

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Cold-welding transfer printing for efficient fabrication of metallic nano/micro structures
著者(和文)	SHENHao
Author(English)	Hao Shen
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11591号, 授与年月日:2020年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉野 雅彦,平田 敦,山崎 敬久,赤坂 大樹,山本 貴富喜
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11591号, Conferred date:2020/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Shen Hao		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	吉野 雅彦	教授	審査員	山本 貴富喜	准教授
	審査員	平田 敦	教授			
		山崎 敬久	准教授			
赤坂 大樹		准教授				

論文審査の要旨（2000字程度）

本論文は「Cold-welding transfer printing for efficient fabrication of metallic nano/micro structures」と題し、英文5章からなっている。

第1章「Introduction」では本論文の背景、動機および目的について述べている。まず微細金属素子により発現する光学的機能の例を挙げ、それを利用したバイオセンサーや SERS (Surface Enhanced RAMAN Spectroscopy)基板などの分析デバイス、さらに光メタマテリアルなど工学的応用の可能性を述べている。次いで種々の微細金属素子の製造技術を概観し、フォトリソグラフィー法や自己組織化法などこれまでに開発されてきた微細加工法の特徴、長所、短所を比較し、ソフトリソグラフィー法の一つであるトランスファープリンティング法がバイオセンサーや SERS 基板などのための微細金属素子製法として有望であると述べている。しかし従来のトランスファープリンティング法では設備コストや生産効率の点で実用化に問題があることを指摘し、それを解決するために冷間接合を利用したトランスファープリンティング法による製造プロセスを開発することを本研究の目的とすると述べている。

第2章「Fabrication of a mother mold by ultraprecision machining」では、トランスファープリンティング法のための母型を精密切削加工にて製作する方法の可能性について検討している。種々のすくい角を有する単結晶ダイヤモンド製V型工具を用い、特性の大きく異なる3種類の材料、すなわちソーダガラス、サファイヤ基板、Ni-P コーティング膜を母型素材として微細切削加工実験を行っている。ソーダガラス、サファイヤ基板については臨界切削加工深さに及ぼすすくい角および加工液の影響、また Ni-P コーティング膜については微細溝の形状および工具寿命に及ぼすすくい角および加工液の影響を検討している。この結果、Ni-P コーティング膜が母型素材として適しており、これを用いることにより最も基本的な微細構造である微細溝列を最小 300 nm 間隔で加工可能であり、精密切削加工により低コスト高効率で微細母型の製作が可能であると述べている。

第3章「Replication molding of polymer stamps」では、トランスファープリンティング法に用いるスタンプの効率的製法を確立するために、ホットプレスにより微細母型形状を合成樹脂フィルムに転写する方法を検討している。合成樹脂フィルム素材として PET (Polyethylene Terephthalate), PC (Polycarbonate), PMMA (Poly Methyl Methacrylate), COP (Cyclo-Olefin Polymer) を用い、また金型として微細切削加工により製作した微細溝列を有する Ni-P コーティング膜母型

およびフォトリソグラフィ法で製作した穴列，微小柱列，微細溝列形状を有するシリコン基板母型を用い，ホットプレスの成型温度，成型圧力が成型形状に及ぼす影響を実験的に検討し，最適な成型条件を明らかにしている。これらのデータに基づき PC, PMMA, COP がスタンプ用材料として適していると述べている。

第4章「Cold-welding transfer printing of metallic Nano/Micro structures」では，金薄膜の冷間接合によるトランスファープリンティング法のメカニズムを明らかにし，付加的トランスファープリンティング法および除去的トランスファープリンティング法を検討している。まず精密切削により微細溝を加工した Ni-P 薄膜母型より製作した PMMA 薄膜スタンプに金薄膜をスパッターコーティングし，石英ガラス基板にスタンプの凸部の金薄膜を移着する方法を検討している。石英ガラス基板に予め金薄膜を接合層としてコーティングしておくことにより，スタンプ凸部の金薄膜が短時間で冷間接合し移着させることができ，石英ガラス基板に金の微細線列構造を製作する効率的な付加的トランスファープリンティングが実現できることを示している。次いで，除去的トランスファープリンティング法に適した合成樹脂フィルムを選択するため，種々の合成樹脂フィルム上にスパッターコーティングした金薄膜の接合強さを比較し，その結果，スタンプ材料には PC，基板材料には COP の組み合わせが適していると述べている。さらにシリコン基板母材を用いホットプレスにより製作した種々の形状を有する PC 製スタンプを用い，COP 基板にコーティングした金薄膜の除去的トランスファープリンティング法が実現できることを示し，成型可能な微細構造寸法が膜厚および基板とスタンプの表面エネルギーの関係によって決まることを明らかにしている。また同じスタンプを繰り返し除去的トランスファープリンティング法に利用可能であること実験的に示している。以上の結果に基づき，冷間接合トランスファープリンティング法は従来のリソグラフィ法に比べ操作手順と設備コストを大幅に削減でき，金属微細構造の実用化に有効であると述べている。

第5章「Conclusion」では，本論文で得られた知見をまとめ結論としている。

以上を要するに，本論文は新たな機能デバイス材料として期待される微細金属素子を配列した基板を効率的に製造する方法としてトランスファープリンティング法を提案し，その母型の製作から微細金属素子基板製造までの工程について，その加工原理を明らかにし，従来のリソグラフィ法に代わる低コストで効率的なプロセスが実現可能であることを示しており，工業上・工学上貢献するところが大きい。よって博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。