リアクティブイオンエッチングを用いた マイクロプリズムアレイによる眼内レンズの試作

Applicability of Reactive Ion Etching to Fabrication of Micro-Prism-Array for Intraocular Lens

○正 藤江 龍登 (三城), 正 岡田 晃 (岡山大学大学院), 宇野 義幸 (中国職業能力開発大学校)

Ryuto FUJIE, Paris-Miki Inc., Miyake, Shikama-ku, Himeji, 672-8048 Japan

Akira OKADA, Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, Kita-ku, Okayama, 700-8530 Japan

Yoshiyuki UNO, Chugoku Polytechnic College, Tamashima, Kurashiki, 710-0251 Japan

Key Words : Reactive Ion Etching, Micro-Prism-Array, Intraocular Lens

1. 緒言

一般にマイクロプリズムアレイ(MPA)は、導光板や再帰反射板、拡散板などの光学素子として広く使われているが、屈折光学系の光学素子としては使われない。白内障の術後に用いられる眼内レンズも同様に MPA を用いたものではなく、概ね屈折型または回折型の二種類の光学素子に大別される。しかし、屈折型の眼内レンズではハロやグレアを感じやすく、また、回折型の眼内レンズは多数の回折次数により様々な焦点を得ることができるが、回折により光を分割してしまうことから、コントラスト感が低下するとともに遠方視での解像度が低下するなどの問題がある。MPA では設計ならびに製作の方法により、微小なプリズムを任意の位置、任意の大きさ、任意の頂角、および高さで配置することができる。このマイクロプリズムを任意の位置や頂角で配置し、その頂角を精密にコントロールすることにより、現在の眼内レンズの問題点を解決するとともに、任意の領域に任意の屈折力を設定した多焦点眼内レンズを製作することが可能と考えられる。

そこで、本研究はこのように MPA を用いて屈折光学系を形成することを目的として、リアクティブイオンエッチング(RIE)を用いて、個々に頂角の異なるマイクロプリズムセル(MPC)の形成を試みた。

2. MPA の設計

試作実験では、まず+22 Dioptre の屈折力を持つ単焦点レンズと同等の屈折力を与えられるようにプリズム頂角を設計し、その試作を行った。なお、プリズムの頂角は次の一般式(1)で与えられる⁽³⁾。ここで、 θ_v はプリズム頂角、 θ_d はビーム偏角、 n は屈折率である。

$$\theta_v = \arctan(\sin\theta_d / (n - \cos\theta_d)) \quad (1)$$

また、図1に試作したMPAのレイアウトを示す。試作の基材は厚さ 0.5mm の石英ガラスとし、アレイ全体のサイズは 10×10mm の正方形、各辺の端から 0.5mm を除き、残りの 9×9mm の領域を有効領域とした。さらにこの有効領域を 1mm 角の領域に分割し、この 1mm 角の領域には 10 μ m の正方形の MPC を 10,000 個配置している。そして、アレイ全体としては 81 万個の MPC を設定した。なお、図の枠中の各数

字は、領域毎のエッチングに必要なマスク数である。1mm 角のこの領域は、マスクの製作コストの問題から同一形状の MPC とした。

Fig.1 Layout of Micro-Prism-Array

3. マスクパターンとエッチングプロセス

RIE に際しては、電子ビームによるエッチングに対して高い抵抗力を持つ純ニッケルマスクと、エッチングにより容易に除去されるレジストマスク(東京応化工業 THMR-ip3300)を積層してマスクを形成した。図2にそのマスクパターンとそれによる MPC の斜面形成のメカニズムを示す。図に示すように、マスク形成では、まず、エッチングしない領域に純ニッケルマスクを形成し、エッチングする領域には、その上からレジストマスクを被した。そして、これらのマスクを 10 分間 150°C でベークした後、RIE を行った。この時、エッチングによりレジストマスクは徐々に取り除かれ縮退し、その結果、基材がむき出しになった部分から徐々に基材が刻まれ斜面が形成される。そして、エッチング終了後に全てのマスクを除去する。この手順を、形成するプリズム頂角に合わせて設定されたマスクの回数分繰り返すことで、設計した頂角の MPC の形成を目指した。

Fig.2 Mechanism of slope formation

4. 予備実験

試作の前段階として、エッチング条件を最適化するための予備実験を行った。なお、エッチングガスは六フッ化エタン(C_2F_6)と酸素(O_2)を用い、その混合比、圧力条件などのエッチング条件を各種試行し、最適な条件を抽出した。なお、予備実験の結果より、レジストマスクの幅が広すぎた場合には、バークによるレジストマスクの膨張により膜厚にばらつきができること、また、混合気中の六フッ化エタンの割合が高い場合には、多くのフッ素ラジカルが発生することによって基材が深く刻まれるために、プリズム斜面が急峻な傾斜になってしまうこと、さらに、レジストマスクの幅が狭い場合には、エッチング時のガス圧が高いほど頂角が浅くなる傾向にあることが確認された。

図3に各エッチング条件によって形成された頂角 θ の変化を示す。なお、 W はレジストマスクの幅である。頂角の形成においてはレジストマスクの幅に対する依存性が高いことも確認された。

Fig.3 Variations of apex angle for various etching conditions

この結果から、六フッ化エタンと酸素を等量とし、2Paの圧力下のエッチングであれば設計値に近い頂角が得られることが判り、このエッチング条件を用いて RIE を行った。

5. 形成した MPA の性能と形状

図4に形成した MPA の集光性能を示す。図に見られるように、並行に入射した光が焦点を結んでおり、試作した MPA は凸レンズと同様の集光特性が得られていることが判る。また、光学レンズの屈折力を測定するレンズメータで、その屈折力を測定したところ、設計値に近似する約+22 Dioptre の測定値が得られた。

Fig.4 Focusing performance with trial-made MPA

図5に3D形状測定装置で測定した、MPAの90°方向の端にある MPC の断面プロファイルを示す。形成された斜面には少し段差が見られるが、ほぼ設計値に近似したマイクロプリズムの斜面形状が得られた。

Fig.5 Cross-sectional profile in 90° direction

6. 結 言

RIEによるレジストマスクの除去と縮退により、設計に近似したプリズム頂角が得られ、本試作実験の方法は、任意の MPC の形状を形成できる可能性を持っていると考えられる。また、RIEによりエッチングした MPA は設計値に近い良好な集光性能と屈折力を示した。しかし、MPCの斜面上にいくつかの段差が発生したことから、今後、より精度の高い形状生成のための改善を行っていく。

謝 辞

本試作実験にご協力頂いた NTT-AT に謝意を表する。

文 献

- (1) BERNARD K, PATRICK M, “デジタル回折光学”, 東京丸善, (2005), pp.20-195.
- (2) 田邊功, 立花洋一, 法元盛久, “フォトマスク技術”, 工業調査会, (2006), pp.164-216.
- (3) 羽根一博, “光工学”, コロナ社, (2006), pp.41-112.
- (4) 野田大二, 徳岡篤, 服部正, “ICPエッチング法による高アスペクト比微細構造体の作製”, 日本機械学会, 機素潤滑設計部門講演会講演論文集, 2010(10), pp.71-72.