

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：82108

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26600121

研究課題名(和文)未踏サブ波長光学素子の創製

研究課題名(英文)Origination of not-yet-demonstrated subwavelength optical devices

研究代表者

岩長 祐伸 (Iwanaga, Masanobu)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・先端フォトニクス材料ユニット・主任研究員

研究者番号：20361066

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：光を波長以下の光路のなかで自在に操作するサブ波長光学素子を創製することを目的として本研究を実施した。光の基本物理量は偏光ベクトルと位相であることから、この2因子を操作することができれば、光の自在な操作が可能となるため、偏光ベクトルを制御するサブ波長偏光子の新規作製に取り組んだ。将来的な実用化を視野にUVナノインプリント法による高精度かつ高スループットなサブ波長偏光子の作製を行い、これに成功した。この偏光子の性能は消光比で15000を超えることも実験的に明らかにし、既存の偏光子と比較して最上位の性能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：I conducted this study in order to experimentally demonstrate subwavelength optical devices that manipulate light waves at will within the one-wavelength path. Fundamental physical quantities of light waves are polarization vector and phase; therefore, if one is able to control the two quantities, it becomes possible to manipulate light waves at will. Thus, I worked on nanofabrication of subwavelength optical devices that control the polarization vector. Considering future practical application, the nanofabrication was done with UV nanoimprint lithography, resulting in success. The performance of the polarizer was experimentally found to exceed 15000 in the extinction ratio and was ranked at the high-end position, compared with existing conventional optical polarizers.

研究分野：ナノフォトニクス

キーワード：サブ波長光学素子 メタ表面 メタマテリアル ナノインプリント法

1. 研究開始当初の背景

光波(偏光、位相)を操作する効率を高めることは光科学の基本的課題の1つである。2000年以降、メタマテリアル(サブ波長周期構造体)を研究する新興分野の出現により負の屈折現象、クローキングをはじめとする人工的な光波操作への関心が再び高まってきた。

研究代表者は2006年頃からメタマテリアル研究に取り組み、2008年に世界で初めてメタマテリアル波長板の明示的な設計に成功し、波長板として機能するメタマテリアルの具体的な構成物質と構造を提示し、系のMaxwell方程式を直接的に大規模数値計算で解くことで、その波長板性能を明らかにした(引用文献①)。2010年には消光比10000を超える高性能なメタマテリアル偏光子の数値計算による提唱(引用文献②)、2012年には円二色性素子の具体的な設計提唱(引用文献③)と基本的な光学素子を極小化できることを系統的に示してきた。これら一連の研究から、メタマテリアルを「材料」として用いるサブ波長構造からなる光学素子(以下、サブ波長光学素子)の作製を実際に行うことを着想した。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が大規模数値によって設計したサブ波長光学素子を具現化して、これまでに実現されていない真空中の光の波長よりも薄い光学素子を具現化することを目指す。これらの光波操作効率は過去に前例のない高さであるため、既存の光学素子と比べて著しく薄型化でき、光の波長よりも薄くできる特長がある。

これらのサブ波長光学素子は、単体で高性能光学素子であるのみならず、マイクロ光学素子の集積化において基本要素となるもので、光技術の革新につながる重要性をもつ。

3. 研究の方法

UV ナノインプリント法によって大面積なサブ波長偏光子を作製した。ナノ加工によって作製された光学素子の実用化展開を視野に入れるためには高速かつ大面積なナノ加工法が不可欠である。

図1にその要請に応えることができるUV ナノインプリント法の工程を示している。(a)あらかじめ石英基板上にレジストをスピコートし、石英モールドを装置にセットする。(b)モールドを加圧しながら押し当てて、UV光を照射することでレジストを硬化させる。(c)モールドを除去する。(d)レジストに残ったレジストの薄膜(残膜と呼ぶ)をプラズマガスで除去する。(e)レジストパターンをマスクとして、ドライエッチングを実施し、基板にパターンを転写する。(f)レジストを剥離する。(g)最後に金属(銀、金など)を40 nm程度垂直蒸着して、相補的に積層した金属ナノ構造からなるサブ波長光学素子の

