明と微細印刷に重要となるPDMSについて説明する。プリンテッドエレクトロニクスで活用されている用途によって印刷手法が選択されており、それぞれの印刷手法の特徴と印刷の解像度を説明する。本研究で高解像度印刷に重要となる印刷部品のブランケット材料のシリコンの特徴を説明する。

【Talbot 効果】

- ・本研究では、Talbot効果を活用したデバイスを高解像度印刷の応用アプリケーションとしている。Talbotの概要を数式からTalbot効果が発現する条件を説明する。

【フックの法則と弾性率】

- ・本研究では、高解像度印刷に必要な条件が、ブランケットの挙動との相関があると考えているため弾

性体のひずみ応力に比例するフックの法則について概要を数式的に説明する。

○第二章では、実験方法と実験結果の説明を行う。

反転オフセット印刷の版は通常、印刷テンプレートとして石英ガラスを使用し、湿式（化学）と乾式の2種類のエッチングプロセスを使用して製造される。一方、LIGAプロセスは高解像度、高アスペクト比が得られるが、非常にコストが高く、印刷パターンを多品種少量生産する研究開発には不向きである。本研究では、半導体プロセスで比較的成本が抑えられ確立されているドライエッチングプロセスを適用することにより、シリコンウエハ上にパターンを作製し印刷版として使用することを試みた。

X線デバイスの作製には、従来の高精細なパターン描画が可能な半導体プロセスを用いるが、量産および大面積化には不向きである。本研究では、反転オフセット印刷の高解像度を可能とした印刷条件を導き出し、作製したデバイスがX線デバイスとして機能することを示す。

○第三章では、新しい観点による高解像度印刷条件についての考察を行う。

○第四章では、本研究のまとめと今後の展望を述べる。

本研究では、高解像度印刷に必要とされる表現の「キスタッチ」について、ブランケットの微小な挙動を把握することで「キスタッチ」の数値化ができるようになった。また、高解像度印刷が可能となった条件で作製した回折格子は、X線CT装置に実装し投影した結果、X線デバイスとして機能が確認できた。

本研究を公開することにより、印刷手法を用いた微細構造パターン成形が可能となり、新たな機能発現方法として、アディティブマニファクチャリングの技術に資することを期待する。

論文内容要旨 (英文)

2020年度入学 大学院博士後期課程

有機材料システム専攻

氏 名 小松 迅人



論 文 題 目 Development of finely patterned grating structures using reverse offset printing

The paper discusses the grating interest in electronic device fabrication using printing technology, particularly methods like reverse offset printing which can create high-resolution patterns. It emphasizes the importance of the blanket used in this process, as it affects ink fluidity and viscosity, crucial for achieving precise prints. However, the concept of "kiss touch" necessary for high-resolution printing, lacks quantification, posing a challenge for industrial development.

Additionally, the next mentions the widespread use of X-ray imaging in various fields and highlights Talbot interferometry as a method to obtain high-resolution images. The study aims to propose X-ray device fabrication using printing technology instead of traditional methods, investigating conditions for high-resolution printing and verifying devices through experiments using Ag nano-ink and a reverse offset printer.

This paper consists of the following four chapters. An overview is given below.

Chapter 1 describes the background and purpose of the study, each printing method, an overview of PDMS, the Talbot effect, Hooke's law and modulus of elasticity are described.

Chapter 2 describes the experimental methods and results.

Chapter 3 discusses high-resolution printing conditions from a new perspective.

Chapter 4 provides a summary of this study and future prospects.

In this study, "kiss touch," an expression required for high-resolution printing, could be quantified by understanding the minute behavior of the blanket. In addition, diffraction gratings fabricated under the conditions that enabled high-resolution printing were implemented and projected on an X-ray CT system, and their function was confirmed as an X-ray device.

By publishing this research, it is hoped that microstructure pattern forming using printing methods will become possible and contribute to additive manufacturing technology as a new method of expressing functionality.

