

機関番号：12601
 研究種目：研究活動スタート支援
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21860015
 研究課題名（和文）射出成形による高アスペクト比ナノ構造の高スループット生産技術
 と新規光学素子の開発
 研究課題名（英文）High-throughput reproduction of high-aspect-ratio nanostructures
 and development of new optical elements
 研究代表者
 長藤 圭介（NAGATO KEISUKE）
 東京大学・大学院工学系研究科・助教
 研究者番号：50546231

研究成果の概要（和文）：本研究では、高アスペクト比ナノ構造を短サイクルタイムで生産可能な射出成形システムの開発と、それをを用いた新規光学素子、特に反射防止構造の成形を試みる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we propose and develop the injection molding system with a short cycle time for high-aspect-ratio nanostructures and replicate the new optical elements such as anti-reflection structure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1080,000	324,000	1,404,000
2010年度	980,000	294,000	1,274,000
総計	2060,000	618,000	2,678,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：生産工学・加工学

キーワード：射出成形，高アスペクト比，ナノ構造，生産技術，光学素子

1. 研究開始当初の背景

高精細ディスプレイや高密度記録媒体などのナノ構造を有する光学素子の需要が高まる中で、安価で高スループットな生産技術が必須である。1996年、S. Y. Chou教授が熱ナノインプリントを提唱したが、上下金型で圧力をかけながら加熱・冷却するプロセスであり、サイクルタイム短縮に限界がある。それに対して射出成形は、樹脂のガラス転移点以下の金型に、熔融した樹脂を流し込み、充填とほぼ同時に冷却する。よって原理的にスループットが高い。また板形状以外の複雑な形状の製品も成型することができる。ところが、通常の射出成形では、樹脂が金型に接触した瞬間に表面が固化するため充填が困難である。ナノ構造の射出成形で実用化されている例として、DVDやBDなどの光ディスクがあるが、これらは、射出樹脂温度を分解温度限界まで高め、射出速度・射出圧力も金型限界まで高め、アスペクト比1/4～1/2程度の転写が可能となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、射出成形を用いた高アスペクト比ナノ構造を生産する方法を提案・開発し、それをを用いて新しい光学素子を創製することである。射出成形は原理的にスループットが高いが、ナノ構造を転写することは難しい。当然、高アスペクト比構造はさらに困難である。樹脂が金型に触れた瞬間にスキン層と呼ばれる固化層が形成されるためである。本研究では、金型表面を樹脂射出中のみガラス転移点以上に温めておく熱アシスト射出成形法を提案し、原理確認すること、また連続で成形可能な金型システムを開発すること、新しい光学素子、具体的には反射防止構造を安価に製作する方法を提案し、実際に成形することが目的であった。

3. 研究の方法

(1) 図1に、本研究で提案する射出成形システムの概要を示す。ナノ構造を有するスタン

パの直下に薄膜ヒータを配置し、射出中のみガラス転移点以上に加熱する。射出完了後、ヒータを直ちに切り、樹脂およびスタンプをガラス転移点以下に保たれた金型ベースによって冷却する。ヒータの出力が高いほど、スタンプ表面がガラス転移点に達するまでの時間が短くでき、与える熱量も少ないため、金型表面を加熱しないプロセスと同程度のサイクルタイムで成形可能である。この方法を用いることで、樹脂が型に冷やされスキ層が形成されるのを防ぐことができる。

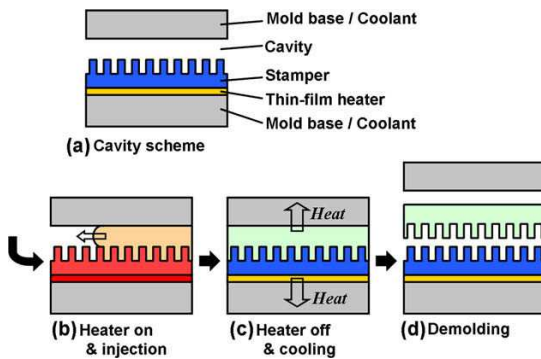


図1 表面加熱射出成形の概要

(2) Fe 膜を大気中で加熱することで、自己組織的に生成される酸化鉄ナノワイヤ (図2) を出発構造として、反射防止構造の型を生成する。反射防止構造とは、ピッチが光の波長の半分程度、高さは光の波長程度のコーンまたはホール形状で、ディスプレイ表面で照明が映りこむのを防止する膜や、太陽電池の光閉じ込め構造として期待されているものである。また、これを型として用いて成形する。

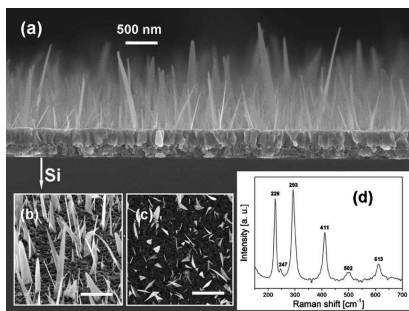


図2 Fe 膜から生成した酸化鉄ナノワイヤ

4. 研究成果

(1) 図3に、表面加熱射出成形の実証に用いたNiスタンプのSEM像を示す(a)。ハーフピッチ 400nm、深さ 400nm のラインアンドスペースである。また、スタンプ表面を加熱しないプロセスで成形したものの表面付近の断面 SEM 像(b)と、表面加熱射出成形を用いて成形した断面 SEM 像(c)を示す。さらに、図4にそれらの型内圧力および温度変化を、図5に成形品の写真を示す。表面加熱無しでは、