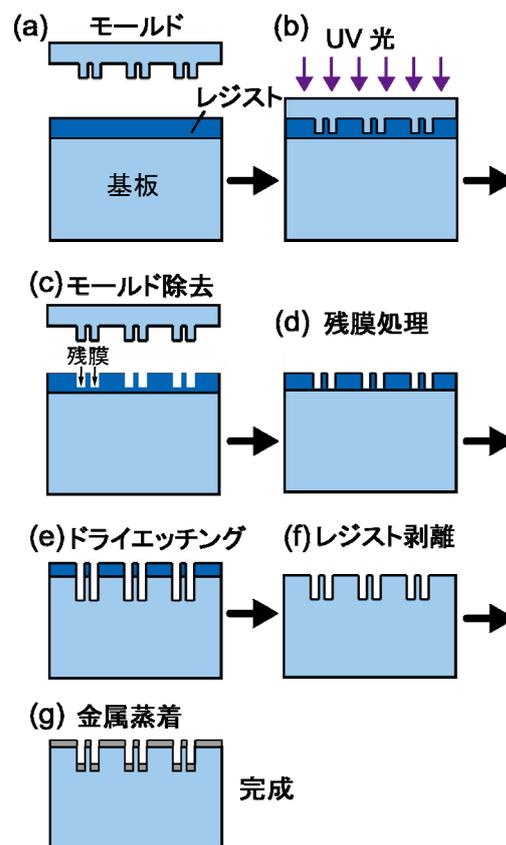


図1. UV ナノインプリント法に工程の模式図。

完成である。今回の作製においては1つの素子は1.2 cm角であった。短時間かつ同程度のコストで、これほど大面積のナノパターン形成することはナノインプリント法以外では困難である。

ナノインプリント装置、その他の必要装置は所属機関の共同利用施設に導入されており、これを利用した。

4. 研究成果

(1) UV ナノインプリント法を用いて高精度かつ大面積なサブ波長光学素子の作製を行った。ナノメートル精度の極微細加工は電子線リソグラフィ法によって行うことが多いが、この場合、描画速度が遅く、量産できないという難点がある。一方、ナノインプリント法はナノメートル精度でありながら、量産できる手法として注目を集めている。極端紫外光を用いたフォトリソグラフィ法と比べて、相対的に安価な方法である。

(2) ナノインプリント法によって作製したサブ波長偏光子の光学性能を実験的に評価した。図2(a)に示すサブ波長偏光子において消光比が10000を超えることが数値計算で予測された結果(引用文献②)を受けて、実際に対応するサブ波長偏光子構造を作製した。その試料写真は図2(b)に示している。1.2 cm角の大面積な素子を得た。この素子を上面から走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した結果を図2(c)に示している。白いスケールバーは1

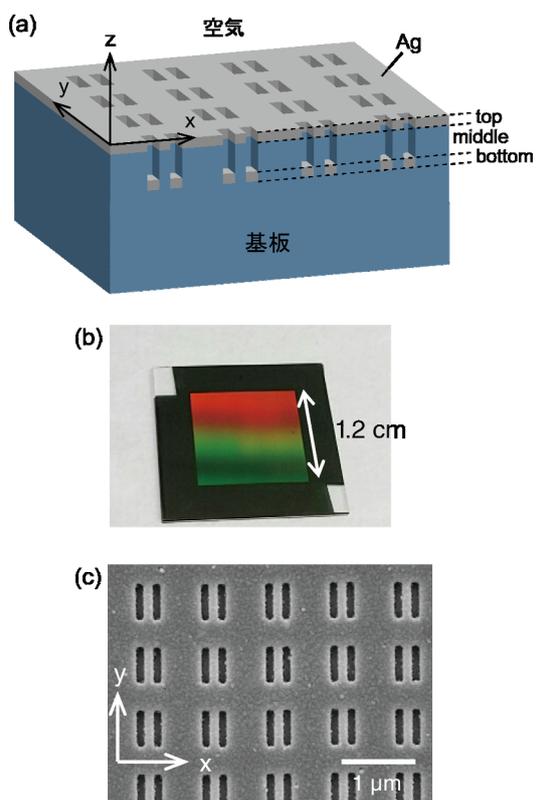


図2. (a) II型サブ波長偏光子の概念図。(b) ナノインプリント法によって作製したサブ波長偏光子の写真。1.2 cm角でナノパターンを作製した。(c) II型サブ波長偏光子のSEM像。スケールバーは1 μm を表す。

