

「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」  
平成 22 年度採択研究代表者

H26 年度 実績報告書
-----------------

松村 英樹

国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学  
特任教授

「Cat-CVD など新手法による太陽電池高効率化」

## § 1. 研究実施体制

### (1) 北陸先端科学技術大学院大学(JAIST)グループ

- ① 研究代表者: 松村 英樹 (北陸先端科学技術大学院大学、特任教授)
- ② 研究項目:
  - ・Cat-CVD (Catalytic Chemical Vapor Deposition=触媒化学気相堆積) 法による結晶シリコン (c-Si) の表面再結合速度(SRV)を抑制する表面保護膜形成技術の確立。
  - ・Cat-CVD 装置内で触媒生成された活性種を用いた低温不純物ドーピング(Cat-doping)技術の確立。

### (2) 静岡大学グループ

- ① 研究代表者: 梅本 宏信 (静岡大学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目:
  - ・触媒生成された活性種の解析による Cat-doping におけるドーピング機構の解明。

## § 2. 研究実施の概要

すでに昨年度までに、1) Cat-CVD 法により、窒化シリコン(SiNx)と非晶質シリコン(a-Si)の積層膜をc-Si表面に堆積すると、バルクでのキャリア再結合が無いと仮定したSRVの最大見積もり値、 $SRV_{max}$ が1.5 cm/s以下と、世界最高レベルの表面再結合抑制ができること、2) リン(P)原子を80°Cの低温でCat-dopingしたc-Si表面に、基板温度100°Cの低温でSiNx膜を堆積、それを350°Cで熱処理すると、 $SRV_{max} < 2$  cm/sと、透明なSiNx単層としては世界最高レベルの表面再結合抑制ができること、を見出し、さらに、3) ホスフィン(PH<sub>3</sub>)を加熱触媒体に接触させるとPと水素(H)が生まれるなど、Cat-dopingの機構の解明につながる知見を得ていた。

今年度は、まず、Cat-CVD法による膜堆積の特長を、従来からの低温薄膜堆積法であるプラズマCVD(PECVD)法による膜などと比較し、超高分解能・走査透過電子顕微鏡(STEM)を用いて原子構造的に調べた(図1)。Cat-CVD法により堆積されたa-Siとc-Siの界面、PECVD法によるa-Siとc-Siの界面、界面準位密度 $10^{10}$  eV<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup>のゲート酸化膜とc-Siの界面を比較したところ、Cat-CVD法により作られる界面の遷移層は、その幅がPECVD a-Si/c-Si界面のそれに較べ約1/3と急峻で、ゲート酸化膜界面と較

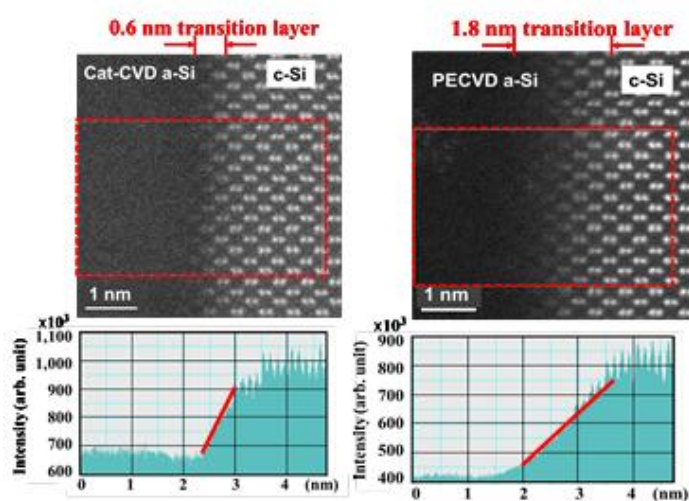


図1 種々の界面のSTEM像の比較

下図はSiの結晶性の高さの場所依存性を示す

べても急峻であり、界面におけるc-Si原子の乱れの少ない、優れた界面であることが示された[1]。

ところで、SiNx単層膜に較べ、SiNx/a-Si積層膜では、a-Si層が太陽光を吸収することの影響が危惧される。そこで、SiNx/a-Si/c-Si構造の試料に、a-Si層で吸収されない波長の光とa-Si層で吸収される波長の光、それぞれを照射し、その時にc-Si内に生じるキャリア密度を調べることで、a-Si層内で生成するキャリアの振る舞いを調べた。その結果、Cat-CVD法により製膜されたa-Si内で生成されたキャリアは、界面で再結合することなくc-Siに輸送され、a-Si層が光損失層としてではなく、発電層として寄与することを見出した[2]。

さらに、今年度には、a)  $SRV_{max} < 2$  cm/sを実現した単層SiNx/c-Siの界面準位密度は $1.5 \times 10^{11}$  eV<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup>程度であり、界面準位密度の低さとCat-dopingによる電界効果の両方により界面再結合が抑制されること[3][4]、b) ジボラン(B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)の分解種は、PH<sub>3</sub>の場合と異なり、ボロン(B)原子が直接には生まれず、BH<sub>3</sub>の気相反応により生まれること、なども明らかにした[5]。

- [1] H. Matsumura, K. Higashimine, K. Koyama, and K. Ohdaira, "Comparison of crystalline-silicon/amorphous-silicon interface prepared by plasma enhanced chemical vapor deposition and catalytic chemical vapor deposition", *J. Vac. Sci. Technol. B*, **vol.33**, [no.3], (2015), pp.03120-1—4. (Electronic Version)
- [2] K.Koyama, T.C.Thi, K.Higashimine, K.Ohdaira, H.Matsumura, "Requirements for Achieving Extremely Low Surface Recombination Velocity and Negligible Optical Loss in Cat-CVD SiNx/a-Si Stacked Passivation", *Proceedings of Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2014 IEEE 40th*, (2014), pp3304-3307.
- [3] T.C. Thi, K. Koyama, K. Ohdaira, and H. Matsumura, "Drastic Reduction in the Surface Recombination Velocity of Crystalline Silicon Passivated with Catalytic Chemical Vapor Deposited SiNx Films by Introducing Phosphorous Catalytic-Doped Layer", *J. Appl. Phys.*, **vol.116**, [no.4], (2014), pp.044510-1-7.
- [4] H. Matsumura, T. Hayakawa, T. Ohta, Y. Nakashima, M. Miyamoto. T.C. Thi, K. Koyama, and K. Ohdaira, "Cat-Doping: Novel Method for Phosphorus and Boron Shallow Doping in Crystalline Silicon at 80°C", *J. Appl. Phys.*, **vol.116**, [no.11], (2014), pp.114502-1-10.
- [5] H. Umemoto, T. Kanemitsu, and A. Tanaka, "Production of B Atoms and BH Radicals from B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>/H<sub>2</sub> Mixtures Activated on Heated W Wires", *J. Phys. Chem., A*, **vol.118**, [no.28], (2014), pp.5156-5163.