

変調アドミタンス法を用いた結晶/非結晶シリコンヘテロ接合の特性評価

日大生産工(院) ○岩崎 真宝 日大生産工(院) 酒井 作周
日大生産工 清水 耕作

1.背景

ヘテロ接合太陽電池の重要な特性の1つとして、ジャンクション特性改善に注目している。MIS 界面の界面準位の評価に用いていた変調アドミタンス法を結晶/非結晶のヘテロ接合評価に用いたいと考えている。そして、低コストで高性能有機物・無機物のヘテロ接合の高性能な太陽電池の作製を目指したい。

2.目的

成膜直後に水素化、水素化後アニール、アニール後水素化と各作製条件の素子を作成し、ダイオード特性及び変調アドミタンス法によって界面の欠陥の評価・検討を行い、より安定した界面構造の作製を目的とする。

3.実験方法

3.1 原子状水素供給スパッタ法

図1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、1100℃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、ダンダ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。

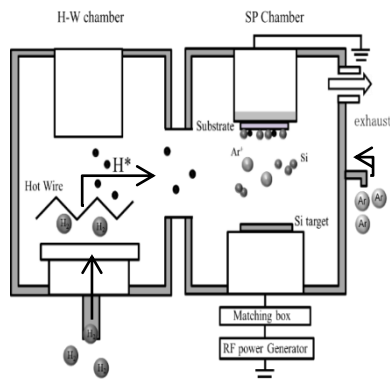


図1 原子状水素供給スパッタ法概念図

3.2 変調アドミタンス法

変調アドミタンス法はa-Si/c-Si構造に対して交流電圧を印加し、界面付近のフェルミ準位を上下させることで界面準位での導電現象を解析し、伝導帯、価電子帯付近の界面準位の評価を行う。空乏層容量に対して界面準位が並列に接続されているというモデルを採用する。

3.3 素子構造

図2に今回測定に用いた素子構造を示す。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、アニールの条件を表2、水素化の条件を表3に示す。

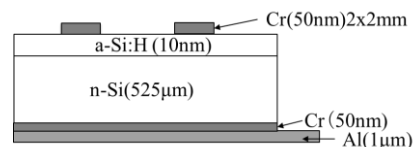


図2 素子構造
表1 成膜条件

		a-Si:H
Gas flow [sccm]	Ar	0.50
	H ₂	15.0
Power [W]		150
Growth pressure [Pa]		12
H-W temperature [°C]		1100
Substrate temperature [°C]		250

表2 アニール条件

Ar [sccm]	3.0
Gas pressure [Pa]	10
Substrate temperature [°C]	250
Time [min]	60

表3 水素化

Gas flow [sccm]	Ar	0.50
	H ₂	15.0
Gas pressure [Pa]		12
H-W temperature [°C]		1100
Substrate temperature [°C]		250
Time [min]		10

