

「International Workshop on High Efficiency CIGS Solar Cells」

日時：2017.11.18, 9:30-17:30

会場：龍谷大学瀬田キャンパス REC ホール

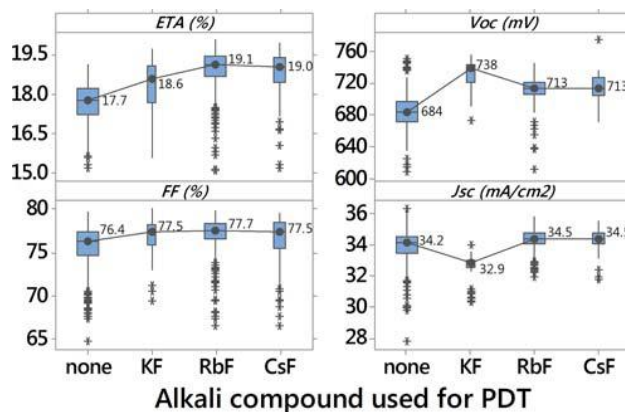
PVSEC27（組織委員長：和田隆博龍谷大教授）のサテライトのマークショップが、多元系化合物太陽電池研究会の年末講演会として開催された。はじめに、オーガナイザーの筑波大の櫻井岳暁准教授と、立命館大の嶺元高志教授から挨拶があり、会の趣旨が述べられた後、下記の講演が行われた。



1. Michael Powalla (ZSW, Germany): “Strategies to 25% CIGS Lab Cell Efficiency”



ドイツ Stuttgart にある ZSW(太陽電池と水素の研究所)のポワラ教授は、CIGS 系太陽電池の変換効率の変遷を振り返り、2017 年に Solar Frontier 社が 23.3%のセル変換効率を発表するまでは、ZSW の 22.6%が最高であった。ショックレイ・クウェーサー限界 (SQL)と比較すると短絡電流 J_{sc}



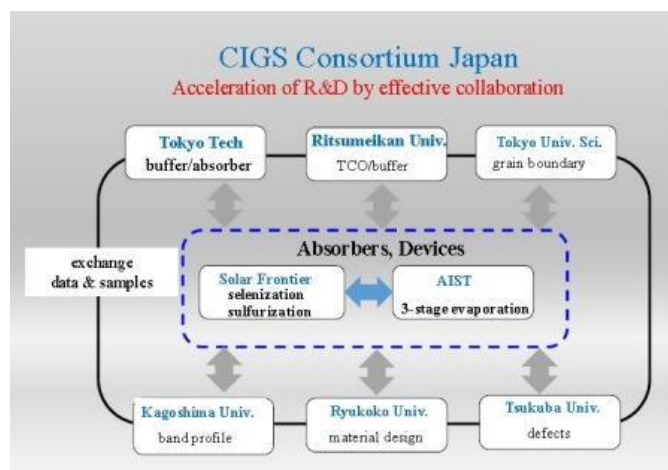
で 85%、開放電圧で 80%でしかない。ここまで効率が向上したのは、アルカリフッ化物での堆積後アニール(PDT)によるところが大きい。22.6%の効率は RbF を使った PDT によるものである¹。GGI=Ga/(Ga+In)のグレーディング・プロファイルによっても変換効率が改善される。一方、遷移金属不純物の混入はネガティブな効果を持ち、特に Fe は 0.1ppm 以下でも効率を大きく低下させる。さらに、CdS-free、ZnO:Al の採用で短波長量子効率改善と防湿改善が図られる。さらに植物の葉っぱの表面構造を模倣すると反射の低減が図られること、背面電極の改善によっても光の高効率利用が図られることなどを総合することで 25%は可能であると述べた。

2. Shigeru Niki(AIST, Japan): Progress in the CIGS Consortium Japan”



産総研の二木さんは、はじめに政府のエネルギー政策 (3E+S)について、現行 6%のエネルギー自給率を 2030 年に 24.3%に、CO₂排出を 2030 年に 2013 年の 26%削減するということを述べ、CIGS コンソーシアムの構成と各機

