

## O309

## シリコンの光学スペクトルに与える銀ナノ粒子の局在表面プラズモンの効果

(東工大炭エネ研)○(学)鉢村 浩徳・(学)田中 佑宜・(正)伊原 学\*

**【緒言】** 再生可能エネルギーである太陽光によって発電する太陽電池は、枯渇が懸念されている化石燃料を使った発電システムを補うデバイスとして注目を集めている。また、発電時に二酸化炭素を発生しないため温室効果ガス削減の面でも期待されている。しかし、その製造コストを含めた発電コストは高く、さらなる高効率化による低コスト化が求められている。

当研究室では、金属ナノ粒子の局在表面プラズモンの電場増強効果による太陽電池の変換効率の向上を目標としている。これまでに銀ナノ粒子により、色素増感太陽電池に用いられる N3 Dye の吸光係数を最大で 149 倍まで増加させたことを報告している<sup>1)</sup>。また、金属ナノ粒子の局所電場増強効果を半導体太陽電池に応用させるべく、スピコート法によって銀ナノ粒子が分散した膜をシリコン基板上に作製したことを報告している<sup>2)</sup>。

本研究では、銀ナノ粒子の局所電場増強効果の効率を向上するために、a-Si 上に銀ナノ粒子分散膜をスピコート法により塗布しその光学特性を調べた。また、FDTD 法による計算で a-Si 上の銀ナノ粒子による電場増強効果について検討した。

**【実験】** 今回使用した銀ナノ粒子は液相法により合成した。合成した銀ナノ粒子をエタノール 240 $\mu$ L に分散させた後に、増粘剤としてポリエチレングリコール 2.5mg を加えた。銀ナノ粒子分散膜はこの溶液をスピコート法により塗布することで作製した。

石英基板上に RF スパッタリング法により a-Si 層を成膜し、その上に銀ナノ粒子分散膜を作製することで、a-Si/銀ナノ粒子複合膜を作製した。a-Si 層と a-Si/銀ナノ粒子複合膜について光吸収スペクトルを測定した。また、石英基板上に銀ナノ粒子分散膜のみを作製し、その銀ナノ粒子分散膜と、銀ナノ粒子コロイド溶液の光吸収スペクトルも測定した。

FDTD 計算に用いる銀の誘電関数として、ドルーデモデル  $\epsilon(\omega) = \epsilon_{\infty} - \omega_p^2 / (\omega(\omega + i\gamma))$  を用いた。バルクの場合、各値は  $\epsilon_{\infty} = 5.266$ 、 $\omega_p = 9.6\text{eV}$ 、 $\gamma = 0.0544\text{eV}$  を代入した<sup>3)</sup>。FDTD 法のセルは、計算を行う銀ナノ粒子の半径の 20 分の 1 の長さを一辺とする立方体に設定した。また、a-Si の 500nm の入射光に対する誘電率  $\epsilon$  は  $\epsilon = 24.6 - 8.32i$  とした。また、モデルは a-Si 上の 0.16 $\mu$ m の銀ナノ粒子に 500nm の光が垂直に入射する系を用いた。

**【結果と考察】** a-Si と a-Si/銀ナノ粒子複合膜それぞれの吸収スペクトルを図 1 に示す。a-Si/銀ナノ粒子複合膜の方が高い吸光度を示していることがわかる。局在表面プラズモンの電場増強効果が寄与している可能性はあるものの、さらなる検証が必要である。

銀ナノ粒子分散膜と、銀ナノ粒子コロイド溶液の光吸収スペクトルを図 2 に示す。溶液と分散膜ではピーク位置がわずかにずれていることがわかる。これは、

石英基板上とエタノール溶液中とでナノ粒子周辺の誘電率に違いがあったことが原因として考えられる。また、基板上に塗布した際にナノ粒子が凝集して粒径が増加したために、分散膜のピークがレッドシフトした可能性も考えられる。

図 3 に FDTD 計算の結果を示す。図 3 を見ると、ナノ粒子近傍において電場強度の領域が発生していることが確認できる。このことから、銀ナノ粒子の局在表面プラズモンの電場増強効果による光吸収効率の改善が期待される。

FDTD 計算の結果から局在表面プラズモンによる電場増強効果を大きくするためには、ナノ粒子と Si 基板をより近接させる必要があることがわかる。更にこれらの結果を考慮し、より効果的電場増強効果を利用できる構造を検討した。

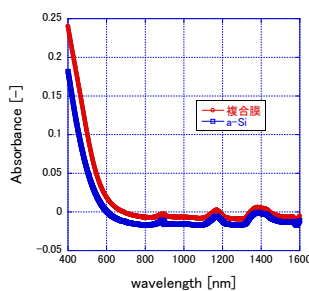


図 1. a-Si と a-Si-銀ナノ粒子複合膜の光吸収スペクトル

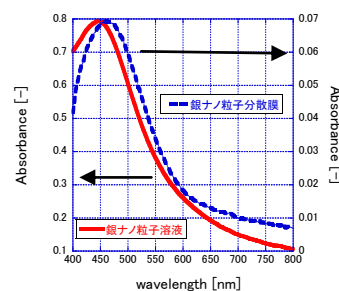


図 2. 銀ナノ粒子分散膜と銀ナノ粒子コロイド溶液の光吸収スペクトル

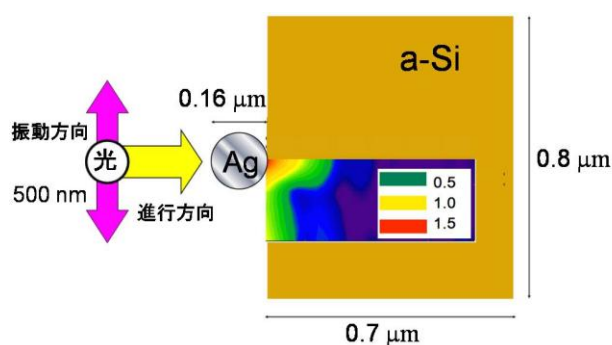


図 3. FDTD 法により計算した a-Si 膜上ナノ粒子近傍の電場強度分布

**【謝辞】** 本研究の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の革新型太陽電池国際研究拠点整備事業「低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発」により行われました。関係各位に深く感謝いたします。

**【参考文献】**

- 1) M. Ihara et al., J. Phys. Chem. B **101**, 5153, (1997)
- 2) 田中 他 2009 年化学工学会春季大会講演要旨集 **L202**
- 3) H. Tamaru et al., Appl. Phys. Lett. **80**, 1826, (2002).

\* E-mail: mihara@chem.titech.ac.jp Tel&Fax: 03-5734-3337