μm を示している。SEM像から設計通りのナノ構造を作製することができたことが分かる。

光学性能の実証実験においては、光源には直線偏光のレーザーを用い、グラインレーザー偏光子（消光比 30000 程度）で入射光の直線偏光度を極めて大きくして、偏光透過測定を行った。その結果、消光比 15000 を超えることが分かり、極めて性能の高い偏光子として機能することが明らかになった。

本研究を通じて、サブ波長光学素子を実用的なナノ加工法によって作製するという目的を達することができた。このようなサブ波長光学素子を基本要素とすることで、現在の集積化されたサブミクロンサイズの光信号処理システムを格段に小型化、結果として低電力動作、高速化することが可能になると考えられる。

<引用文献>

- ① M. Iwanaga, Appl. Phys. Lett. **92**, 153102 (2008).
- ② M. Iwanaga, Opt. Express **18**, 15389 (2010).
- ③ M. Iwanaga, Sci. Technol. Adv. Mater. **13**, 053002 (2012).

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3件)

- ① 岩長祐伸、ハイパーレンズアレーを用いた光学超解像、応用物理、査読有、Vol. 85, No. 4, pp. 290-295, 2016
<http://www.jsap.or.jp/ap/2016/04/ob850290.xml>
- ② 岩長祐伸、UV ナノインプリント法を用いたナノメートル精度の金型作り、プラスチック、査読無、Vol. 66, No. 12, pp. 6-10, 2015
http://www.nikko-pb.co.jp/products/detail.php?product_id=3689
- ③ M. Iwanaga, Toward Super-Resolution Imaging at Green Wavelengths Employing Stratified Metal-Insulator-Metal Metamaterials, Photonics, 査読有, Vol. 2, No. 2, pp. 468-482, 2015
 DOI: 10.3390/photonics2020468

[学会発表] (計7件)

- ① 岩長祐伸、光エネルギー利用デバイス設計の高精度化・最適化、第2回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題成果報告会、2015年10月26日、日本科学未来館（東京都江東区）
- ② M. Iwanaga 他2名, Large-area optical metadevices produced by UV nanoimprint lithography, The 5th Korea-Japan Metamaterials Forum, 2015年6月30日, Seoul (South-Korea) 招待講演
- ③ M. Iwanaga, Recent Progress in Metasurface Studies at NIMS, French-Japanese Seminar on “Emerging Materials for Optics,” 2015年6月3日, 在日フランス大使館（東京都港区）招待講演
- ④ M. Iwanaga 他4名, Recent Progress in Resonance Enhancement of Light Emissions on Metasurfaces, The 4th Advanced Laser and Photon Source (ALPS’ 15), 2015年4月23日, パシフィコ横浜（神奈川県横浜市）招待講演
- ⑤ 岩長祐伸、超薄型の高性能光学素子、NIMS フォーラム、2014年10月9日、東京国際フォーラム（東京都千代田区）
- ⑥ 岩長祐伸、ナノインプリント法を用いた高精度サブミクロン金型の創製、第14回金型に関する研究助成社研究成果発表会、2014年8月1日、ホテルスプリングス幕張（千葉県千葉市）招待講演

⑦ M. Iwanaga, Metasurface applications: New spectroscopic platforms and subwavelength optical devices, International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences (ICES' 14), 2014年6月13日, Changwong (South-Korea) 招待講演

[図書] (計3件)

① M. Iwanaga, Pan Stanford Publishing, Plasmonic Resonators: Fundamentals, Advances, and Applications, 2016, 総310ページ (出版決定)

② M. Iwanaga, Wiley-VCH, Micro- and Nanophotonic Technologies, 2016, 20 printed pages (掲載決定)

③ 岩長祐伸、技術情報協会、(高・低)屈折率材料の作製と屈折率制御技術、2014、pp. 392-395

[その他]

ホームページ等

http://samurai.nims.go.jp/IWANAGA_Masanobu-j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩長 祐伸 (IWANAGA, Masanobu)

物質・材料研究機構・先端フォトニクス材料ユニット・主任研究員

研究者番号：20361066

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

崔 峯碩 (CHOI, Bongseok)

黒澤 裕之 (KUROSAWA, Hiroyuki)