

反射防止構造を形成したガラスモールドレンズ

田中 康弘^{*,†}・田村 隆正^{*}・西井 準治^{**}

Molded Glass Lens with Anti-Reflective Structure

Yasuhiro TANAKA^{*,†} Takamasa TAMURA^{*} Junji NISHII^{**}

We proposed a molded glass lens with anti-reflective structure (ARS) by glass molding process. The electron beam (EB) lithography and reactive ion etching were used for the formation of negative ARS on a surface of SiC mold. The mold was moved for adjusting the EB focus along the surface curvature. The surface reflectance of the molded lens is less than 0.7% within visible spectrum and 0.2% at 530 nm in wavelength. At the same time, its accuracy of surface profile is less than 0.5 μm .

Key words: anti-reflective structure, moth-eye, optical glass, molded lens, imprinting, electron beam lithography

この20年ほどの間にレンズの製造技術には大きな変革が起こった。そのひとつがガラスモールド法である。従来の研磨レンズに対して、非球面や回折素子などの機能を付加した高精度なレンズを大量生産することができるようになった。現在ではデジタルスチルカメラなどに多用されており、小型化、高性能化に大きな役割を果たしている。

そうした状況の中で、光学素子の表面に微細な構造を形成することで新たな光学機能の発現を目指す開発が盛んに行われるようになってきた¹⁾。波長より微細な構造を表面に付加することによって反射防止効果が得られる構造として、モスアイ構造がよく知られている²⁾。従来は半導体プロセスを応用した複雑で高価なプロセスでしかできなかったが³⁾、われわれは微細構造をモールドに形成し、高い量産性が見込まれるガラスモールド法で作製する技術を開発してきた⁴⁾。本報告ではその概要と、レンズの曲面に対応した電子ビーム描画によるパターンニングおよび試作したレンズの特性について紹介する。

1. 反射防止構造とその形成技術

通常のガラスと空気の界面では屈折率の急激な変化が生じるため、そこで一部の光が反射する。一方、ガラスの表面に波長以下の周期で錘構造を形成すると、空気から内部

のバルクのガラスに向かって屈折率が緩やかに変化するため、光の反射を抑制することができる。このような構造をレンズ成形時に同時に形成できたとしたら、後工程のコーティングが不要になるとともに、広い波長範囲や斜め入射光に対しても低反射を達成できる可能性がある。

反射率が低くかつガラスモールド法に適した形状として、われわれは円錐の裾が重なり合った構造を提案した⁵⁾。モールド上にはその反転した構造を形成する必要がある。ガラスモールドに適した材料として耐熱性に優れたSiCを用いた。マスク材料としてWSiを使用し、その上にレジストをスピコートして電子ビーム描画によりパターンニングし、エッチングによりSiC上に微細な錘構造を形成した。

曲面へのパターンニングは二光束干渉露光方法が一般に用いられるが、露光のむらや曲面における周期を制御できないなどの問題点がある。一方、電子ビーム描画方法は焦点深度が浅いため、曲面へのパターンニングは難しく、平面へのパターンニングに用いられることが多い。われわれは、必要な焦点深度を確保することにより、曲面へパターンニングする電子ビームの描画方法を開発した。

*パナソニック(株)AVCデバイス開発センター(〒571-8504 門真市松生町1-15)

**北海道大学電子科学研究所(〒001-0021 札幌市北区北20条西10丁目)

†E-mail: tanaka.yasuhiro@jp.panasonic.com

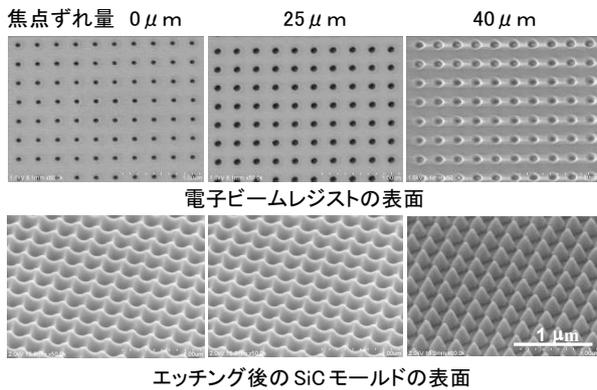


図1 電子ビーム描画の焦点ずれによるレジストとモールドの表面 SEM 写真.

