

ガラス表面のサブ波長周期構造による 広帯域低反射化

産総研関西センター
㈱モリテックス*

西井 準治・金高 健二・川本 泰*・牟田 健一*

Wideband low reflection by sub-wavelength microstructure on glass surface

Junji Nishii, Kenji Kintaka, Yasushi Kawamoto* and Ken-ichi Muta*

AIST Kansai
Moritex Co.

1. はじめに

光学材料の表面の低反射化は、光通信、光メモリ、ディスプレイなどの様々な分野で重要な課題である。一般的な低反射化には誘電体多層膜が用いられるが、広視野角・広波長帯域の両方を兼ね備えた低反射化は原理的に難しい。このような問題点を解決する方法として、表面に波長以下のピッチの2次元周期構造を形成することが提案されている。例えば、表面に矩形の2次元周期構造を形成すると、光は空気と構造体の間の屈折率層が存在すると認識して反射率は低下する。しかしこの場合、波長依存性と入射角度依存性の問題が残る。これらの欠点を解決するためには、表面に円錐あるいは四角錐などの先が尖った2次元周期構造を形成すればよく、非常に広帯域、広視野角での低反射化が実現する。このような周期構造は、蛾の目

の表面がそうであることから“Moth Eye”とよばれ、優れた低反射化技術として知られている¹⁾。Moth Eyeは汚れや機械的衝撃には劣るものの、ディスプレイメーカーや光計測機器メーカーは強い関心を持っている。本稿では、Moth Eye構造の作製方法とその光学特性について紹介する。

2. Moth Eye 構造の作製

マイクロ波や音波の無反射化の研究はよく知られており、四角錐や円錐の周期構造が用いられてきた²⁾。光の無反射化のための微細周期構造が研究され始めたのは1980年代になってからである³⁾。蛾の目の角膜表面に周期構造が存在することは1967年にわかっていたが⁴⁾、そのような微細構造を作製する加工技術が無かったのである。本来、このような微細構造は“自己組織化”のような現象を利用して作製すべきだと誰しもが思うであろうが、今のところそのような手段は見つかっておらず、電子線描画⁵⁾やレーザーの二光束干渉法³⁾とドライエッチング

〒563-8577 大阪府池田市緑丘一丁目8番31号
産業技術総合研究所関西センター
TEL 0727-51-9543
FAX 0727-51-9637
E-mail: junji.nishii@aist.go.jp

の組み合わせで作製されている。電子線描画では大面積化が難しく、また描画に非常に長時間を要するので、我々は二光束干渉法での周期構造形成を試みた。

図1に Moth Eye 構造の形成プロセスを示す。He-Cd レーザー（波長 325 nm）の二光束干渉露光を X と Y の 2 方向から行い、レジストの 2 次元周期パターンを形成する。その後レジストをマスクとしてドライエッチングによって基板を削る。その際、レジストと基板とのエッチングに対する選択比の違いによってレジストが徐々にやせ細っていくことを利用して円錐構造を形成する。この場合、レジストの代わりに薄めの金属マスクを使ってもよい⁵⁾。最後に残存するレジストを除去すれば完成である。

図2はシリカ基板表面に形成した周期 1 mm の Moth Eye の一例である⁶⁾。エッチング深さも 1 mm である。先端を完全に尖らせることも可能だが、機械的な衝撃による損傷などを考慮してエッチングを途中で止めている。このようにプロセスとしては非常に簡単だが、ドライエッチングだけでは高いレベルで安定した品質の Moth Eye を得ることは困難である。その理由は、表面が滑らかでなく、またプラズマ状態によってエッチング速度がばらつくからである。

