

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	シリコンヘテロ接合太陽電池応用に向けたSiH ₄ -freeプロセスとしてのスパッタ法に関する研究
Title(English)	Study of sputtering technology as a SiH ₄ -free process for silicon heterojunction solar cells
著者(和文)	白取優大
Author(English)	Yuta Shiratori
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11813号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:宮島 晋介,伊原 学,中川 茂樹,間中 孝彰,山田 明,大平 圭介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11813号, Conferred date:2022/3/26, 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	白取優大	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	宮島晋介	准教授	山田明	教授
	審査員	伊原学	教授	大平圭介	学外審査員 北陸先端大
		中川茂樹	教授		
		間中孝彰	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Study of sputtering technology as a SiH_4 -free process for silicon heterojunction solar cells (シリコンヘテロ接合太陽電池応用に向けた SiH_4 -free プロセスとしてのスパッタ法に関する研究)」と題し、英文 7 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が述べられている。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「Basics of silicon heterojunction solar cells, sputtering technique, and characterization techniques」では、太陽電池の動作原理を説明したのち、結晶シリコン中でのキャリア再結合、シリコンヘテロ接合太陽電池の現状、シリコンの表面パッシベーション技術、スパッタ法の基礎、本研究で用いた各種評価技術の基礎をまとめている。また、シリコンヘテロ接合太陽電池の SiH_4 フリー形成技術については様々な手法が提案されているが、最も重要な i 型アモルファスシリコン (i -a-Si:H) の形成技術については有効な技術がまだないことを指摘している。

第 3 章「Deposition of i -a-Si:H passivation layers by low damage sputtering technique」では、シリコンヘテロ接合太陽電池の表面パッシベーション層として重要な i -a-Si:H のスパッタ法による形成について述べている。低ダメージスパッタ技術である対向ターゲットスパッタ法 (FTS 法) により良質な i -a-Si:H パッシベーション層の形成が可能であること、RF・DC パワールの重畳技術と 2 段階製膜技術を適用することにより、高品質な i -a-Si:H パッシベーション層を高速で形成できることを明らかにしたと述べている。さらに、5 nm 程度の非常に薄い i -a-Si:H パッシベーション膜において、既存技術であるプラズマ CVD 法と同程度のパッシベーション効果を確認したことから、FTS 法により形成した i -a-Si:H はシリコンヘテロ接合太陽電池のパッシベーション層に適用可能であると結論している。

第 4 章「Deposition and characterization of sputtered doped Si thin films」では、シリコンヘテロ接合太陽電池のドーピング層の形成について述べている。RF マグネトロンスパッタ法による p 型 a-Si:H (p -a-Si:H) および p 型微結晶シリコン (p - μc -Si:H) の形成を検討し、高濃度にホウ素を添加したシリコンターゲットを用いることにより、十分に低抵抗な膜の形成が可能であると述べている。また、 n 型 a-Si:H (n -a-Si:H) については、低抵抗な n 型単結晶シリコンターゲットを用いることにより、従来報告されているよりも 1 桁程度高い 10^3 S/cm 台の導電率を達成したと述べている。ただし、 n -a-Si:H については、下地層へのスパッタダメージの更なる抑制が太陽電池応用のために重要であることも同時に指摘している。

第 5 章「Fabrication of silicon heterojunction solar cells with sputtered silicon-based thin films」では、3 章及び 4 章で形成に成功した良質な i -a-Si:H および p -a-Si:H を用いたシリコンヘテロ接合太陽電池の特性について述べている。 i -a-Si:H 層のみを FTS 法で形成 (ドーピング層はプラズマ CVD 法で形成) した太陽電池においては、変換効率 17.4% が達成され、FTS 法による i -a-Si:H の可能性を示す結果であると述べている。ただし、開放電圧はパッシベーション層をプラズマ CVD 法で形成した太陽電池よりもわずかに低いことから、FTS 法による i -a-Si:H に対して最適化された p 型層を用いる必要があることを明らかにしたと述べている。また、 p -a-Si:H および i -a-Si:H の両方をスパッタ法で形成した太陽電池では変換効率 14.6% が得られたと述べている。効率を制限しているのは主に p 型層製膜時のスパッタダメージであり、ドーピング層の形成にも低ダメージスパッタ法を適用することが重要であると指摘している。

第 6 章「Proposal of new n -type layer for all SiH_4 -free process of SHJ solar cells」では、 n -a-Si:H を代替する新しい n 型層として、ナノ結晶 GaN について検討している。RF マグネトロンスパッタ法により形成したナノ結晶 GaN の特性を詳細に評価し、デバイスシミュレーションによる解析を組み合わせることにより、電子濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上のナノ結晶 GaN が n 型層として有望であることが明らかになったと述べている。

第 7 章「General 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、FTS 法が良質なシリコンヘテロ接合太陽電池用 i -a-Si:H パッシベーション膜の形成技術として有望であること、スパッタ法により低抵抗 p 型および n 型 a-Si:H が形成可能であること、スパッタ法によりシリコンヘテロ接合太陽電池が形成可能なことを明らかにし、さらに新たな n 型層材料であるナノ結晶 GaN の可能性について議論したもので、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、東工大リサーチポジトリ (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。