

# プラズモンカラーフィルタの試作

安井学，塩尻大士，黒内正仁，金子智，三橋雅彦（電子技術部電子材料グループ）

## 1. はじめに

ドローンなどを用いて上空から農作物の育成状況を把握する手法として、リモートセンシング技術が研究されている<sup>1-4</sup>。具体的な手法として、農作物の体内の水分状態やミネラル含量と密接な関係をもつ波長 1100nm~2500nm の近赤外光<sup>5</sup>，光合成に必要な葉緑素に関連する波長 400~450nm と 650~700nm の可視光，光エネルギーを吸収するカロテノイドに関連する波長 425~490nm の可視光から得られるスペクトル画像を用いて、農作物の育成状況をマッピングし、成長が遅れている領域や水分が不足している領域などを把握できる。スペクトル画像の取得には、スペクトルカメラが必要であり、市販されているドローンを対象とした小型で軽量なスペクトルカメラの重量は 72g かつ手のひらサイズである<sup>6</sup>。そのため、スペクトルカメラに搭載する分光フィルタも小型・軽量化が求められ、その要求を充たし得るプラズモンカラーフィルタが研究されている<sup>7-9</sup>。このプラズモンカラーフィルタは、Ebbesen らのグループが発見した“金属ナノ構造から生じる表面プラズモンが異常透過現象”を利用している<sup>10</sup>。

我々は、令和 2 年度からのサポイン事業にて“高画質超小型マルチスペクトルカメラの開発”<sup>11</sup>に取り組み、プラズモンカラーフィルタを試作・評価したので、その結果について報告する。

## 2. 実験方法

図 1 にプラズモンカラーフィルタの作成工程図を示す。ガラス基板の上に金属膜を 100nm の厚みで成膜し、その上に SiO<sub>2</sub> 膜を 100nm の厚みで成膜した。そして、電子線描画（株）エリオニクス製、ELS S-50）によりレジストに対し 200, 240, 280, 320, 360, 400, 600, 800nm 周期のホールパターンを形成した。その後、国立研究開発法人産業技術総合研究所が運営するナノプロセッシング施設（NPF）にて、フッ素系ドライエッチングを用いて、レジストホールパターンを SiO<sub>2</sub> に転写して、ハードマスクを形成した。更に、塩素系ドライエッチングを用いて、Al 膜をエッチングし、

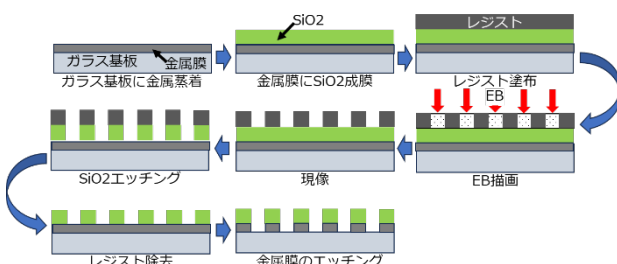


図 1 プラズモンカラーフィルタの作製工程図

SiO<sub>2</sub> から Al にナノホールを転写した。

その後、紫外・可視・近赤外分光光度計（（株）島津製作所製, Solidspec-3700i）にて、分光特性を評価した。

## 3. 結果及び考察

図 2 に電子線描画で形成した 200, 400, 600, 800nm 周期のナノホールの SEM 像を示す。また、図 3 にドライエッチング後の 200, 400, 600, 800nm 周期の SiO<sub>2</sub> ナノホールの SEM 像を示す。

