

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SiH4-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 SiH4-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	
論文審査 審査員	主査	氏名	職名	氏名	職名
	伊原学	宮島晋介	准教授	山田明	教授
	審査員	中川茂樹	教授	大平圭介	学外審査員 北陸先端大
		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 SiH₄-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SiH₄-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バーション技術、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SiH₄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いまだに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バ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パッシバーション層の形成が可能であること、RF・DCパワーの重畳技術と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パッシバ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パッシバ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バ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バーション層に応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マグネットロンスパッタ法によるp型a-SiH(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-SiH(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10³S/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、開放電圧はパッシバ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 SiH₄-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マグネッ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5×10¹⁸cm⁻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パッシバ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。