

スパッタ Al 箔の陽極酸化によるナノインプリント用モールドの 作製と無反射レンズ形成への応用

東京都立大学 都市環境学部環境応用化学科 柳下 崇

Fabrication of Antireflection Structures on Surface of Lens by Nanoimprinting Using
Anodic Porous Alumina Molds Formed from Sputtered Al Thin Films

Takashi Yanagishita

Department of Applied Chemistry, Tokyo Metropolitan University

曲率を有する基板の表面に Al 薄膜をスパッタによって形成した後に剥離処理を行うと、
所望の幾何学形状を有する Al 薄膜を得ることができた。これに陽極酸化を行えば、曲面
に反射防止構造を形成するためのナノインプリント用モールドを得ることが可能であ
った。得られたポーラスアルミナモールドを用いたナノインプリントにより、曲率を有する
基板上に欠陥なくテーパ形状の突起が配列した反射防止構造の形成を行うことが可能で
あった。ナノインプリント処理を行った基板の反射率測定を行ったところ、表面に形成さ
れた微細構造の効果によって表面反射が抑制されている様子が観察された。

Al curved substrates were obtained by peeling off Al thin film sputtered on the surface of
concaved substrates. Anodic porous alumina with tapered holes on the curved surface was
prepared by repeated anodization and etching of the obtained Al thin film. The antireflection
structure was formed on the curved surface by nanoimprinting using the anodic porous
alumina mold. From the reflectance measurement, it was shown that the reflection of the
incident light was suppressed on the curved surface where the antireflection structure was
formed.

1. はじめに

ディスプレイやレンズをはじめとする各種光学部品の表面には、光の表面反射を低減す
るための反射防止層が形成されている。通常、反射防止層には、光の干渉効果を利用する
ことで表面反射の抑制を行う誘電体多層膜が用いられている。しかしながら、誘電体多層
膜からなる反射防止層は、反射防止特性の波長依存性が大きいことに加え、広い波長域に
わたって表面反射を抑制することが難しいといった問題点があった。このような問題点が
解決できる反射防止層として、テーパ状の突起配列からなるモスアイ構造が注目を集め
ている。モスアイ構造が形成された基板では、微細構造の効果に基づき表面相対屈折率が
連続的に変化するようになるため、表面反射の原因となる急激な急激な屈折率変化が解消
され、表面反射を防止することができる。モスアイ構造は、広い波長域の光の反射を効率
的に抑制できることに加え、誘電体多層膜に比べて入射角依存性が小さいといった特徴を
有する。そのため、中心部と端で光の入射角に差が生じるレンズなどの曲率を持った表面
への適用が期待されている。私たちのグループではこれまでに、Al の陽極酸化によって

得られるポーラスアルミナを用いたナノインプリントによるモスアイ構造の高効率形成と反射防止特性の評価について検討を進めてきた^{1,2}。陽極酸化とエッチングを組み合わせることで作製されるテーパ状細孔を有したポーラスアルミナは、モスアイ構造を作製する際のナノインプリント用モールドとして適しており、陽極酸化条件を変化させることにより反射防止特性の最適化を行うこともできる。また、曲率を有するAl基板に陽極酸化を行えば、曲面にモスアイ構造を形成するためのモールド作製を行うこともできる。これまでの検討では、曲率を有するAl基板の作製に、金型を用いたプレス加工や、切削加工によって曲面形成を行ってきました^{3,4}。しかし、これらの方法では、高価な加工装置が必要であるほか、適用可能な形状に制限があるといった問題点があった。本研究では、スパッタ法を利用した曲率を有するポーラスアルミナモールドの作製と、ナノインプリントによる曲面へのモスアイ構造の形成について検討を行った⁵。高純度Alを基板上に厚くスパッタすると、結晶粒の成長に伴い表面の凹凸が大きくなるためスムーズな表面を得ることはできない。しかし、曲率を有する基板の表面にスパッタによりAl薄膜の形成を行った後、剥離処理を行えば基板表面の形状をトレースしたスムーズな曲面をもつAl基板を得ることができる。本プロセスによれば、曲面形状をもったAlの形成をおこなうために、高圧によるプレス加工や、切削加工が必要なく、基板を変化させることで様々な形状に対応することができる。そのため、本プロセスは、様々な形状を有した基板表面にモスアイ構造を作製するための手法として期待できる。

