

# 表面プラズモン共鳴によるショットキー光検出器の高感度化に向けた研究

機能素材加工課 升方康智\*1

製品・機能評価課 奈須野雅明

## 1. 緒言

光検出器は、入射した光を電気信号に変換する素子で、PN 接合フォトダイオードなど多くの種類が存在するが、ショットキー光検出器は、金属/Si のショットキー障壁による内部光電効果を利用した検出器で、非冷却でも使用でき、検出特性の温度依存性が小さいなどの利点から研究が行われているが、感度の向上が課題となっている。

表面プラズモン共鳴は、光入射で自由電子の振動が起き、微細構造において誘起された電場と光が共鳴すると、光が吸収される現象で、表面増強ラマン分光に応用されており<sup>1)</sup>、光センシング技術への応用も期待されている<sup>2)</sup>。

本研究では、ショットキー障壁型の光検出器の表面に周期構造を作製し、表面プラズモン共鳴により入射光の吸収効率を高めることで感度の向上を試みた。

## 2. 実験方法

### 2.1 試作方法

実験に用いる素子は、ナノインプリント法により Si 基板上に微細パターンを有するレジストを形成し、ドライエッチング装置によりレジストの非被覆部をエッチングして Si 表面に微細構造を形成し、スパッタで金属膜を成膜して作製した。

ナノインプリントに用いるモールドは、PDMS 樹脂 (SYLGARD184) と硬化剤の 10:1 混合物をマスターパターン(500nmL/S, 428nmL/S) に滴下し、室温で硬化させて作製した。

n-Si 基板をバッファードフッ酸に 5min 浸漬して表面の酸化膜を除去し、裏面電極の Al をスパッタ法により成膜した後、裏面電極がオーミック接合となるよう 350°C で 30min 熱処理を行った。

Si 基板上への微細パターンの形成は、ナノインプリント法により行った(図 1)。

インプリントに用いるレジストは、残膜を最小限にするため、レジスト(ZPP1700PG: 日本ゼオン)を PGMEA で 1:5 の割合で希釈して粘度を下げたものを用いた。これを Si 基板上に滴下し(①)、PDMS モールド(500nmL/S, 428nmL/S)を押し

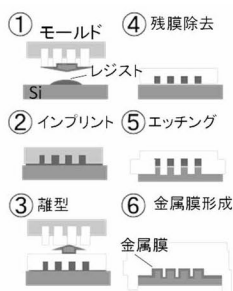


Fig.1 Fabrication process

付け、室温で乾燥させた後(②)、モールドを離型し、Si 基板上にレジストパターンを形成した(③)。Si 基板上に存在するレジストの残膜を除去するため、O<sub>2</sub> アッシングを行った(④)。ICP ドライエッチング装置(MUC-21)によりレジスト非被覆部のエッチングを行い、Si 基板上に微細 L/S パターンを形成した(⑤)。上部電極としては Ag, Au を選択した。上部電極の形成は、裏面電極をレジストで保護した上でバッファードフッ酸に 5min 浸漬して表面の酸化膜を除去し、微細 L/S パターンを形成した Si 基板上にスパッタ装置(SH-250-T4)によりそれぞれ約 100nm 成膜した(⑥)。

### 2.2 測定方法

ショットキー接合を形成していることを確認するため、電気的特性の測定として I-V 特性の測定を行った。表面プラズモン共鳴による光吸収が誘起されていることを確認するため、紫外可視近赤外分光光度計により反射率測定を行った。光検出特性の測定は、分光感度測定装置により、波長ごとの光電流の測定を行った。

### 3. 実験結果および考察

Fig. 2 に、ドライエッチング法により作製した、微細構造を有する Si 基板の SEM 像を示す。

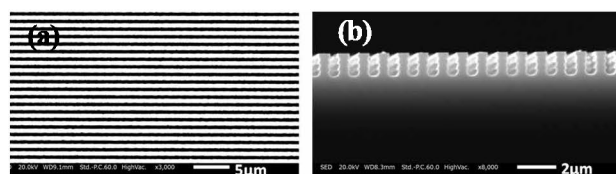


Fig. 2 SEM image of the Si substrate with microstructure (500nm L/S) (a)top view (b)cross section view

Fig. 3 に、作製した Ag/Si/Al と、Au/Si/Al 素子の I-V 特性を示す。整流特性を示し、ショットキー接合が形成されていることが確認できる。

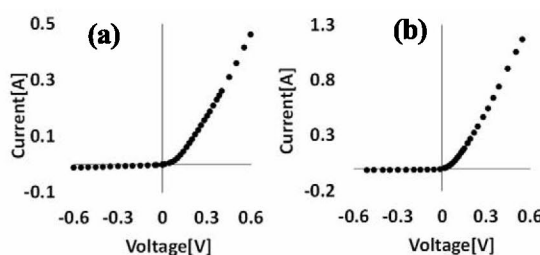


Fig. 3 I-V characteristics of (a) Ag/Si/Al (b) Au/Si/Al

\*1 現 製品・機能評価課

Fig. 4に、微細構造を有するSi上に作製したAg, Au膜の光反射特性測定結果を示す。パターンサイズに依存して特定の波長において反射率が低下しており、表面プラズモン共鳴現象による光吸収の存在が示唆された。

