

c-Si 界面の水素クリーニングにおけるホットワイヤー温度依存性

日大生産工 (院) ○染谷 優太 日大生産工 清水 耕作

1 背景

高性能な太陽電池の製作を目指している。現状、当研究室では結晶-非晶質界面の欠陥や結晶表面の不純物が性能を下げる原因となっている。ここで結晶シリコンに原子状水素の供給を行い、結晶シリコンの界面欠陥終端を行う。これにより結晶-非晶質界面の欠陥を減少させ、高効率化を目指している。

2 目的

原子状水素を成膜前の結晶シリコンに供給し、水素クリーニングを行った。その後、各作製条件の素子作製を行い、ダイオード特性から水素クリーニング効果を検討した。

3 実験方法

3.1 水素クリーニング

図1に水素クリーニングの概念図を示す。成膜前にホットワイヤー室で結晶シリコンの水素クリーニングを行い、界面欠陥を減少させることによってリーク電流を抑えることができると考えている。

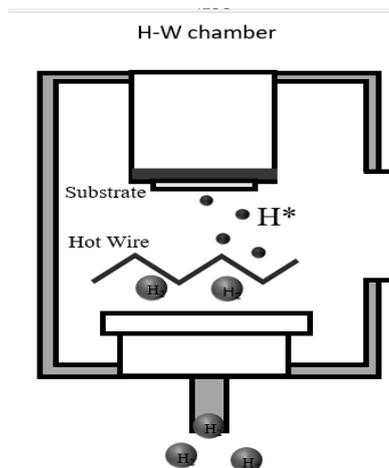


図1 水素クリーニング原理図

3.2 原子状水素供給スパッタ法

図2に成膜装置の概念図を示す。ホットワイヤー室に水素を供給し、800~1000°Cで加熱されたホットワイヤーで原子状水素 H^* を生成し、スパッタ雰囲気中に供給しながら成膜を行うことにより、ダングリングボンドを減少させる。これにより高性能な非晶質シリコン薄膜を得ることができる。

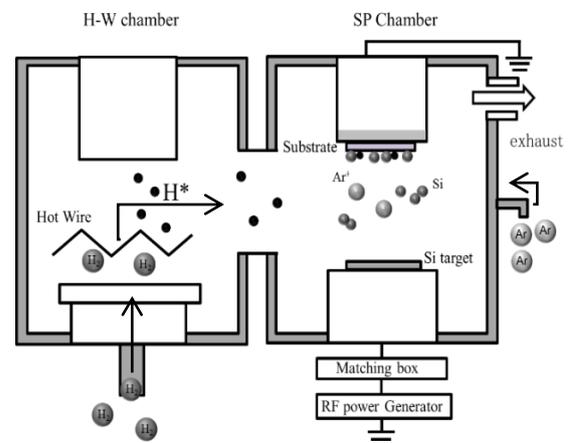


図2 原子状水素供給スパッタ法概念図

3.3 素子構造

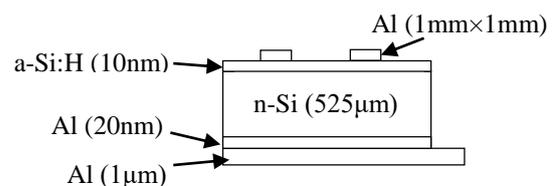
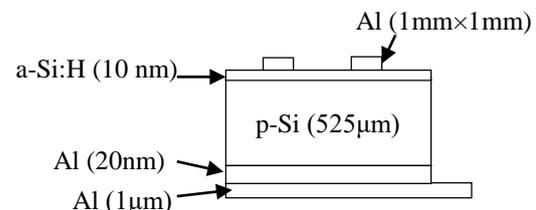


図3 (a) i-n 素子構造



(b) i-p 素子構造

Evaluation of the Cleaning Effect of the Crystalline Silicon Surface by the Atomic Hydrogen Generated by the Hot Wire
Yuta SOMEYA and Kousaku SHIMIZU

図 3(a)、(b)に今回測定に用いた素子構造を示す。用いた基板は、CZ 法により作製されたシリコンウエハを使用し、抵抗率は p 型 $2.44 \sim 3.19 \Omega \text{ cm}$ 、n 型 $3.86 \sim 4.85 \Omega \text{ cm}$ で結晶面 (100)を用いた。次に、アモルファスシリコンの成膜条件および性能を表 1 に示す。また、水素クリーニング条件を表 2 に示す。