2. 実験方法

実験プロセスを図1に示す。本検討では、曲率半径が11cm、直径が3cmのガラス基板を出発基板として用いた。スパッタによりAl薄膜を形成する前に、基板表面とスパッタAl薄膜の密着性を低下させるためガラス基板はフルオロアルキルシランで表面処理を行った。この後、スパッタ装置を用いてガラス基板の表面に膜厚 $5\mu\text{m}$ のAl薄膜を形成した。Al薄膜の剥離のために、エポキシ樹脂を用いてAl薄膜表面に支持層を形成した。この後、機械的にAl薄膜をガラス基板から剥離することで、曲率を有するAl基盤を得た。テーパ状細孔を有するポーラスアルミナの作製には、電解液と

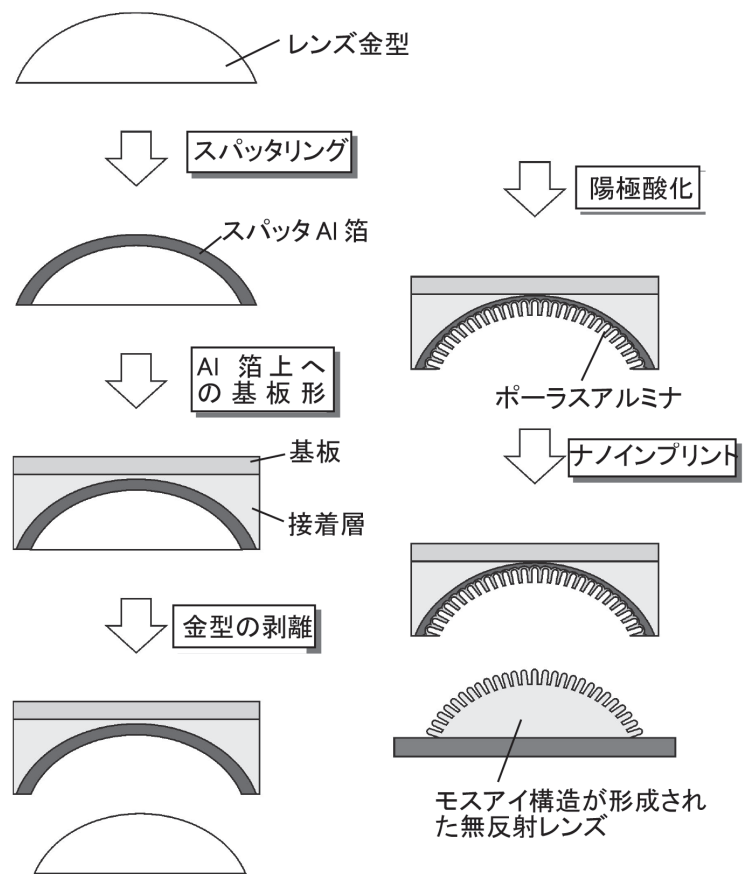


図1 実験プロセス

して0.3M シュウ酸浴，エッチャントとして5wt%リン酸水溶液を用いた。Al 薄膜は，40Vで30秒間陽極酸化を行った後，11分間エッチングを行った。この操作を5回繰り返すことで，テーパ状細孔を有するポーラスアルミナを得た。得られたポーラスアルミナをモールドとしたナノインプリントには，アクリル系の光硬化性樹脂(PAK-02，東洋合成工業)を用いた。フルオロアルキルシランを用いて離型層を形成したポーラスアルミナをモールドとして曲率半径11cm，直径3cmのガラス基板表面に光インプリントによりポリマーピラーアレーを形成した。得られた試料の表面構造は，SEMにより評価した。また，基板表面の反射防止特性は，分光器を用いて評価した。

