

# 太陽電池の高効率化に向けた革新的光閉じ込め構造作製手法の開発

東海国立大学機構 名古屋大学 大学院工学研究科 准教授  
黒川 康良

## 1. テーマ設定の背景

太陽電池のさらなる高効率化と低コスト化・設置可能な範囲拡大のための曲面对応のためには結晶シリコンの薄型化が必須である。しかしながら、薄型化は特にシリコンのバンドギャップ付近の近赤外光吸収の低下を招き、太陽電池性能の劣化につながる。現在結晶シリコン太陽電池に一般的に用いられているアルカリエッチングによる光散乱構造は、近赤外光の散乱効果が不十分である。また、薄型化に伴い、エッチングマージンが制限されてしまう。このようなことから、近赤外光に特化した新規光散乱構造の開発が求められている。本研究では、シリコンウエハ表面に直径数百nmのワイヤ構造を付与した革新的光閉じ込め構造を光学シミュレーションにより設計し、その構造の作製手法を開発することを目的とする。

## 2. 素形材分野との関連性

本研究では、素形材であるシリコンウエハに対して、革新的光閉じ込め機能を付与するための独自の微細加工技術を開発した<sup>1)</sup>。この技術は形状制御性を有しており、太陽電池の高効率化だけでなく、大容量キャパシタ<sup>2)</sup>や熱電発電デバイス・光吸収材<sup>3,4)</sup>などアプリケーションに応じた個別対応が可能である。ここでは太陽電池応用に関する研究を紹介する。

## 3. 研究開発の成果

本研究では、近赤外光の光閉じ込めを効果的に可能にする新構造を有限差分時間領域法（FDTD法）により特定した。波長1000nm程度の近赤外光に対して、光散乱が最大となるのは散乱体の構造が直径700nm程度であることがわかった<sup>1)</sup>。その構造を作製するためには形状制御が可能な加

工技術が必要である。そこでシリカナノ粒子をエッチングマスクとする金属触媒化学エッチング法を開発した（図1）。直径700nmのサイズのシリカナノ粒子をシリコン基板上に塗布し、銀薄膜を真空蒸着法で堆積した。その後、フッ酸と過酸化水素水の混合溶液中に浸漬し、シリコンのエッチングを試みた。図2（a）は実際に作製された光散乱構造である。小さな無数のナノワイヤの中に直径700nm程度のナノワイヤ構造が確認できる。図2（b）からわかるように、この構造はシリコンのバンドギャップ付近の内部吸収率を大幅に増加させることができることがわかった。波長1100nm付近の光吸収率が従来構造に比べて1.6倍ほど増加した。光電流密度に換算すると42.39 mA/cm<sup>2</sup>の短絡電流密度を期待できる。この値は、シリコンの光吸収の理論限界値に非常に近い値である。