表 1 成膜条件・性能

		a-Si:H
Gas flow [sccm]	Ar	20
	H ₂	0.07
Power [W]	50	
Growth pressure [Pa]	5	
Hot wire temperature [°C]	800	
S-T distance [mm]	20	
Substrate temperature [°C]	300	
Band gap [eV]	1.83	
Dark conductivity [S/cm]	3.72×10^{-11}	
Illuminated conductivity[S/cm]	2.64×10^{-7}	

表 2 水素クリーニング条件

Gas flow [sccm]	Ar	40
	H ₂	1.5
Growth pressure [Pa]	10	
Hot wire temperature [°C]	800~1000	

4 結果

4.1 ダイオード特性

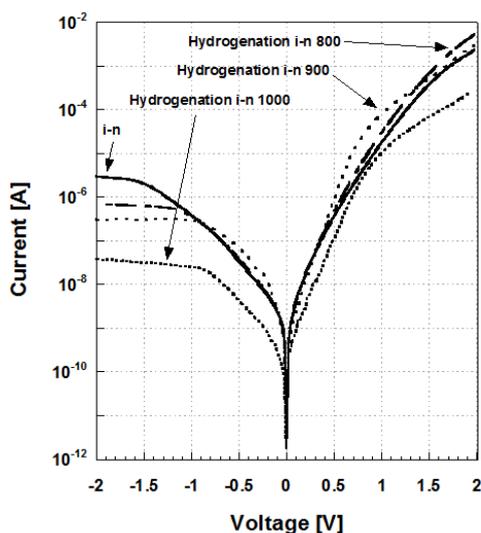


図 4 i-n ダイオード特性

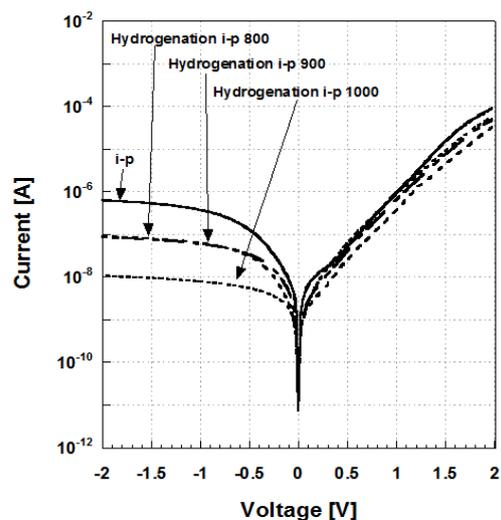


図 5 i-p ダイオード特性

i-n、i-p それぞれの水素クリーニング後に成膜した場合と未処理で成膜した場合の I-V 測定結果を図 4、図 5 に示す。水素クリーニングを行うことによって未処理の i-p、i-n の時より OFF 電流が減少した。またホットワイヤー温度を $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ まで変化させることでリーク電流がさらに抑えられることがわかった。

図 4 よりリーク電流は未処理の時で $2.90 \times 10^{-6} \text{ A}$ 、 800°C で $6.83 \times 10^{-7} \text{ A}$ 、 900°C で $3.01 \times 10^{-7} \text{ A}$ 、 1000°C で $3.86 \times 10^{-8} \text{ A}$ であった。これより成膜前に結晶シリコンを水素クリーニングすることによって性能が向上することがわかる。

また同様に、図 5 でも未処理の時 $6.22 \times 10^{-7} \text{ A}$ 、 800°C で $1.54 \times 10^{-7} \text{ A}$ 、 900°C で $8.92 \times 10^{-8} \text{ A}$ 、 1000°C で $1.06 \times 10^{-8} \text{ A}$ であった。以上、いずれの場合においても水素クリーニングによってリーク電流を抑制する効果を確認した。