3. 結果および考察

図2(a)には，曲率を有するガラス基板表面にAlを5 μ mスパッタした後の試料の表面及び外観像を示す。スパッタ後のAl薄膜の表面には大きな凹凸がみられるため，外観も白く観察された。図2(b)には，エポキシ樹脂を用いて補強した後，剥離を行った後の外観および表面SEM像を示す。剥離処理により得られた表面には大きな凹凸は観察されず，その外観も鏡面である様子が確認された。図3(a)，(b)には，陽極酸化とエッチングを組み合わせた手法によって作製したテーパ状細孔を有するポーラスアルミナの表面と断面のSEM像を示す。サイズの均一なテーパ形状の細孔が100nm周期で配列している様子が観察された。得られたポーラスアルミナの細孔深さは200nmであった。この結果は，スパッタAl箔を用いた場合でも，テーパ状細孔を有する規則的なポーラスアルミナの作製が可能であることを示している。

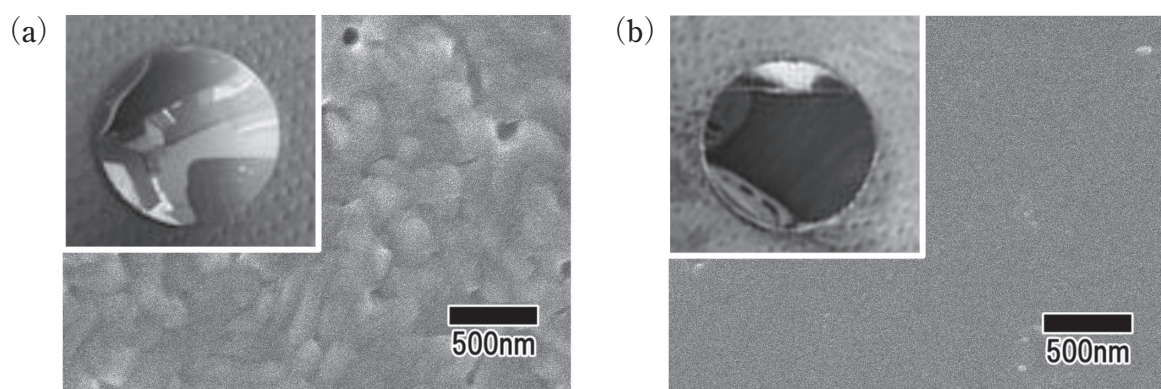


図2 (a)スパッタ後の試料. (b)剥離処理後の試料

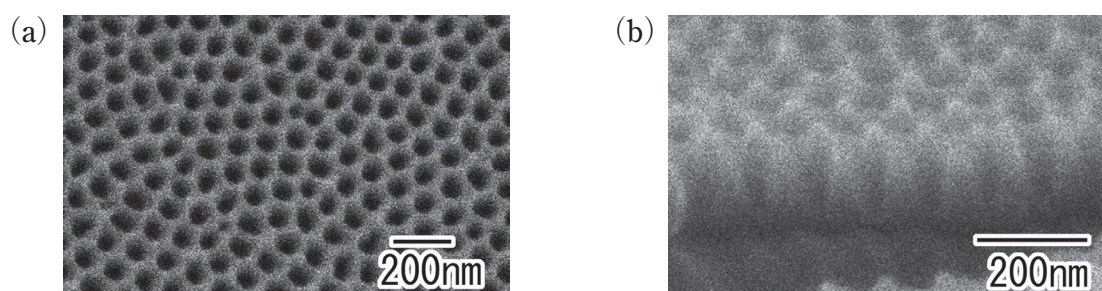


図3 陽極酸化後の試料 (a)表面 SEM 像. (b)断面 SEM 像

図4には、インプリント後の試料のSEM像を示す。インプリントをおこなう基板には、モールドと同じ曲率半径11cmの曲面を有するガラス基板を用いた。SEM観察の結果から、基板全面にサイズの均一なテーパー状の突起が形成されている様子が観察された。