サイクルタイム 10 秒で、転写が不十分であった。それに対して表面加熱有りの射出成形品は転写が良好で、サイクルタイムは、スタンプ加熱に要した 3s が加算され 13 秒であった。また、よりハイパワーのヒータと、80°C 程度に冷却後システムチックに離型するシステムを製作し、サイクルタイム 4s を実証している。また、図5から充填不十分であった表面加熱無し射出成形品は回折光が薄いのにに対して、表面加熱有り射出成形品は回折光が観察された。

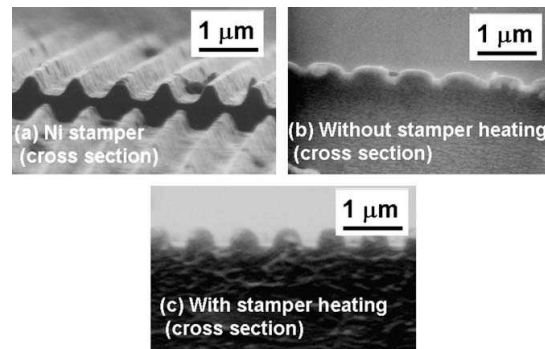


図3 Ni スタンプと成形品の表面の SEM 像

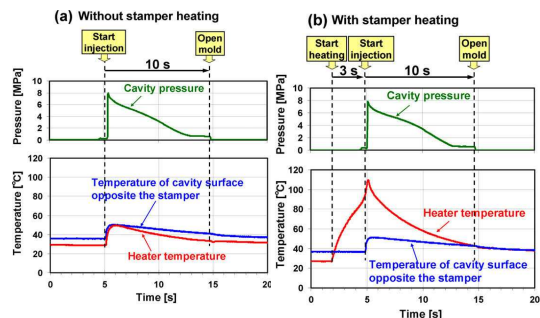


図4 (a)表面加熱無しの射出成形と(b)表面加熱有りの射出成形における型内圧力および温度変化

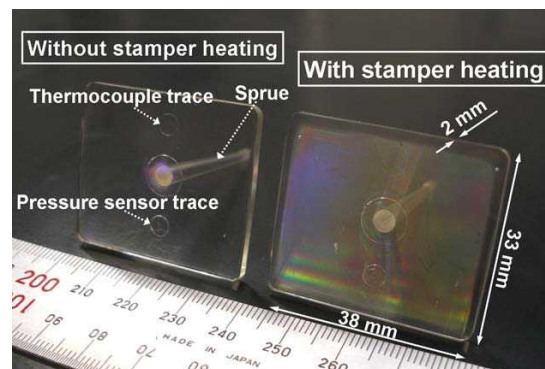


図5 (a)表面加熱無しの射出成形品と(b)表面加熱有りの射出成形品

(2) 酸化鉄ナノワイヤを出発構造として反射防止構造を製作した。具体的な方法は図6に示す。まず、Feスパッタ膜を大気雰囲気下で約400°Cに加熱し、図6(a)のような細いナノワイヤを製作する。次にCrをスパッタで膜を付け、太らせる(図6(b))。最後に、CHF₃ガスを用いた異方性エッチングを施すことで、コーン形状に変形させる。図7は、これを型にしてPMMA表面に熱転写した結果である。型に相当するホールアレイが転写されていることがわかる。

