

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	イオン注入とスパッタによるアモルファスシリコンを用いた高効率シリコン太陽電池用パッシベーションコンタクト
Title(English)	Passivating contacts for high efficiency silicon solar cells fabricated by using ion implantation and sputtered amorphous silicon
著者(和文)	山口昇
Author(English)	Noboru Yamaguchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第348号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:宮島 晋介,中川 茂樹,山田 明,岩崎 孝之,田口 大
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第348号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	山口 昇	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	宮島 晋介	准教授	田口 大	准教授
	審査員	中川 茂樹	教授		
		山田 明	教授		
岩崎 孝之		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Passivating contacts for high efficiency silicon solar cells fabricated by using ion implantation and sputtered amorphous silicon (イオン注入とスパッタによるアモルファスシリコンを用いて形成した高効率シリコン太陽電池用パッシベーションコンタクト)」と題し、英文 8 章より構成されている。

第 1 章「Overview and objective of this study」では、本研究の背景と目的および本論文の構成を説明している。地球温暖化対策としての再生可能エネルギーの重要性、太陽光発電の現状および太陽電池として最も重要な結晶シリコン太陽電池の種類と特徴について説明したのち、本論文の目的を述べている。

第 2 章「Fundamentals of TOPCon solar cells, ion implantation and sputtering techniques, and characterization methods」では、太陽電池の動作原理を説明したのち、結晶シリコン中のキャリア再結合、シリコン太陽電池の現状、Tunnel oxide passivated contact (TOPCon) 型およびバックコンタクト型太陽電池、対向ターゲットスパッタ (FTS)、イオン注入、本研究で用いた各種評価技術の概略をまとめている。また、バックコンタクト型 TOPCon 太陽電池の製造コスト低減につながる新しい技術の提案を行っている。

第 3 章「Fundamental characterization of solar cells fabricated by using the PIII system」では、Plasma Immersion Ion Implantation (PIII) により結晶シリコン中にイオン注入を行った結果について述べている。適切な加速エネルギーとドーズ量を選択することにより、欠陥の導入を抑制できると述べている。また、メカニカルハードマスクを使用することにより、バックコンタクト型太陽電池へ応用可能なサイズでのパターンングが可能であると述べている。さらに、PIII 技術を従来型の太陽電池構造である PERC 太陽電池の選択エミッタ構造に適用して太陽電池を作製し、メカニカルハードマスクを使用した PIII によるイオン注入がシリコン太陽電池の製造に適用可能であると述べている。

第 4 章「Characterization of passivation quality in TOPCon structure fabricated by using the PIII」では、LPCVD 法を用いて形成したアモルファスシリコン (i-a-Si) を用いた TOPCon 構造の形成について述べている。PIII によるイオン注入により形成した TOPCon 構造は良好な電気的特性、表面パッシベーション特性を示し、従来の手法であるビームラインによるイオン注入法によるものと同程度の特性を有する TOPCon 構造を形成できることを明らかにしたと述べている。

第 5 章「Characterization of TOPCon solar cells fabricated by using the PIII」では、4 章で説明した TOPCon 構造を用いた太陽電池の作製およびその特性について述べている。n 型シリコン基板を用いた TOPCon 型太陽電池においては、表面テクスチャ構造を持たない太陽電池にも関わらず変換効率 20% 程度が得られ、この値は従来法であるビームラインによるイオン注入を用いて作製した太陽電池の変換効率とほぼ同等であり、PIII によるイオン注入は n 型シリコン基板を用いたシリコン太陽電池の形成に有効な手法であると述べている。

第 6 章「Passivation quality of TOPCon structure fabricated by using FTS and PIII」では、爆発性が強い SiH₄ ガスを使用しない FTS 法により i-a-Si 層の形成を行い、PIII によりイオン注入を行うことで TOPCon 構造を形成した結果について述べている。表面パッシベーション効果の高い TOPCon 構造の形成のためには、水素の導入を行わずに i-a-Si を形成することが重要であると述べている。

第 7 章「Enhancement of passivation quality of TOPCon structure fabricated by using FTS and PIII」では、6 章で説明した構造を有する TOPCon 構造において、PIII によるイオン注入のドーズ量およびイオン注入後の熱処理温度の最適化を行った結果、最大で 10 ms を超える実効少数キャリアライフタイムが得られたと述べている。また、数 mΩ・cm² 程度の小さなコンタクト抵抗が実現されたことも指摘している。これは従来法である Low Pressure Chemical Vapor Deposition (LPCVD) や Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) 法を用いて形成した TOPCon 構造と同等の結果であり、爆発性の強い SiH₄ ガスを使用しない TOPCon 型太陽電池形成のための基礎技術が確立されたと結論している。

第 8 章「Conclusions」では、本研究で達成された成果をまとめ、さらなる改善に向けた技術課題とその解決策を述べている。

以上を要するに、本論文は、PIII によるイオン注入が TOPCon 太陽電池形成時のドーピング技術として有望であること、FTS による i-a-Si 形成と PIII によるイオン注入の組み合わせが良好な TOPCon 構造の形成に有望であることを明らかにし、爆発性の強い SiH₄ ガスを使用しない高効率シリコン太陽電池作製プロセスの可能性を示したもので、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、我々は本論文が博士 (工学) の学位論文として十分に価値のあるものと認める。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。