

積層微細構造を広範囲一括で金型転写する技術の開発

Molding multi-layered precise structures widely and seamlessly

中尾 政之 (NAKAO MASAYUKI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授



研究の概要

本研究では、微細転写方法を3次元に拡張することで、積層構造を創成することを目的としている。具体的には、成膜とプレスを交互に繰り返す成膜プレス反復機構と、積層フィルムを一括でせん断変形させるせん断変形機構の2種類の加工方法について提案・実証する。また、ローラで、大面積を高速で転写する方法も確立する。

研究分野：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. 研究開始当初の背景

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200nm）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。

2. 研究の目的

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。

3. 研究の方法

厚さ約100 μm のNi金型を裏面からヒータローラで押し付けることで転写を実現している。熱転写直後に樹脂がリフローし、形状転写が不十分であった。そこで、金型充填中に冷却完了後に離型するためにヒータローラとNi金型シートを分離する方法を考えた。

液晶ディスプレイなどの最前面に貼られている反射防止構造の金型製法を紹介する。Fe薄膜を大気中で加熱するだけで垂直に生成される酸化鉄ナノワイヤに、追加成膜・エッチングすることで、微細円錐アレイを自己組織的に加工する。

成膜とプレスを繰り返すことで積層微細構造を実現する方法として、金型と膜の間を真空引きし大気圧プレス、および上部パンチで熱接合、を繰り返す方法を考えた。また、せん断変形による積層微細構造の製作方法を提案したが、3次元フォトニック結晶だけでなく、オンチップ2次元光導波路を制作方法としての可能性もある。

成膜プレス反復機構における位置合わせ方法として光の回折を用いるものを考えた。また反射防止構造の評価を行う。

4. これまでの成果

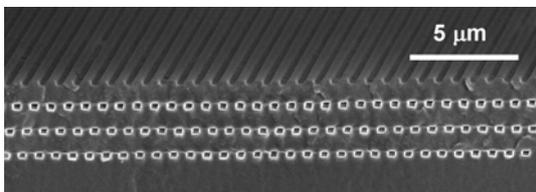
Ni電鍍ロール形の金型を試作し、熱転写を行った。幅片当たりを防止するために、Ni金型の反対側にはシリコンゴムをローラ

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 100mm のフィルムを送り速度 10mm/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。



幅 100mm のローラ成形装置



4 層の積層微細ギャップ構造

せん断変形機構は、金型の後ろから錘を自由落下させる方法。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る。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 $1000\sim 1500\text{s}^{-1}$ 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、より再現性のあるプレスを行うことができる。

5. 今後の計画

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。

6. これまでの発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

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

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

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*, 26, 1753, 2008.

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*, 26, 1771, 2008.

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*, 1, 449, 2008.

⑥ K. Nagato, Y. Kojima, K. Kasuya, H. Moritani, T. Hamaguchi, and M. Nakao, “Local Synthesis of Tungsten Oxide Nanowires by Current Heating of Designed Micropatterned Wires”, *Appl. Phys. Express*, 1, 014005-1, 2008.

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”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 38, 426, 2008.

ホームページ等

<http://hockey.t.u-tokyo.ac.jp/>