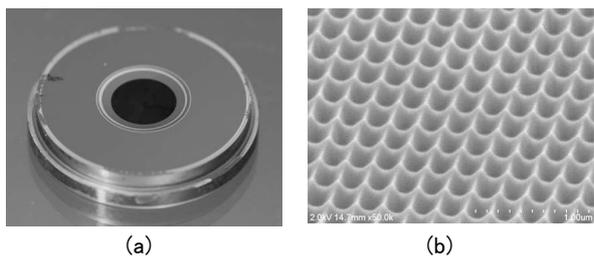


図2 (a)モールドの外観写真, (b)モールドの表面SEM写真.

2. 曲面への電子ビーム描画

まず電子ビーム描画の焦点深度について確認した. 図1に, 焦点ずれが起きたときに電子ビームレジストのパターンとエッチング後の構造がどのように変化するかを示す. パターンの周期は 250 nm である. 25 μm の焦点ずれではパターンニングされた穴の直径は大きくなっているが, モールド表面の構造は合焦時とほとんど差がない. 40 μm の焦点ずれでは, オーバーエッチングにより表面構造が大きく変化している. したがって, 本プロセスでは少なくとも $\pm 25 \mu\text{m}$ の焦点深度が確保できることがわかった.

そこで曲面への描画を実現するために, モールドをその曲面に沿って上下方向に移動させることにした. モールドの描画領域を高さ $\pm 25 \mu\text{m}$ の領域に分割し, その範囲を超えない間は平面と同様の描画を行う. 描画領域が $\pm 25 \mu\text{m}$ の高さを超えるごとに, モールドを上下方向に 50 μm 移動して同様の描画を繰り返す. このようにして曲面へ電子ビーム描画でパターンニングをして作製したモールドを図2に示す. レンズモールドの有効径は直径 7 mm, 曲率半径は 20 mm である. 平面のときと同様に, 円錐の裾が重なった反転形状が形成されていることが確認できた.

3. レンズ性能の評価

上記で作製したモールドを用いて, ガラスモールド法によりレンズを成型した. ガラス材料には市販の低融点ガラ

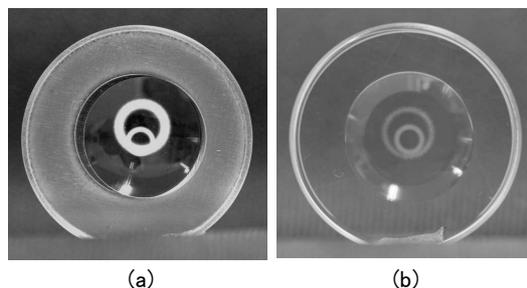


図3 ガラスモールド法により成型したレンズ. (a) 反射防止構造なし, (b) 反射防止構造あり.

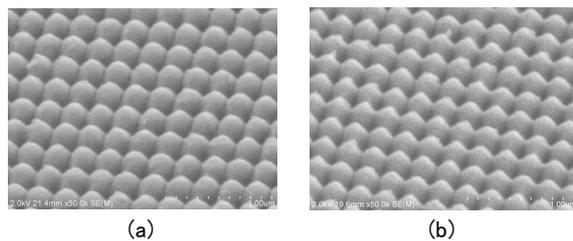


図4 成型したレンズの表面 SEM 写真. (a) 第1面側, (b) 第2面側.

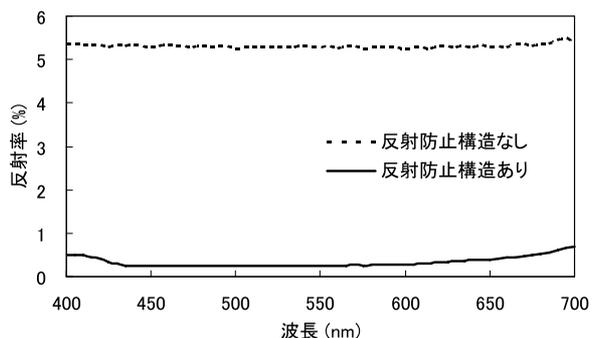


図5 成型したレンズの反射率.

