

太陽光を利用した独自のクリーンエネルギー生成技術の創出
平成 21 年度採択研究代表者

H25 年度 実績報告

佐藤 真一

兵庫県立大学 工学研究科
教授

界面局所制御による光・キャリアの完全利用

§ 1. 研究実施体制

(1)「県立大」グループ(兵庫県立大学)

- ① 研究代表者:佐藤 真一 (兵庫県立大学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・界面パッシベーションの物理モデルの構築
 - ・界面特性の電氣的評価
 - ・反射防止構造の開発

(2)「明治大」グループ(明治大学)

- ① 主たる共同研究者:小椋 厚志 (明治大学理工学部、教授)
- ② 研究項目
 - ・新規パッシベーション材料の探索
 - ・結晶・パッシベーション膜界面の構造評価

§ 2. 研究実施の概要

本研究ではキャリアと光の損失が起こるシリコン基板とパッシベーション膜との界面に着目し、界面パッシベーションの物理モデルの構築とそれに立脚した新規パッシベーション材料の探索を行っている。新規材料の探索には一貫してコンビナトリアル材料科学の手法を活用してきた。

界面パッシベーションの物理モデルの構築に関しては、実効固定電荷の起源やパッシベーション膜の熱処理効果を明らかにする上でも有望な手法と期待されるオゾンを用いた室温 ALD 法を中心に、 AlO_x 膜をモデル材料としてパッシベーション特性の評価とそれに基づくメカニズムの追及を行ってきた^{1, 2)}。その過程で、 $\text{AlO}_x/\text{SiO}_x$ 界面に形成されたダイポール層が実効固定電荷の起源であることが示唆されたため、分子動力学(MD)法を用いた $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 積層構造のシミュレーションによるダイポール層形成の再現を試みた。その結果、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 界面において SiO_2 側で負電荷、 Al_2O_3 側で正電荷が増加していることから、界面ダイポールが発生していることがわかった。なお、このときの反発力は $10^{11} \sim 10^{12} [\text{cm}^{-2}]$ 程度の固定電荷による力に匹敵することが判明した。

一方、ALD 法以外の AlO_x 膜のパッシベーション効果を検証するため、ミスト CVD 法による製膜を試みた。超音波振動子で霧化させた原料溶液を加熱基板上に供給し大気中で製膜した結果、ALD 法による AlO_x 膜と同等レベルの結果が得られた。加えて、材料探索の一環として PLD 法を用いた $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$ 及び $\text{Y}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 構造の試作を行い C-V 特性を評価した結果、逆極性の界面ダイポールの発現が確認された。これらの結果から、界面ダイポール発生の起源及びその普遍性について理論と実験の両面から明らかになると共に、 $\text{AlO}_x/\text{SiO}_2$ 層がパッシベーション膜として有効であることが実証された。

新規パッシベーション膜の探索に関しては、前年度までの $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ 混晶(YZO)膜材料の開発と $\text{AlO}_x/\text{c-Si}$ 界面構造評価の結果を踏まえ、積層型パッシベーション構造の提案および実験を開始した。その結果、YZO/ AlO_x/Si 構造における実効固定電荷密度の組成比依存性が、単層構造と同様に $\text{ZrO}_2(85\%)\text{-Y}_2\text{O}_3(15\%)$ 付近の組成比に於いて最大の実効固定電荷密度を示し、積層型パッシベーション構造の優位性が確認できた。

これらの研究成果によって、界面パッシベーションの物理モデル構築及び新規材料探索に向けて方向性が明らかになった。

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国際)

1. C. Sakai, S. Yamamoto, K. Urushibata, S. Miki, K. Arafune, H. Yoshida, H.J. Lee, A.Ogura, Y. Ohshita, S. Satoh, “Structure Analyses of Room Temperature Deposited AlO_x Passivation Films for Crystalline Silicon Solar Cells”, Jpn. J. Applied Physics, vol. 52, 122303 (2013) (DOI: 10.7567/JJAP.52.122303).
2. H.J. Lee, N. Sawamoto, N. Ikeno, K. Arafune, H. Yoshida, S. Satoh, T. Chikyow, A. Ogura, “Detailed study of the effects of interface properties of ozone-based atomic layer deposited AlO_x on the surface passivation of crystalline silicon”, Jpn. J. Applied Physics, vol. 53, 04ER06 (2014) (DOI: 10.7567/JJAP.53.04ER06).

(3-2) 知財出願

CREST 研究期間累積件数(国内 2 件)