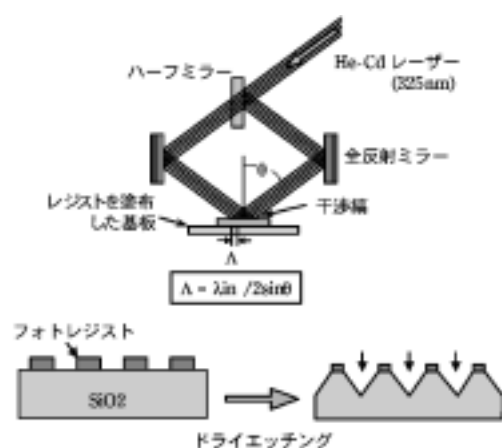


図1 干渉露光法による Moth Eye 構造の形成プロセス

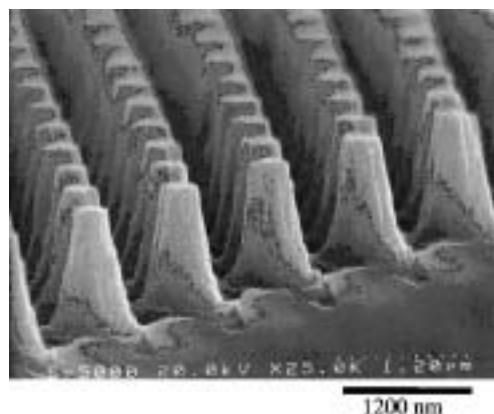
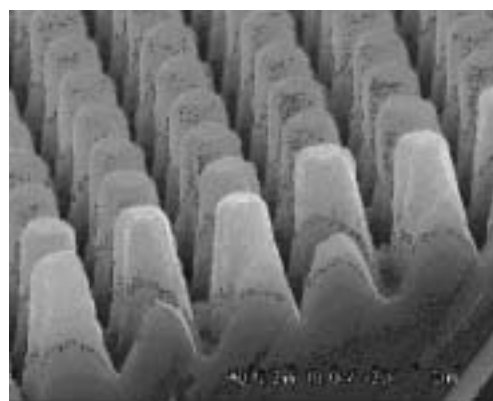
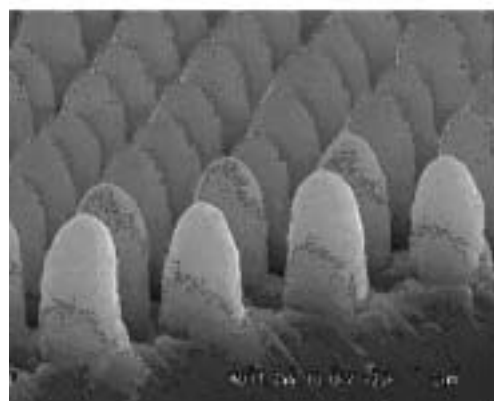


図2 シリカ基板上に形成した周期 1 mm の Moth Eye



(a)



(b)

図3 PECVD (写真 a) および rf-スパッタ法 (写真 b) でオーバーコートした Moth Eye の表面 SEM 写真

そこで我々は、図2の構造をより最適な形状に近づける手法を検討した。まず、TEOS-PECVD法とRF-スパッタ法でのシリカのオーバーコートを試みた。得られたサンプルのSEM写真を図3に示す。スパッタ法ではMoth Eyeの側面が垂直になり円錐形状が失われる。CVD法では元の形状を保っていることから、後者の方がオーバーコートの手法としては好ましいようである。また、表面状態は700℃付近で1時間程度熱処理すればさらに良好になる。しかしオーバーコートだけでは透過率は期待されるほど改善しない。理由は、Moth Eye領域の有効屈折率(空気とガラスの体積比)が上昇したためであると考えられる。そこで、オーバーコート後にフッ酸(5%)による湿式エッチングを行い、有効屈折率を調整したところ、図4に示すように、再現性よく波長1.4 μm以上ではほぼ無反射になることが確認された⁶⁾。得られたスペクトルはRCWA法で求めたスペクトルとほぼ一致した。図5は、通信波長1.55 μmでのMoth Eye表面の反射率の

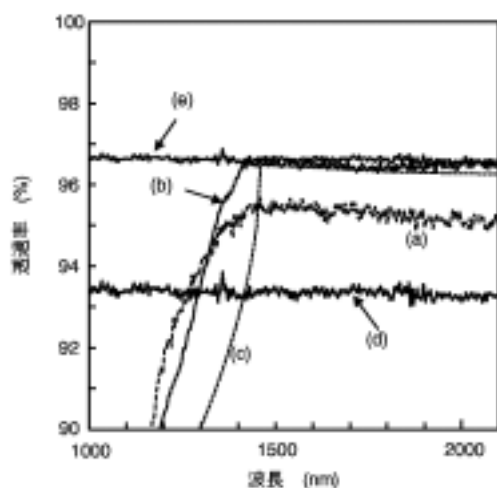


図4 片面に周期1 μmのMoth Eye構造を形成したシリカガラスの透過率。(a)ドライエッチング直後、(b)CVDコートおよびHFエッチング後、(c)RCWAでの計算結果、(d, e)それぞれ基板および基板の片面が無反射と仮定したときの透過スペクトル。

角度依存性である。測定には高出力波長可変LDを用いた。S波、P波共に入射角30度付近まで偏波依存性の小さな無反射状態が実現されている。このような光学特性はMoth Eyeでしか得られない。

3. 材料面からのアプローチ

シリカにフッ素を添加するとフッ酸に対するエッチング速度が速くなることを利用してMoth Eyeを作製した⁷⁾。F-SiO₂ガラスはPECVD法で成膜した。加工プロセスと得られた形状を図6に示す。頂点に帽子のような部分があるが、これは、Moth Eyeの先端を尖ら