図 6 はそれぞれの OFF 電流値と水素クリーニング時のホットワイヤー温度との関係を示す。

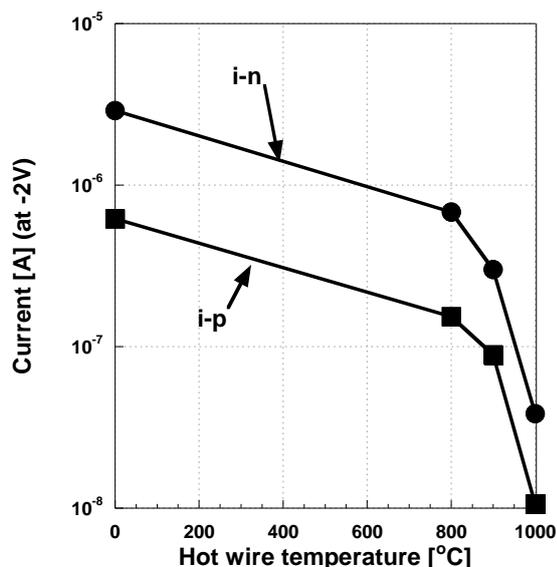


図6 HW 温度と OFF 電流の関係

図6より i-p、i-n どちらの場合においても未処理の状態より水素クリーニング時のホットワイヤー温度を高くして行ったときの方が、OFF 電流は小さくなることがわかった。また、未処理とホットワイヤー温度 1000°Cを比較すると、約2桁の OFF 電流が下がった。

図7は ON 電流値と水素クリーニング時のホットワイヤー温度との関係を示す。

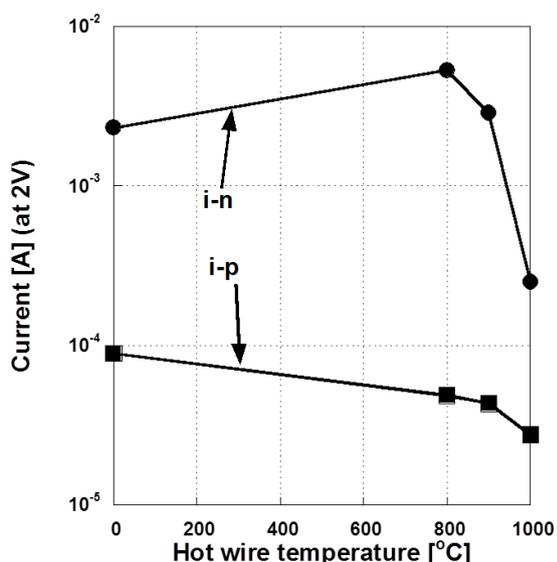


図7 HW 温度と ON 電流の関係

図7よりホットワイヤー温度が 1000°Cの時、i-n、i-p の ON 電流が減少していること

がわかる。ホットワイヤー温度を高くすると結晶-非晶質間で抵抗が生じることがわかった。

5 考察

5.1 水素クリーニングの影響

成膜前に結晶シリコンを水素クリーニングすることによって界面の欠陥が減少し、それにより i-n、i-p の OFF 電流が減少したと考えられる。またホットワイヤー温度を 800~1000°C の範囲で変化させ原子状水素が与えるエネルギーの大きさの違いによって性能が変化することがわかった。これは温度を高くすることでより欠陥を減少させられていると考えられる。

しかし、水素クリーニング時のホットワイヤー温度を高くすると ON 電流が減少した。原子状水素のもつエネルギーが大きくなったことで結晶表面がエッチングされ結晶と非晶質間の結合に隙間が生じ、それが抵抗成分となったため、ON 電流が下がったと考えられる。

ホットワイヤー温度を高くすると、OFF 電流を抑えることができるが、同時に ON 電流まで減少する。これに対してホットワイヤー温度を小さくすると原子状水素の生成確率が減少し、エネルギーも小さくなるため、界面欠陥の終端、エッチング効果がどちらも小さくなると考えられる。また、原子状水素が多く生成されると素子に与える影響も大きくなるため、流量を減らす方がよいと考えられる。以上からホットワイヤー温度を下げる、水素クリーニング時間を短くする、流量を減らす必要があると考えられる。

6 まとめ

成膜前に水素クリーニングを行うことにより OFF 電流が減少することがわかった。結晶界面の欠陥を減少させた後、その上にアモル

ファス i 層を作製することで性能が向上する。
しかし、水素クリーニングにはエッチング効果もあるため、エッチングさせずに界面を良くする条件の検討を行う。

今後は水素クリーニングの時間依存性とホットワイヤー温度、流量依存性の関係について考え、性能の向上を目指したい。

参考文献

- 1) 岩崎真宝、CAT-CVD 法を用いたヘテロジ
ヤンクシオン型太陽電池、修士論文、2016
- 2) S.M.ジュー、Semiconductor Devices Physics
and Technology, 産業図書、(2004)ISBN978-
4-7828-5550-8, 第 2 章、第 4 章