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

2024年 8月 5日

有機材料システム研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 高橋 辰宏 印
副査 伊藤 浩志 印
副査 松井 弘之 印
副査 関根 智仁 印
副査 印

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	有機材料システム専攻 氏名 小松 迅人		
論文題目	反転オフセット印刷法を用いた微細グレーティング構造形成に関する研究		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	2024年 7月 23日～ 2024年 7月 30日
論文公聴会	2024年 7月 30日	場 所	工学部11号館 未来ホール
最終試験結果	合格	最終試験年月日	2024年 7月 30日

学位論文の審査結果の要旨 (1,000 字程度)

本論文は、反転オフセット印刷法を用いて高解像度印刷を実現する条件を数値化し、L/S $1\mu\text{m}/1\mu\text{m}$ および L/S $4\mu\text{m}/4\mu\text{m}$ の高解像度印刷を可能にし、また、これらの L/S を保ちながら積層印刷によるアスペクト比が高いライン部で実現される微細グレーティング構造が、印刷型の X 線デバイスとして実現を目指したもので、計 4 章から構成されている。

第 1 章では、研究背景と本論文の目的、各印刷法、PDMS (ブランケット) の概要、X 線デバイスの原理として Talbot 効果の概要、高解像度印刷の重要な要素となるブランケット部の挙動把握に必要なフックの法則の概要を記載している。

第 2 章では、ブランケットの挙動の測定系の構築、高解像度印刷条件の抽出、目標のアスペクト比を構築する積層化などを詳細に記載している。また、応用展開として L/S $1\mu\text{m}/1\mu\text{m}$ および L/S $4\mu\text{m}/4\mu\text{m}$ 、 $0.7\mu\text{m}$ の高さを持った微細グレーティング構造を印刷手法で実現し、実際に X 線 CT に配置してサンプルを投影した像は、境界部が明瞭となる効果を示したことを記載している。

第 3 章では、高解像度印刷には、ブランケットの接触力の挙動が安定している領域を活用すれば可能であることを記載している。また、微細な負荷を変化させて得られたヤング率の挙動の活用は、ヤング率が小で接触仕事が大となるブランケット材料の転写パターン形状の安定性の条件抽出として考察している。

第 4 章では、本研究を総括し、印刷手法を用いた微細構造形成が新しい機能を持つデバイスの研究開発を加速させ、環境に応じて特性が変化するアダプティブデバイスなど、これまでにない革新的な技術が誕生する可能性について言及し、本論文をまとめている。

研究テーマには新規性・独自性があり、自ら研究を計画・遂行するための専門的知識を基に、研究背景・目的が明確に述べられていた。学位論文の構成は適切で、体裁も整っており、記述は論理的で、設定した研究テーマに沿った明確な結論が述べられていた。以上から、本論文は工学における学術的探究とデバイスの実用化検討への貢献という観点より、博士 (工学) の学位を授与するに十分であると判断された。また本研究成果は、学術論文 (2 報掲載済み) によってまとめられており、当該専攻の審査基準も満たしている。以上を総合的に判定し、研究成果および研究内容ともに工学的貢献が十分に認められたため合格と判定した。

なお本論文は、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

最終試験は 50 分の学位論文内容の口頭発表の後、30 分の質疑応答により実施した。発表では、研究の背景・目的について述べ、その後具体的な反転オフセット印刷法を用いた微細グレーティング構造の作製方法について説明し、従来明らかにされていなかった反転オフセット印刷の最適条件を定量化した。更に実現したデバイスの特性に関して説明するとともに、応用例での実証についても明確に説明がなされた。質疑応答では、インク材料や圧力の定量的な測定条件、また先行技術に対する本研究成果の特徴と位置づけに関して質問があった。これに対し申請者は適切かつ具体的に回答できた。この結果、博士 (工学) として必要とされる専門知識および研究遂行能力を十分に備えているものと判断し、最終試験を合格とした。