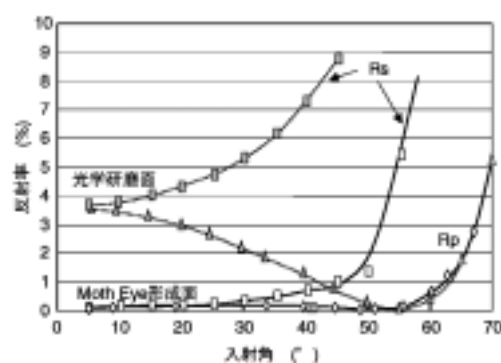


図5 通信波長帯(1.55 μm)でのMoth Eye表面の反射率

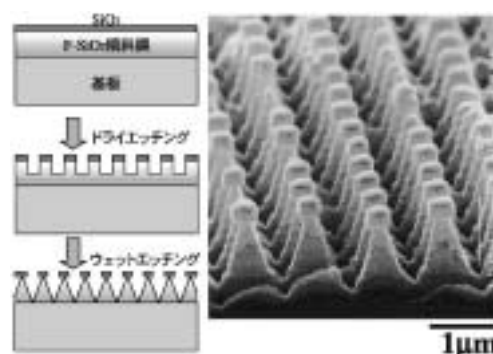


図6 PECVD法で作製したF-SiO₂傾斜膜の異方性エッチングを利用したMoth Eye構造

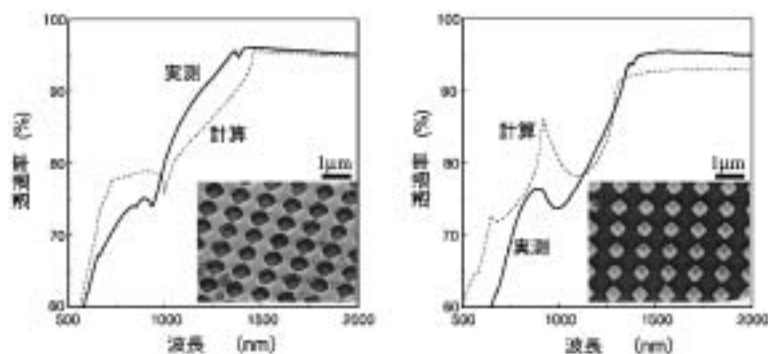


図7 二光束干渉法でパターンニングした光感性 ZrO_2 ゲル膜の写真と透過率（実測，RCWA 計算）。照射時間に応じて格子タイプとアイランドタイプができる。

せるために傾斜膜の最表面に薄いシリカ膜を成膜しておいたため、あと数十秒エッチングを継続すれば先端が針のように尖る。

一方、ゾル-ゲル法でも基板表面に2次元周期構造を形成することが可能である⁸⁾。光感性のシリコニアゲル膜を二光束干渉でパターンニングすると、干渉光の照射時間に応じて図7のような周期構造および透過スペクトルを容易に得ることができる。この結果はRCWAでの計算スペクトルともよく一致した。ただし、この手法では円錐構造を得ることは難しいので、特定波長範囲での低反射化の手段として使うことになる。

4. ま と め

Moth Eye 構造によるガラス表面の低反射化の手法について紹介した。実用化のための技術課題は、一層の微細周期化、大面積化、ポリマーへの転写の3つである。電子線描画は微細周期化には有利であるものの、大面積化においては干渉露光が好ましい。しかし、可視域での実用を考えると周期200~300 nmが求められ、He-Cdレーザーでの対応は非常に難しい。形状さえ厳密に制御できれば波長・入射角に依存しない極めて優れた無反射状態が得られることは自明である。今回紹介したMoth Eye

に限らず、サブ波長の周期構造は様々な光学素子に応用することができ、実用化のための材料・プロセス面からの新たなアプローチが強く求められている。

謝 辞

本研究のRCWAでのシミュレーションは、大阪府立大学菊田先生にご協力いただいた。また、ゾル-ゲル法に関する研究は近畿大学峠先生が中心となって進められた。

参 考 文 献

- 1) 菊田久雄, 岩田耕一, 光学, 27 (1998) 12.
- 2) 安斎弘樹, 才川 亮, 水本哲弥, 内藤善之, 電子情報通信学会論文誌, J78-B-II (1995) 191.
- 3) S. J. Wilson and M. C. Hutley, Optica Acta, 29 (1982) 993.
- 4) C. G. Bernhard, Endeavour, 26 (1967) 79.
- 5) H. Toyota, K. Takahara, M. Okano, T. Yotsuya and H. Kikuta, Jpn. J. Appl. Phys. 40 (2001) L747.
- 6) J. Nishii, K. Kintaka, Y. Kawamoto, A. Mizutani and H. Kikuta, J. Ceram. Soc. Japan. in press.
- 7) K. Kintaka, J. Nishii, A. Mizutani, H. Kikuta and H. Nakano, Opt.Lett. 26 (2001) 1642.
- 8) J. Nishii, K. Kintaka, N. Tohge, N. Noma, M. Hasegawa, A. Mizutani and H. Kikuta, Jpn. J. Appl. Phys. 41 (2002) 5210.