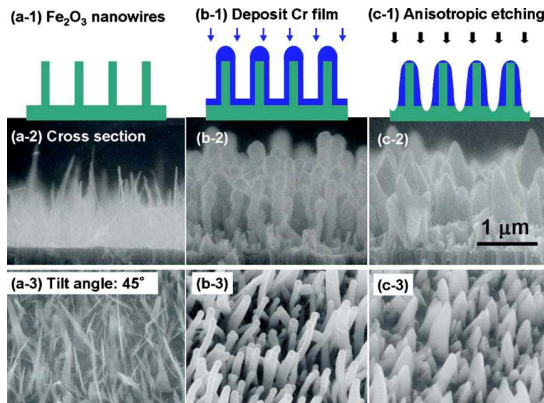


図6 酸化鉄ナノワイヤを出発構造として反射防止構造を製作する方法

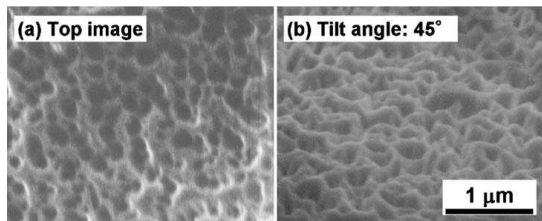


図7 図6で製作した構造を型としてPMMAに熱転写した結果のSEM像

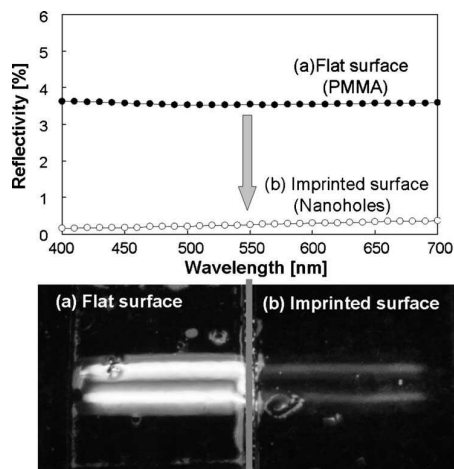


図8 図7の表面の反射率と、蛍光灯を映し込んだ写真

このフィルムの反射率を測定したところ、平坦なPMMAの反射率が4%なのに対して、ナノ構造を転写したPMMAは0.5%以下に抑えられている(図8)。

次に、反射防止構造のNi型を用いて表面加熱射出成形を行った。型表面温度50°C(加熱なし)、85°C、125°Cと上げていくと、それにつれて高さも大きくなり(図9)、反射率も低減することがわかった(図10)。

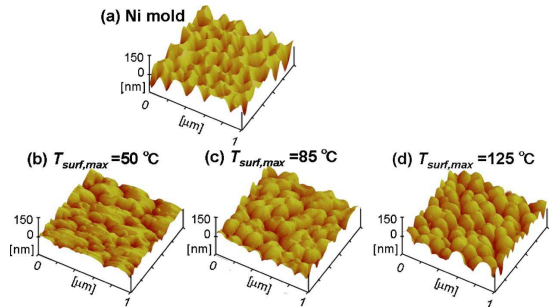


図9 反射防止構造を表面加熱射出成形で成形した表面のAFM像

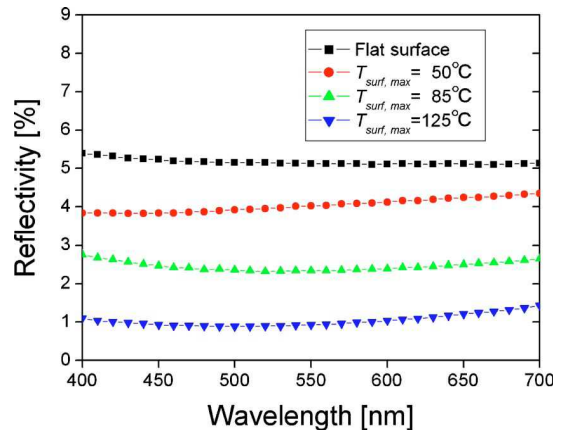


図10 反射防止構造を表面加熱射出成形で成形した表面の反射率

本研究で開発した表面加熱射出成形は、サイクルタイムが長くなることなく、ナノ構造を成形できる方法として有用な生産技術である。また、スキン層を完全に回避することで、高アスペクト比ナノ構造が成形可能であることもわかった。また、新規光学素子として反射防止構造の安価な製作方法を提案した。表面加熱射出成形を用いて反射防止構造を成形することができることを示した。

5. 主な発表論文等

(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11件、全て査読有)

- ① S. Hattori, K. Nagato, T. Hamaguchi, M. Nakao, "Rapid injection molding of

high-aspect-ratio nanostructures”,
Microelectron. Eng. 87 (2010) 1546-1549.

- ② K. Nagato, H. Moritani, T. Hamaguchi,
M. Nakao, “Fabrication of
antireflection-structured surface using
vertical nanowires as an initial
structure”, J. Vac. Sci. Technol. B 28
(2010) L39-L42.
- ③ K. Nagato, M. Furubayashi, T.
Hamaguchi, M. Nakao, “Direct synthesis
of α -Fe₂O₃ nanowires from sputtered
thin film”, J. Vac. Sci. Technol. B 28
(2010) C6P11-13.
- ④ K. Nagato, S. Hattori, T. Hamguchi, M.
Nakao, "Rapid thermal imprinting of
high-aspect-ratio nanostructures by dynamic
heating of mold surface", J. Vac. Sci. Technol.
B 28 (2010) C6M122-124.

[学会発表] (計 10 件)

- ①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 回応用物理学会学術講演会, 富山大学, 2009.9.8~11. 講演予稿集 9a-D-4, p.642
- ②光田健洋, 長藤圭介, 服部俊太郎, 濱口哲也,
中尾政之, 「熱アシスト射出成形を用いた高アスペクト比ナノ構造の転写」精密工学会春季大会、2010 年 3 月 16 日~18 日、埼玉大学
- ③長藤圭介, 服部俊太郎, 光田健洋, 濱口哲也,
中尾政之, 「熱アシスト射出成形による高アスペクト比ナノ構造の転写」2010 年春季第 57 回応用物理学関係連合講演会、2010 年 3 月 17 日~20 日、東海大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

http://hockey.t.u-tokyo.ac.jp/nagato/frameTop_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長藤 圭介 (NAGATO KEISUKE)
東京大学・大学院工学系研究科・助教
研究者番号：50546231