太陽電池への応用に向けた検討

1.はじめに

スパッタリング法にて薄膜作製中に原子状水素 を加えることで原子状水素が効果的に表面を覆い、 多結晶シリコン薄膜を作製できることがこれまで の研究によりわかっている。さらに、原子状水素 は成長途中で発生するダングリングボンドを終端 する働きを持つ。これらの事実をもとに、高品質 シリコン薄膜の低コスト作製を目指し、挑戦を続 けている。

薄膜の高品質化を図る方法には原子状水素による水素化処理が知られており、堆積表面から300nmまでに存在するダングリングボンドには効果があるもののそれより深い部分には効果が薄いことがわかっている。そこで、成膜雰囲気中に原子状水素を送り込むことで水素化処理の効果を膜全体に与え、基板の加熱をしない状態においても結晶粒を持つシリコン薄膜が得られた。今回はp型・n型シリコンターゲットを用いて成膜した薄膜の結晶性について検討を行った。また、pn接合太陽電池を作製し、その特性評価も行った。

2.目的

昨年度まではドープされていないシリコンター ゲットを用いて成膜ガス圧、ガス流量、ワイヤー 加熱温度、投入電力の各依存性についての検討を 行ってきた。そこで、今回はドープ済みシリコン ターゲットを用いて成膜し、成膜ガス圧、水素流 量の各依存性について検討を行う。また、pn 接合 についても昨年度まではシリコンウエハ上に成膜 することで作製してきたが、今回は金属電極を蒸 着させたガラス基板上にp型・n型ともに成膜し、 整流特性・太陽電池特性について評価を行う。 日大生産工(院) ○駒崎 洋文 日大生産工 清水 耕作

3.原理

薄膜作製には「原子状水素供給スパッタリング 法」を用いた。スパッタリング法のチャンバーと Hot-wire CVD 法のチャンバーを接続し、 Hot-wire チャンバーで水素分子を 1100℃のタン グステンワイヤーによって熱分解させることで原 子状水素を生成する。この原子状水素をスパッタ リング法により成膜を行っている雰囲気中に送り 込みながら薄膜作成を行う。図1に概念的な成膜 プロセスを示す。



4.実験・評価方法

(1)作製条件 投入電力…150W ワイヤー温度…1100℃ 基板…無アルカリガラス Ar 流量…15sccm
(2)評価方法 膜厚・堆積レート…光学干渉膜厚測定器 結晶性…ラマン分光器 光学バンドギャップ…可視紫外分光器

Fabrication of p-type and n-type Silicon Thin Film by Sputtering Method with Atomic Hydrogen and Evaluation for Solar Cell

Hirofumi KOMAZAKI and Kousaku SHIMIZU

(3)pn 接合の作製

pn 接合に光を当てると光電流が発生するが、pn 接合では空乏層が薄く、吸収できる光の量が少な い。そこで、p型・n型薄膜の間にキャリアが少 ないノンドープのシリコン薄膜(i層)を挟むことで 空乏層を広げ、吸収できる光の量を多くした「pin 構造」のデバイスと通常の pn 接合を作製し、特 性を比較・検討した。図2・図3にデバイス構造 を示す。



図2pn 接合のデバイス構造



図3pin構造のデバイス構造

5.結果

(1)成膜ガス圧依存性

図4・図5、及び図6はAr・H2流量を15sccm 一定とし、成膜ガス圧を変化させて300nm 堆積 した時のラマン分光特性、堆積レート、光学バン ドギャップである。ラマン特性では成膜ガス圧を 上げるほどピークが480cm⁻¹から520cm⁻¹方向へ シフトし、作製した膜の結晶性が向上しているこ とがわかる。その他、結晶性が高いほど堆積レー トは低下していき、光学バンドギャップは結晶性 向上とともに非晶質の値に近くなった。

ラマン特性では非晶質シリコンのピークである 480cm⁻¹のところにも反応が出ていること、光学 バンドギャップも結晶性向上とともに非晶質の値 である 1.8eV に近づくことから、作製した膜には 結晶粒と非晶質シリコンが混在しており、光学バ ンドギャップ評価で非晶質シリコンの特性が強く 現れたと考えられる。



図4 成膜ガス圧に対するラマン分光特性



図6 成膜ガス圧に対する光学バンドギャップ

(2)pn 接合の作製と評価

図8・図9はpn接合の、図10・図11はpin構造における整流特性・太陽電池特性のグラフ、表1は整流比と太陽電池の各特性値一覧である。整流特性のグラフでは両者とも順方向と逆方向に差ができており、今回作成した膜は整流特性が得られていることがわかる。また、太陽電池特性についても高いとはいえないものの特性値を得られたので今回の方法で太陽電池を作製できることが示された。



図 9 pn 接合の太陽電池特性



	pn 接合	pin 構造
整流比(@1.9V)	7.93×10^{1}	9.08×10^{2}
開放端電圧 [V]	0.140	0.295
短絡電流密度[A/cm ²]	4.58×10^{-6}	2.43×10^{-6}
変換効率 [%]	3.57×10^{-6}	1.69×10^{-4}
フィルファクタ	2.63×10^{-1}	2.35×10^{-1}

p層とn層の間にi層を堆積させた場合と堆積 させない場合で各特性値の変化を比較した。その 結果、i層を堆積させると整流比・開放端電圧・変 換効率はi層を挟まない場合より向上した。

Dwer

6.まとめ

原子状水素供給スパッタリング法により、シリ コン薄膜の作製・結晶性の評価とpn 接合・pin 構 造の作製・各特性の評価を行った。ノンドープの ときと同様、成膜ガス圧を上げるほど結晶性は向 上したが、堆積レートは低下した。光学バンドギ ャップは非晶質の値を示し、ラマン特性でも非晶 質の部分に反応が出ていることから、作製された 膜は結晶粒より非晶質シリコンの割合が多い膜に なったと考えられる。このため、結晶としての特 性を示すまでには至らなかった。

pn 接合・pin 構造では図 8~11 より、両者とも 整流特性がとれており、p型半導体・n型半導体 の作り分けができていることがわかる。よって、 今回の方法により p型・n型シリコン薄膜を堆積 することで太陽電池の作製が可能であることがわ かった。また、今回 p型・n型シリコン薄膜の間 に i 層を挟んだ pin 構造を作製し、各特性の比較 を行った。その結果、変換効率は pn 接合より pin 構造の方が高いという結果を得られたが、特性と しては決して高くはない。これは堆積した膜中の ドーピング濃度が低く、p型・n型半導体として の性質がうまく表れていないことのほか、膜の欠 陥密度が高いことも原因と考えている。このため、 デバイスとして用いるにはさらなる改善が必要で ある。

今後は欠陥密度を減らすべく、ドープ濃度を高 めたシリコンターゲットの使用や水素の供給方法 について装置の改良も含めた検討を行っていく。 また、結晶粒径を調査するため SEM による測定 も行う予定である。

参考文献

[1]駒崎洋文、清水耕作「原子状水素供給スパッタ法によるシリコン薄膜作成条件の検討」第9回Cat-CVD研究会講演予稿集(2012)
[2]浅野英輝、清水耕作:「原子状水素供給スパッタリング法によるシリコン薄膜の高性能化」日本大学生産工学部学術講演会講演概要(2011)
[3] 浦岡行治編清水耕作「低温ポリシリコン 薄膜トランジスタの開発」シーエムシー出版(2007)第6章
[4]松波弘之、尾江邦重著:「シリーズ現代工学入門半導体材料とデバイス」岩波書店(2005)