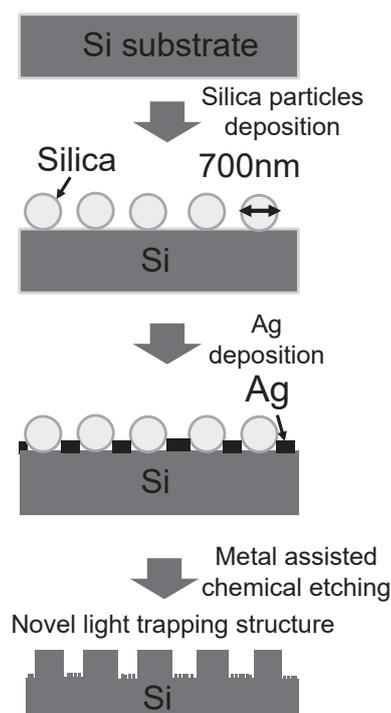


図1 新型光閉じ込め構造の作製方法

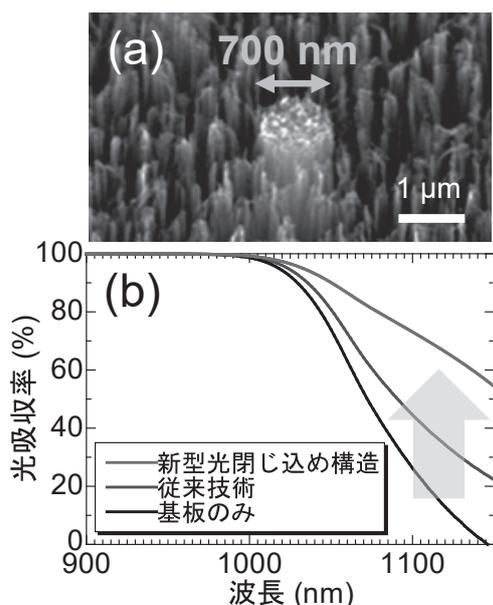


図2 作製された光閉じ込め構造の (a) 走査型電子顕微鏡像と (b) 内部吸収率スペクトル

#### 4. 訴求点

本技術はシリカ粒子径で散乱体直径を制御できるため、散乱させたい光の波長帯に合わせて光散乱体のサイズを調整し、作製が可能である。一方で、物理的な凹凸は、従来のアルカリテクスチャ構造と比較して十分に小さい。これにより数十 $\mu\text{m}$ 厚の薄型基板にも対応可能であり、従来技術と比較して低コスト化、高効率化・曲面対応のいずれの観点においても優位性がある。

本研究は現在、NEDOプロジェクトにてさらなる継続研究を実施中である。次世代自動車(FCEV, EV, HEV)向けに発電効率が高く、かつボンネットやトランクなど、屋根以外の曲面にも搭載可能な太陽電池モジュールが必要とされている。結晶シリコン太陽電池を利用する場合、さらなる高効率化と低コスト化・曲面対応が必要となり、結晶シリコンウエハの薄型化が避けて通れない。そのため、近赤外光に特化した革新的な光散乱構造が必須である。本研究で得られた構造が実装できるよう研究を進めているところである。最終的にはこのような技術が、わが国の「2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」というカーボンニュートラル実現の一翼を担うと期待している。

本技術は比較的簡単な手法で大面積に形状制

御した微細構造をシリコンウエハ上に作製できることから、多様な材料・デバイス・システムへの適用が可能である。例えば、本手法は大容量キャパシタへの応用が可能である。エッチング時間を長くすることで長さ数十 $\mu\text{m}$ のシリコンナノワイヤ(SiNW)アレイを作製することができる。表面積の大きな構造となるため大容量の蓄電が可能となる。筆者らは $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 積層膜を誘電体として用いたSiNWキャパシタの作製に成功しており、SiNWキャパシタにおいて比較的高い静電容量である $84\mu\text{F}/\text{cm}^2$ を達成したことを報告している<sup>2)</sup>。このような広い表面積を得られることから熱伝導率を低減することも可能であり、熱電発電材料応用も可能である。また、 $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 積層膜をSiNW上に堆積すると可視光線から $2.5\mu\text{m}$ までの近赤外光をほぼ100%吸収することができ、光吸収材としても有望である<sup>3),4)</sup>。

#### 参考文献

- 1) M. Sei, Y. Kurokawa, S. Kato, N. Usami, Investigation of effective near-infrared light-trapping structure with submicron diameter for crystalline silicon thin film solar cells, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.57, pp.08RB21 (2018).
- 2) R. Nezasa, K. Gotoh, S. Kato, S. Miyamoto, N. Usami, Y. Kurokawa, Fabrication of Silicon Nanowire Metal-Oxide-Semiconductor Capacitors with  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  Stacked Dielectric Films for the Application to Energy Storage Devices, *Energies*, Vol.14, pp.4538 (2021).
- 3) Y. Kurokawa, R. Nezasa, S. Kato, H. Miyazaki, I. Takahashi, N. Usami, Fabrication of silicon nanowire based solar cells using  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  stack thin films, *MRS Advances*, Vol.3, pp.1419 (2018).
- 4) 黒川康良, 「光吸収体」, 特開 2018-173462 号.