

## 論文内容の要旨

博士論文題目 Development of Laser Doping at Room Temperature for Crystalline Silicon

Solar Cell Fabrication Process

(結晶シリコン太陽電池作製プロセスに向けた室温レーザードーピングの開発)

氏名 平田 憲司

### (論文内容の要旨)

近年、太陽電池用結晶シリコンの不足やコスト削減といった面から、太陽電池の薄型化やプロセスの低温化が求められている。しかし薄型化に対して、従来の作製方法では不純物ドーピングに 1000°C 程度の高温プロセスが必要であり、基板への熱ストレスが発生し、歩留まりの低下が起こる。そこでプロセスの低温化を目指し、本研究ではドーピングにレーザーを用いることを提案した。レーザーを用いる利点として、室温、大気中で太陽電池の作製が可能、また局所部分のみにマスクなしで正確にドーピングを行えるため、フォトリソグラフィを用いずに微細構造を有する高効率太陽電池を作製可能、などが挙げられる。得られた成果は以下の通りである。

#### ①レーザードーピング機構の解明

レーザー照射条件による、ドーピング不純物の分布、照射部の変化について検討した。照射条件に依存したドーピング深さが確認され、0.5  $\mu\text{m}$ ~3  $\mu\text{m}$  以上の広範囲でのドーピング深さの制御に成功した。さらに得られた結果のシミュレーション解析から、シリコンの融点以上で不純物がドーピングされていることがわかり、従来の固相熱拡散とは異なる機構で不純物がドーピングされることが明らかとなった。

#### ②レーザードーピングにおけるドーパント膜の制御

レーザードーピングにおけるドーパント膜に着目し、ドーパント膜の反射の影響について検討するため、スパッタ法によるドーパント膜の形成を提案した。この方法により膜厚を制御することで、特定の波長における反射率の制御が可能なることを確認した。さらにこの方法で作製されたドーパント膜に対してレーザー照射を行い、反射率の差により基板に入射するレーザーエネルギーが異なることを実験的に明らかにした。

#### ③レーザードーピングによる結晶シリコン太陽電池の pn 接合形成

レーザーでドーピングされた層を太陽電池のエミッター層とし、太陽電池の電気的諸特性について検討した。室温大気中においてレーザードーピングにより形成された pn 接合を有する太陽電池は、従来方法により作製された pn 接合を有する太陽電池と同程度の特性を得ることを確認した。

#### ④レーザードーピングによるセレクトィブエミッター型太陽電池の作製

結晶シリコン太陽電池の高効率構造であるセレクトィブエミッター構造にレーザードーピングを応用した。レーザードーピングにより形成されたセレクトィブエミッターを有する太陽電池は、セレクトィブエミッターを有しない太陽電池に比べ、直列抵抗が低減され、曲線因子が改善できることを確認した。これらの結果より、室温大気中でレーザードーピングによる高効率結晶シリコン太陽電池構造の作製が可能であることが明らかとなった。

本論文において、室温大気中におけるレーザードーピングは結晶シリコン太陽電池作製プロセスの低温化ならびに低コスト高効率結晶シリコン太陽電池作製に向けた有望な技術であることが示された。

## (論文審査結果の要旨)

太陽電池用結晶シリコンの不足やコスト削減といった面から、太陽電池の薄型化やプロセスの低温化が求められている。従来の作製方法では不純物ドーピングに 1000° C 程度の高温プロセスが必要であり、基板への熱ストレスが発生し、歩留まりの低下が起こる。本研究ではドーピングにレーザーを用いることを提案している。レーザーを用いる利点として、室温、大気中で太陽電池の作製が可能、また局所部分のみにマスクなしで正確にドーピングを行えるため、フォトリソグラフィを用いずに微細構造を有する高効率太陽電池を作製可能、などが挙げられる。得られた成果は以下の通りである。

①レーザードーピング機構の解明

レーザー照射条件による、ドーピング不純物の分布、照射部の変化について検討した。照射条件に依存したドーピング深さが確認され、0.5  $\mu\text{m}$ ~3  $\mu\text{m}$  以上の広範囲でのドーピング深さの制御に成功した。さらに得られた結果のシミュレーション解析から、シリコンの融点以上で不純物がドーピングされていることがわかり、従来の固相熱拡散とは異なる機構で不純物がドーピングされることが明らかとなった。

②レーザードーピングにおけるドーパント膜の制御

レーザードーピングにおけるドーパント膜に着目し、ドーパント膜の反射の影響について検討するため、スパッタ法によるドーパント膜の形成を提案している。この方法により膜厚を制御することで、特定の波長における反射率の制御が可能であることを確認した。さらにこの方法で作製されたドーパント膜に対してレーザー照射を行い、反射率の差により基板に入射するレーザーエネルギーが異なることを実験的に明らかにした。

③レーザードーピングによる結晶シリコン太陽電池のpn接合形成

レーザーでドーピングされた層を太陽電池のエミッター層とし、太陽電池の電氣的諸特性について検討した。室温大気中においてレーザードーピングにより形成されたpn接合を有する太陽電池は、従来方法により作製されたpn接合を有する太陽電池と同程度の特性を得ることを確認した。

④レーザードーピングによるセレクトィブエミッター型太陽電池の作製

結晶シリコン太陽電池の高効率構造であるセレクトィブエミッター構造にレーザードーピングを応用した。レーザードーピングにより形成されたセレクトィブエミッターを有する太陽電池は、セレクトィブエミッターを有しない太陽電池に比べ、直列抵抗が低減され、曲線因子が改善できることを確認した。これらの結果より、室温大気中でレーザードーピングによる高効率結晶シリコン太陽電池構造の作製が可能であることが明らかとなった。

以上のように、本論文において、室温大気中におけるレーザードーピングは結晶シリコン太陽電池作製プロセスの低温化ならびに次世代の低コスト高効率結晶シリコン太陽電池作製に向けた有望な技術であることが示された。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、クリーンエネルギー源として期待されている結晶系シリコン太陽電池の大量生産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。