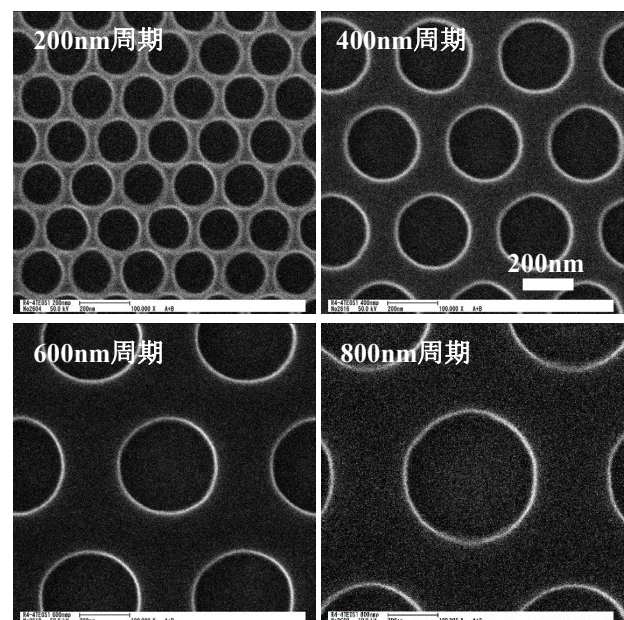


図 2 レジストパターンの SEM 像(200, 400, 600, 800nm)

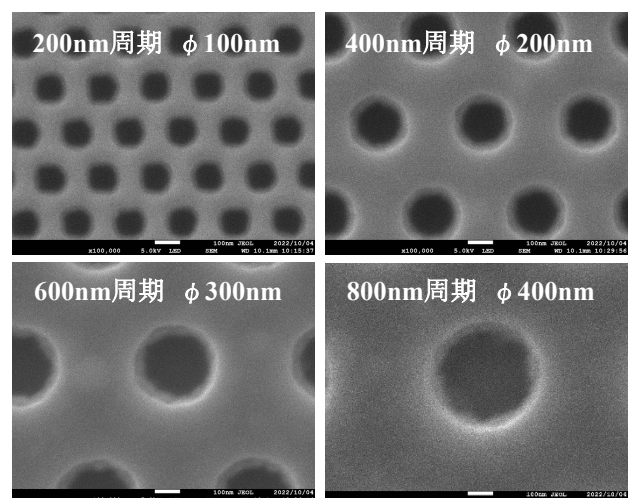


図 3 エッチングパターンの SEM 像  
(200, 400, 600, 800nm 周期)

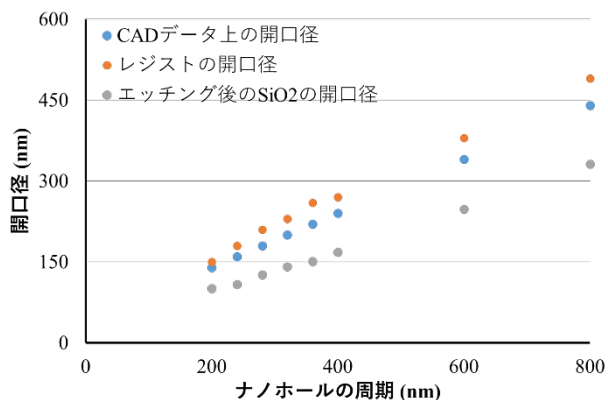


図4 CAD データ、レジスト、ドライエッチング後の各ナノホールの開口径

そして、これらのSEM像から求めたCADデータ上、レジストパターン、ドライエッチング後を3種類の開口径をまとめたグラフを図4に示す。

ホール形状を確実に形成するため、ドーズ量を過剰にしたため、CADデータの開口径に比べて、レジストの開口径が大きくなった。一方、ドライエッチング後の開口径は、CAD、レジストの両方の開口径に比べて7割ほどの大きさであった。これは、AIまでのパターン転写の工程が、レジスト→SiO<sub>2</sub>→Alと2段階のドライエッチングを要するため、転写誤差が累積したことが誤差要因の一つと考えられる。

次に、Alナノホールの分光測定結果を図5に示す。スペクトルが透過を示したことから、局在表面プラズモン共鳴(LSPR)を起こしていると考えられる。しかしながら、先行研究で報告されている透過率<sup>12</sup>は数十%であることに比べ、本研究では透過率が数%と低かった。図6、7にAFMで測定した200nm周期と400nm周期の鳥瞰図と断面図を示すが、200nm周期では、ホールの一部が塞がっているため、透過率が下がったと考えられる。また、ホールの形状が開口部から底部に向かってなだらかに傾斜していた。そのため、LSPRによる異常透過現象が起こらず、透過率が低くなったと考えられる。