4.結果

4.1 ダイオード特性

成膜後未処理と成膜直後に水素化、水素化後アニール、アニール後水素化のI-V測定結果を図3に示す。

ダイオードの性能係数: n は、ショックレーのダイオード方程式より

$$I = I_0 \left(\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right)$$

上記の式で表せる。n の値は、小さいほど理想に

近いことを意味する。

図 3 より整流比、OFF 電流、n の値を表 4 に示

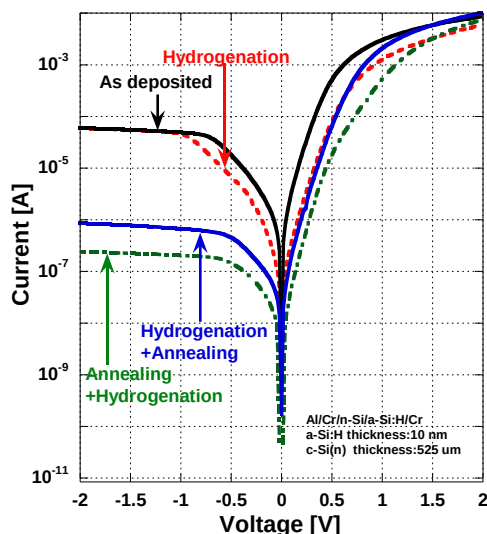


図 1 ダイオード特性

す。水素化により、整流比と OFF 電流には変化がなく、性能係数は $n=3.71$ から 4.85 増加した。

水素化後にアニールを行うと、水素化に比べて整流比は 2 桁程度高くなり OFF 電流は 1 桁低くなった。性能係数は $n=4.85$ から 3.15 へと小さくなった。

アニール後に水素化を行うことにより、水素化後アニールに比べて、整流比と n の値は変化がなく、OFF 電流が 1 桁減少した。

4.2 界面特性

界面評価を行うため各条件下で変調アドミタンス法により測定を行った。表 4 に示す。

未処理と水素化を比較すると水素化により界面準位密度 $9.56 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 増加し、界面準位深さは 15 meV 浅くなった。

水素化と水素化後アニールを比較するとアニールにより界面準位密度 $11.3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 減少し、界面準位深さは 12 meV 深くなった。

アニール後水素化と水素化後アニールを比較するとアニール後水素化は界面準位密度 $0.63 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 減少し、界面準位深さは 2 meV 深くなった。

5.考察

水素化を行うことにより、未処理に比べて性能係数が大きくなりダイオード特性が悪くなった。界面準位密度は増加し界面準位深さは浅くなった。膜中の欠陥が多いため水素が侵入しても欠陥を終端の効果を得られていないと考えられる。

水素化後にアニールを行うことにより、水素化と比較するとダイオード特性は向上し、界面準位密度は低下し界面準位深さは深くなった。アニールにより構造が安定化されて欠陥が減少したと考えられる。

次にアニール後水素化と水素化後アニールを比較すると、水素化後アニールに比べて、OFF 電流は低下し、界面準位密度は低下し界面準位深さはほとんど変化しなかった。膜中の欠陥が多いため水素が侵入しても欠陥を終端の効果はほとんど得られないが、アニールを先に行うことにより構造が安定化されてバルク中の欠陥が減少し、その後水素化を行うことで欠陥を終端しさらに欠陥が減少したと考えられる。

6.まとめ

シリコン系非結晶-結晶のダイオード特性より整流性、OFF 電流、Quality factor を評価し、アドミタンス法を用いて界面準位の評価を行った。

水素化を行うことにより、未処理と比較すると界面の欠陥が増加することがわかった。

水素化後アニールを行うことにより、水素化に比べて界面及びバルクの欠陥が減少することがわかった。

アニール後水素化を行うことにより、水素化後アニールと比較すると、バルクの欠陥及び界面の欠陥が減少することがわかった。

以上のことから、アニール後水素化を行うことでダイオード特性と界面特性が向上されることがわかった。よって水素化及びアニールの順番や条件が重要である。

今後は、アニールの時間や温度依存性、水素化の時間や H-W の温度依存性を評価し高品質なヘテロ接合太陽電池の作製、評価につなげたい。

参考文献

[1] Liu Jian, Huang Shihua., and He Lü, Journal of Semiconductors

Vol.36,No.4044010-1-044010-8(April 2015)

表 4 ダイオード及び界面の特性

	Rectification Ratio	OFF Current [A]	Quality factor n	Interface trap density [$\text{cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$]	Interface trap depth [meV]
As deposited	10^2	10^{-4}	3.71	5.44×10^{11}	115
Hydrogenation	10^2	10^{-4}	4.85	1.50×10^{12}	100
Annealing after Hydrogenation	10^4	10^{-6}	3.15	3.70×10^{11}	162
Hydrogenation after Annealing	10^4	10^{-7}	3.19	3.07×10^{11}	160