

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2007～2011

課題番号：19106003

研究課題名（和文） 積層微細構造を広範囲一括で金型転写する技術の開発

研究課題名（英文） Molding multi-layered precise structures widely and seamlessly

研究代表者

中尾 政之（NAKAO MASAYUKI）

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：90242007

研究代表者の専門分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：ナノ・マイクロ加工 機械工作・生産工学 精密部品加工 超精密金型転写

1. 研究計画の概要

申請者は、微細構造を有する光学素子をハンコを押すように生産する方法を開発することを目標としていた。具体的には、ピッチが可視光波長の半分（たとえば 200 nm）の凸凹を有する導波路、金属のラインアンドスペースを有する偏光板、そして屈折率の異なる材料が波長程度のピッチで3次元に周期配列された多機能光学素子である。これらの微細構造を大型液晶ディスプレイなどに用いることができれば、明度、偏光、色、視野角などを調整する複数枚のシート群を代替できる。

諸機能を融合した光学素子を製造するために、積層微細構造を広範囲一括で金型転写する技術の開発が、本研究の目的である。具体的には、広範囲一括で転写するためにロール形やブローチ形の金型を設計する。または、積層微細構造を転写するために、成膜プレス反復機構やせん断変形機構を設計して、それぞれの転写工程を実現することである。また、一般的な転写の基礎技術も深耕することも必要である。広範囲に転写可能な新たな金型材料の開発が不可避であり、たとえばロール形には隙間変動を吸収する弾性材料のゴム金型が必要である。最後に光学計算を行い、要求される形状の金型設計を行う。

2. 研究の進捗状況（600～800字）

Ni 電鍍ロール形の金型を試作し、熱転写を

行った。幅片当たりを防止するために、Ni 金型の反対側にはシリコーンゴムをローラに巻いたものを用いた。金型をヒータで全て温めておくとリフローにより転写不十分であった。よってヒータローラと金型を分離して、冷却完了後に離型することを考え、実際に転写が可能であることを確認した。幅 100 mm のフィルムを送り速度 10 mm/s で転写可能であった。

成膜プレス反復機構を実際に設計・製作し、微細ギャップの最大 5 層の積層に成功した。さらに、これをローラで行えることを示した。これは微細なギャップ（真空または大気）を3次元に配列させたものであるが、各層間にギャップではなく他の材料（たとえば金属や、高屈折率酸化物）を埋め込むことも考え、実証している。この場合、転写と接合を同時に行う。

せん断変形機構については、金型の後ろから錘を自由落下させる方法を用いた。静的にプレスした結果と高速でプレスした結果を比べると、上から見たときにはほとんど違いはないが、断面を比べると静的プレスのほうが下の方の層がなまっているのに対して、高速プレスでは下の層まできれいにずれていることがわかった。最上部の歪みを分母として、最下層の歪みを分子としたものを転写率と定義するならば、歪み速度で約 1000～1500 s⁻¹ を境に高い転写率でせん断される傾向を得た。また、この結果は、錘の自由落下での実証実験であるが、超磁歪素子プレス機を設計・製作し、より再現性の高いプレスを行うことができている。

3. 現在までの達成度

ロール金型を用いて幅 100 mm と広範囲に、かつ 10 mm/s と高速で転写できることが確認できた。さらに、厚さ 1 μm の積層構造を最大 5 層転写することに成功した。このことから、積層微細構造を大量生産する方法を提案できたと言える。当初の研究計画では、ロール金型で積層微細構造を製作することは明記していなかったが、スタンパ式の成膜プレス反復機構をローラ成形に拡張できたことは、当初の目標を超える進展があったと言える。

4. 今後の研究の推進方策

積層微細構造の大量生産方法の具体的なアプリケーションを目指す。光学素子もディスプレイに応用するフォトニック結晶に留まらず、高輝度 LED 用フィルム、高効率太陽電池に応用することを考える。また、被転写材料を金属に拡張し、たとえば固体燃料電池のガス流路兼放熱フィンの積層構造を大量生産する方法も模索する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

① K. Nagato, S. Sugimoto, T. Hamaguchi, M. Nakao, “Iterative roller imprint of multilayered nanostructures”, *Microelectron. Eng.*, Vol. 87, 1543-1545, 2010, 査読有

② S. Hattori, K. Nagato, T. Hamaguchi, M. Nakao, “Rapid injection molding of high-aspect-ratio nanostructures”, *Microelectron. Eng.*, Vol. 87, 1546-1549, 2010, 査読有

③ H. Suzuki, K. Nagato, S. Sugimoto, K. Tsuchiya, T. Hamaguchi, M. Nakao, “Iterative imprint for multilayered nanostructures by feeding, vacuum forming, and bonding of sheets”, *J. Vac. Sci. Technol B*, Vol. 26, 1753-1756, 2008, 査読有

④ T. Hamaguchi, H. Yonemoto, K. Nagato, K. Tsuchiya, M. Nakao, “Single-pass forming for three-dimensional microstructures by high-speed shearing of multilayer thin films”, *J. Vac. Sci. Technol B*, Vol. 26, 1771-1774, 2008, 査読有

⑤ M. Nakao, K. Nagato, H. Suzuki, T. Nishino, H. Yonemoto, H. Kaito, T. Hamaguchi and K.

Tsuchiya, “Sub-wavelength Pitched Cubic Mosaic Multi-layer Precisely Pressed by Nano-features Mold for Multi-functional Optical Elements”, *The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Vol. 1, 449-452, 2008, 査読有

⑥ K. Nagato, Y. Kojima, K. Kasuya, H. Moritani, Tetsuya Hamaguchi, and Masayuki Nakao, “Local Synthesis of Tungsten Oxide Nanowires by Current Heating of Designed Micropatterned Wires”, *Applied Physics Express*, Vol. 1, 014005:1-3, 2008, 査読有

⑦ M. Nakao, K. Tsuchiya, T. Sadamitsu, Y. Ichikohara, T. Ohba, T. Ooi, “Heat transfer in injection molding for reproduction of sub-micron-sized features”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 38, 426-432, 2008, 査読有

[学会発表] (計 3 件)

① 長藤圭介、杉本俊太郎、濱口哲也、中尾政之、「繰返しローラインプリントを用いた積層ナノ構造の製造」、2010 年春季第 57 回応用物理学関係連合講演会、2010 年 3 月 19 日、東海大学

② 服部俊太郎、長藤圭介、濱口哲也、中尾政之、「射出成形を用いた高アスペクト比ナノ構造の転写」、第 70 回応用物理学学会学術講演会、富山大学、2009 年 9 月 9 日、講演予稿集 9a-D-4, pp.642

③ 西野俊樹、森井洋、鈴木秀明、笹井健史、土屋健介、濱口哲也、中尾政之、「多層一括プレスによるフォトニック回路形成技術の開発」、精密工学会春季講演会、pp. 895-896、2008 年 3 月 17 日、明治大