#### 4. 今後の展開

Alナノホールを試作し、分光特性を評価した結果、透過率が数%と低かった原因として、1) Alナノホールの一部が未貫通であったこと、2) ナノホールの開口部に傾斜

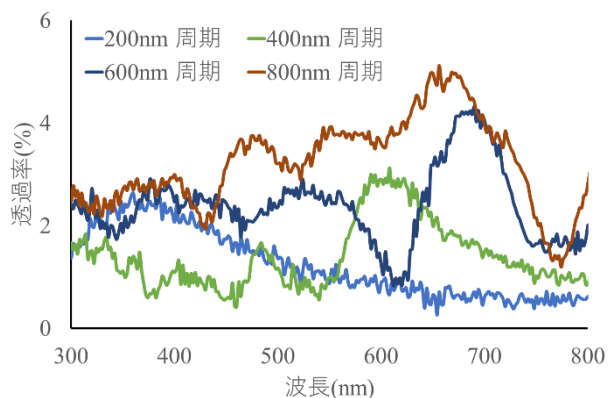


図5 各周期のナノホールの透過率

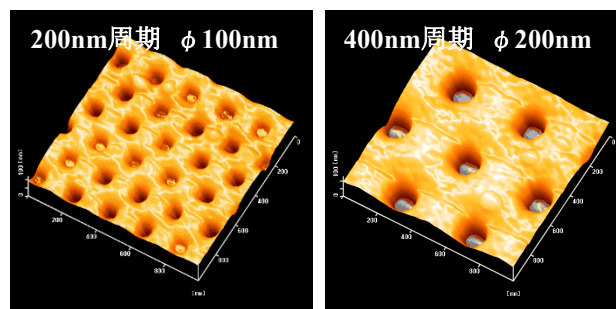


図6 200nm, 400nm 周期の AFM の測定結果 (鳥瞰図)

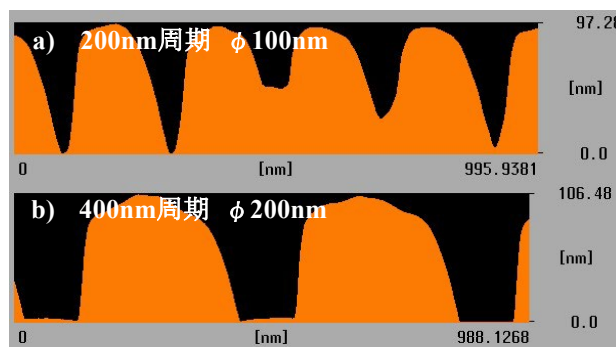


図7 200nm, 400nm 周期の AFM の測定結果 (断面図)

が生じ、LSPRが異常透過現象を起こさなかったことが考えられる。今後、これらの問題点を解決していく。

#### 【参考文献】

1. 大段秀記, 日本画像学会誌, 62(3), 219-224 (2023).
2. 杉浦綾, 日本農薬学会誌, 45(2), 146-149 (2020).
3. 齋藤元也, 石塚直樹, 坂本利弘, 日本リモートセンシング学会誌, 37(3), 193-203 (2017).
4. 井上吉雄, 横山正樹, 精密工学会誌, 85(3), 236-242 (2019).
5. 山本晴彦, 鈴木義則, 小島孝之, 早川誠而, 井上康, 田中宗浩, 日本リモートセンシング学会誌, 14(4), 293-301 (1994).
6. <https://www.hoveringonline.com/products/detail/490>
7. S. P. Burgos, S. Yokogawa, H. A. Atwater, *ACS Nano*, 7(11), 10038–10047 (2013).
8. M. Song, D. Wang, S. Peana, S. Choudhury, P. Nyga, Z. A. Kudyshev, H. Yu, A. Boltasseva, V. M. Shalaev, A. V. Kildishev, *Appl. Phys. Rev.* 6, 041308 (2019).
9. T. Ellenbogen, K. Seo, K. B. Crozier, *Nano Lett.*, 12(2), 1026–1031 (2012).
10. T. W. Ebbesen, H. J. Lezec, H. F. Ghaemi, T. Thio & P. A. Wolff, *Nature*, 391, 667–669 (1998).
11. [https://www.kistec.jp/kistec-manage/wp-content/uploads/kistecNews\\_2021\\_vol.16.pdf](https://www.kistec.jp/kistec-manage/wp-content/uploads/kistecNews_2021_vol.16.pdf)
12. Q. Chen, D. R. S. Cumming, *Opt Express*, 18(13), 14056-62, (2010).