図5には、モスアイ構造を付与した表面と付与していない表面の反射スペクトルを示す。モスアイ構造を形成した表面では、未処理の表面に比べて大きく光の反射が低減できている様子が観察できる。これは、ポーラスアルミナを用いたナノインプリントによって鏡面上に形成したモスアイ構造が反射防止層として機能したことを示している。

最後に本プロセスを用いて眼鏡のレンズ葉面にモスアイ構造の形成を行った結果を図6に示す。片側のレンズの両面にモスアイ構造の形成を行った結果、モスアイ構造を形成していないレンズに比べて、蛍光灯の映り込みがお幅に軽減されている様子が観察された。本プロセスによれば、メガネのレンズの他、様々な光学部材の表面にモスアイ構造の形成を行うことが可能になると期待できる。

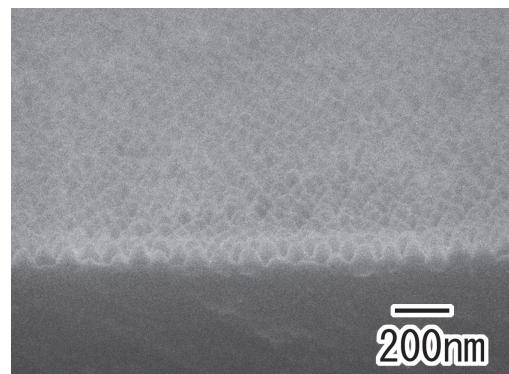


図4 光インプリントによって形成したモスアイ構造

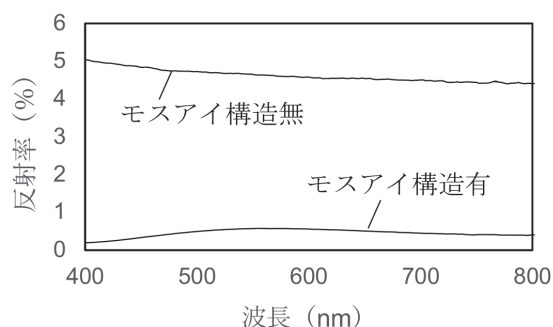


図5 反射スペクトル



図6 反射防止構造を形成したメガネレンズ

4. 結論

曲率を有した基板の上にスパッタによるAl薄膜の形成と剥離を行うことで、スムーズな曲面を有するAl基板の形成が可能であった。得られたAl基板に陽極酸化を行うことで、曲面にモスアイ構造を形成するためのナノインプリント用モールドが得られた。ナノインプリントによって形成された曲面上のモスアイ構造は、入射光の反射を抑制するための反射防止構造として機能することが確かめられた。本手法は、Al薄膜のスパッタに用いる基板の形状を変化させることにより、様々な形状の基板表面にモスアイ構造を作製するためのナノインプリント用モールドの作製が可能であることから、モスアイ構造の適用範囲の更なる拡大が期待できる。

5. 謝辞

本研究は、2019年度日本板硝子材料工学助成会の研究助成を受けて行ったものである。同助成会に心より感謝いたします。

6. 参考文献

1. T. Yanagishita, T. Kondo, K. Yanagishita, and H. Masuda, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **26**, 1856 (2008).
2. T. Yanagishita, T. Kondo, H. Masuda, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **36**, 31802 (2018).
3. T. Yanagishita, K. Nishio, and H. Masuda, *Appl. Phys. Express*, **2**, 022001 (2009).
4. T. Yanagishita, T. Hidaka, M. Suzuki, and H. Masuda, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **34**, 021804 (2016).
5. T. Yanagishita, M. Omata, and H. Masuda, *Jpn. J. Appl. Phys.*, in press.