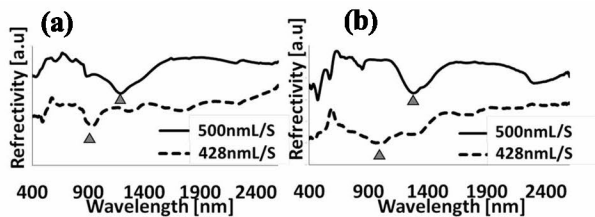


Fig. 4 Reflectivity of the (a)Ag, (b)Au film on the Si substrate with microstructure

Fig. 5に、分光感度測定の結果を示す。Ag/Si/Alは400~1000nm程度の波長域で、Au/Si/Alは長波長域で平坦膜に比べ、微細構造を有する素子の光電流が増大した。Ag/Si/Alでは微細構造を有する素子は光電流が平坦膜の最大約3.7倍、Au/Si/Alは最大約2.8倍増大した(いずれも波長925nm)。500 $\mu$ W/cm<sup>2</sup>測定時における800nm付近の急激な光電流の変化は、測定装置のフィルター切り替えによる光強度の変化によるものである。

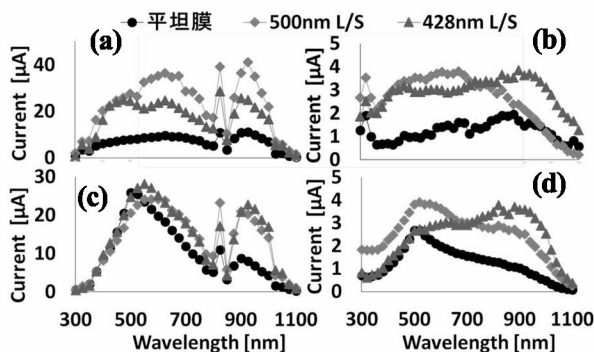


Fig. 5 a Spectral sensitivity characteristics  
(a) Ag/Si/Al, 500 $\mu$ W/cm<sup>2</sup> (b) Ag/Si/Al, 50 $\mu$ W/cm<sup>2</sup>  
(c) Au/Si/Al, 500 $\mu$ W/cm<sup>2</sup> (d) Au/Si/Al, 50 $\mu$ W/cm<sup>2</sup>

プラズモン共鳴により光吸収が増大する効果自体は発

現している可能性が高いが、電極面積増大の効果も同時に発現していることも予想されるため、素子断面のSEM観察を行い、実効的な電極面積を調べた(Fig. 6)。

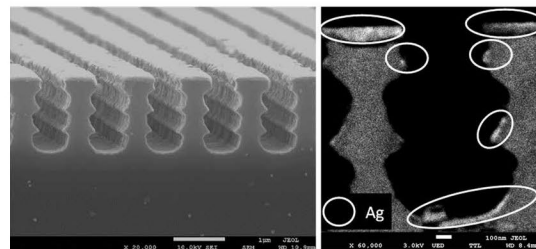


Fig. 6 SEM image of the Ag film on Si with microstructure (a)secondary Electron image (b)compositional image

その結果、エッチング時により形成されたスキヤロップの影の部分には金属膜が形成されず、実効的な電極面積は微細構造上に均一に形成された場合と比べて低く、約1.3倍程度であることが分かった。この程度の電極面積増大に対し、最大約3.7倍の光電流が検出されたことは、表面プラズモン共鳴による増強作用の発現を裏付けるものであると考えられるが、スキヤロップを低減し、微細構造上により均一な金属膜を形成することで、更なる光検出性能の向上が可能であることが示唆された。

#### 4. 結言

ナノインプリント法によりSi基板上に微細構造を形成し、金属電極を形成してショットキー型光検出素子を作製した。微細構造を有する素子ではプラズモン共鳴による光電流増強作用は発現しているものと考えられるが、検出能力の向上や、プラズモン共鳴の発現機構などを詳しく調べるためには、微細構造上により均一な金属膜を形成した素子を作製する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 二又政之 :表面科学 Vol. 33, No. 4, pp. 216-222, 2012
- 2) 玉田薫 :表面科学 Vol. 33, No. 4, pp. 223-228, 20

キーワード：光検出素子、表面プラズモン、微細構造

### Study of surface plasmon enhanced schottky photodetector with periodic structure pattern

Product and Function Evaluating Section; Yasutomo MASUGATA\*1

Product and Function Evaluating Section; Masaaki NASUNO

Toward sensitivity enhancement of schottky photodetector by surface plasmon resonance, we fabricated schottky junction with periodic pattern by nanoimprint process. As a result of measuring photocurrent of those schottky photodetector, it is conceivable that the enhancement of Photocurrent by surface plasmon resonance has been observed.