

論文内容の要旨

論文題目 Electrical Properties of Inverse Silicon Opals for Optically
Enhanced Silicon Solar Cells

(光増幅された新規シリコン太陽電池のための反転シリコン
オパールの電気的特性)

氏名 末崎 恭

光の伝播を全ての方向において不可能とする完全光学禁制帯を有する3次元フォトリソニック結晶が理論的に提唱され、そのアイデアを実用化するための活発な研究開発が世界的に展開されている。その中でも高い屈折率のコントラストを有する反転シリコンオパールは波長 $1.5\mu\text{m}$ に完全光学禁制帯を持ちかつ大面積形成への可能性から、高い注目を浴びている。反転シリコンオパールにおける光学的特性に関する研究が多数存在することに対し、オプトエレクトロニクスデバイスへの応用を考える上で、その基盤となる電気的特性に関する研究はほとんど行われていない。本研究は、反転シリコンオパールの電気的特性を解明することを主目的として遂行された。フォトリソニック結晶格子および結晶性の電気的特性に対する影響の解明、不純物ドーピングによる導電率のコントロールの検討、ならびに反転シリコンオパールの電気的特性の分光感度に焦点を当てており、それら一連の検討の帰結として、フォトリソニック結晶の特徴として期待される光学禁制帯近傍で生じる光の群速度低下を用いた光電変換の向上を試みた。

自己組織化法により作成したシリカオパールをテンプレートとした反転シリコンオパール層の光学的特性を詳細に評価した。直径を変化させたオパール構造において反射率の分光特性を測定し、理論値と良く一致することが確認された。

作成された反転シリコンオパール層の電気的特性を解析した。暗導電率は構造形状に係わらず一定であることが判明した。さらに水素プラズマによる不活性化処理を施したところ、結晶性の顕著な改善が見られ導電率が大幅に向上した。さらに、ゾルゲル法を用いてp型ならびにn型の価電子制御を実現した。

反転シリコンオパールを活性層に用いた太陽電池の実現を目指して、光励起キャリア生成の量子効率を測定解析した結果、低温での分光特性において光の群速度低下に起因する効率の増大を世界で初めて観察することができた。反転シリコンオパール層を用いたp-i-n型構造を作製し光電変換特性を測定したところ、太陽電池としての発電が実現できた。高い変換効率は得られなかったが、十分な光励起電流生成が見られ、直列抵抗の低減や構造の均一性確保等により今後の改善が期待できる。

以上の成果により、反転シリコンオパール層の光電物性が世界で初めて測定解析され、高効率太陽電池への応用の端緒が開かれた。

(論文審査結果の要旨)

光の伝播を全ての方向において不可能とする完全光学禁制帯を有する 3 次元フォトニック結晶が理論的に提唱され、そのアイデアを実用化するための活発な研究開発が世界的に展開されている。その中でも高い屈折率のコントラストを有する反転シリコンオパールは波長 $1.5\mu\text{m}$ に完全光学禁制帯を持ち、かつ大面積形成への可能性から高い注目を浴びている。反転シリコンオパールにおける光学的特性に関する研究が多数存在することに対し、オプトエレクトロニクスデバイスへの応用を考える上で、その基盤となる電気的特性に関する研究はほとんど行われていない。本研究は、反転シリコンオパールの電気的特性を解明することを主目的として遂行された。フォトニック結晶格子および結晶性の電気的特性に対する影響の解明、不純物ドーピングによる導電率のコントロールの検討、ならびに反転シリコンオパールの電気的特性の分光感度に焦点を当てており、それら一連の検討の帰結として、フォトニック結晶の特徴として期待される光学禁制帯近傍で生じる光の群速度低下を用いた光電変換の向上を試みた。

自己組織化法により作成したシリカオパールをテンプレートとした反転シリコンオパール層の光学的特性を詳細に評価した。直径を変化させたオパール構造において反射率の分光特性を測定し、理論値と良く一致することが確認された。

作成された反転シリコンオパール層の電気的特性を解析した。暗導電率は構造形状に係わらず一定であることが判明した。さらに水素プラズマによる不活性化処理を施したところ、結晶性の顕著な改善が見られ導電率が大幅に向上した。さらに、ゾルゲル法を用いて p 型ならびに n 型の価電子制御を実現した。

反転シリコンオパールを活性層に用いた太陽電池の実現を目指して、光励起キャリア生成の量子効率を測定解析した結果、低温での分光特性において光の群速度低下に起因する効率の増大を世界で初めて観察することができた。反転シリコンオパール層を用いた p-i-n 型構造を作製し光電変換特性を測定したところ、太陽電池としての発電が実現できた。高い変換効率は得られなかったが、十分な光励起電流生成が見られ、直列抵抗の低減や構造の均一性確保等により今後の改善が期待できた。

本研究により、反転シリコンオパール層の光電物性が世界で初めて測定解析され、高効率太陽電池への応用の端緒が開かれた。その成果は、学術的に新しい知見を見出していると同時に新規高効率薄膜 Si 太陽電池の実現に向け大きな寄与を果たすものと判断され、審査委員一同は、本論文を博士（工学）論文として認定した。