スを用いた. 図3に成型したレンズの外観写真を示す. 表面に反射防止構造のない通常のレンズでは, 写真撮影に使用したリング状の照明光が強く反射している. 一方, 反射防止構造を同時に成型したレンズでは, その反射光が非常に薄くなっていることがわかる. 反射防止構造はレンズの両面に形成した. 図4に各面の反射防止構造を示す. 両面とも同様の形状が成型されていることが確認できる. 図5に可視光域の反射率を示す. 反射率は反射防止構造のないもので 5.5% 程度, 反射防止構造のあるものでは可視光全域にわたって 0.7% 以下, 波長 530 nm では 0.2% であった.

ガラスモールドでは反射率を低減するために, 波長以下の微細な構造を転写すると同時に, マクロなレンズ形状の精度も要求される. 試作したレンズの形状を非球面形状測定器 (UA3P) で測定した結果を図6に示す. 設計値から

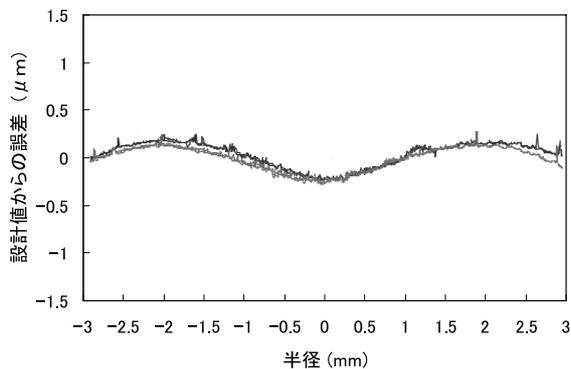


図6 成型したレンズの形状測定結果. 直交する2つの断面の設計値からの誤差.

のずれは $0.5 \mu\text{m}$ 以下と、カメラ用のレンズとして十分な精度であった。

レンズ材料としてのガラスはプラスチックに対して信頼性や屈折率、分散の多様性などの点で大きな優位性をもっている。一方でプロセス温度の高さからモールド材料に対する制約が大きく、微細構造の加工が難しかった。また実際に微細構造をガラスモールド法で転写することもほとんど例がなかった。われわれは耐熱性の高い SiC モールドの曲面上に電子ビーム描画でパターンニングし、エッチングによりモールド表面に反射防止構造の反転形状を形成した。

またそのモールドを用いてレンズの両面に反射防止構造を成型し、レンズ形状と反射率の抑制を両立した。今後さまざまなガラス材料への適用や、より曲率半径の小さなレンズへの対応を進めて、デジタルスチルカメラなどへの実用化を目指したい。

本研究の成果は、革新的部材産業創出プログラム「次世代光波制御材料・素子化技術」の一環として新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの委託を受けて行われた。

文 献

- 1) 菊田久雄：“表面微細構造による光学機能の発現と応用技術”，精密工学会誌，**74** (2008) 781-784.
- 2) S. J. Wilson and M. C. Hutley: “The optical properties of ‘moth eye’ antireflection surfaces,” *Opt. Acta*, **29** (1982) 993-1009.
- 3) H. Toyota, K. Takahara, M. Okano, T. Yotsuya and H. Kikuta: “Fabrication of microcone array for antireflection structured surface using metal dotted pattern,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40** (2001) L747-L749.
- 4) 西井準治, 田中康弘, 波多野卓史：“ガラスインプリント法によるサブ波長光学素子の形成”，応用物理，**78** (2009) 655-658.
- 5) K. Yamada, M. Umetani, T. Tamura, Y. Tanaka, H. Kasa and J. Nishii: “Antireflective structure imprinted on the surface of optical glass by SiC mold,” *Appl. Surf. Sci.*, **255** (2009) 4267-4270.
- 6) 田中康弘：“ガラス成型による反射防止構造の作製”，ニューガラス，**23** (2008) 32-38.

(2010年8月12日受理)