関の役割、今後の取り組みについて述べた。



¹ P.Jackson et al.: pss (RRL) Volume 10, Issue 8, Version of Record online: 12 JUL 2016

3. Ayodhya N.Tiwari(EMPA, Switzerland): “Studies on alkali treated CIGS layers and solar cells”



CIGS 太陽電池は NaF-PDT に加えて KF, or RbF を用いたアルカリ PDT を行うことで変換効率改善が図られる。スイス EMPA の Tiwari 教授は、予め NaF-PDT を行った低温共蒸着 CIGS に KF, RbF-PDT を行い、Rb と K 添加の太陽電池性能と材料への影響を比較した。KF と RbF-PDF は Voc, FF に同じ様な改善をもたらした。また、電気特性を損じることなく Cd バッファー層厚の減少をもたらすことも明らかになった。KF および RbF-PDT は CIGS のモルフォロジーと組成に変更を与える。PDT 後、K および Rb は CIGS 表面の Cu-および Ga-poor 組成のナノ構造の第 2 相および粒界に析出するとともに CIGS 層内に拡散し軽いアルカリである Na の濃度を大幅に減少させる。他グループの理論計算によれば PDT によって **KInSe₂** や

RbInSe₂ が CIGS 表面に析出することが予言されており、実験結果と一致する。

4. Jae Ho Yun(KIER, South Korea): “New approaches to multi-functional CIGS thin film solar cells in KOREA”

韓国 KIER の Yun 博士は、ポリイミドベースのフレキシブル CIGS 太陽電池に取り組んでいる。KIER では BIPV(建造物にインストールされた太陽電池)を目指しており、Si より軽い CIGS に着目している。NaF-PDT、Ag-合金化、積層構造の改善が図られ、ロールツーロールプロセスでの非真空系形成が可能になった。レーザーによるフロント TCO のスクライビングが行われ、**フレキシブル太陽電池で変換効率 8.15%**を 5x5cm²セルで達成した。



5. Negar Naghavi (IRDEP, France): Optimization of materials and interfaces in ultrathin or flexible CIGS based solar cells: Recent research progress and challenges”



フランス IRDEP のナガヴィ博士は、超薄膜フレキシブル CIGS の材料および界面の最適化を論じた。ポリイミド基板では 300-350°C の低温成膜のため、変化効率が低いので、NaF-PDT, GGI-グレーディング、KF-PDT, 電極最適化、Cd-free CBD の最適化 (チオウレアに代えてチオ酢、光照射)、光学ロスの低減、背面電極の工夫で、**厚さ 250nm の超薄膜太陽電池で 9.4%、450nm で 11.5%**を達成したという。

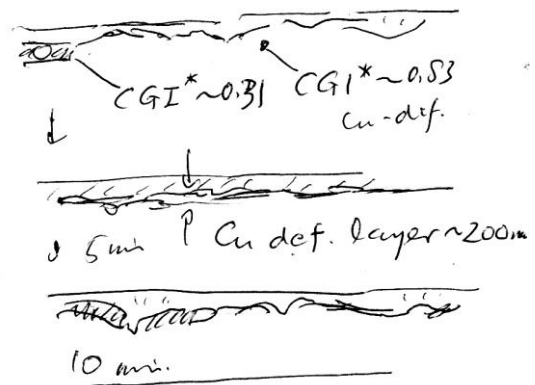
6. Akira Yamada(Tokyo Tech., Japan): Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells; What should we do next.”



東工大の山田教授は、CdS/CIGS 界面における CDL(Cu-deficient Layer)の形成が重要な役割を持つとして、走査型広がり抵抗顕微鏡 (SSRM) を用いた界面付近の評価を行っている。

CDL の厚みと JSC, Voc, FF, η の関係から、

最適な CDL 厚は 200nmであることを明らかにした。



7. Takuya Kato(Solar Frontier, Japan): CIGS development at Solar Frontier: from small cell to manufacturing”



ソーラーフロンティア社は、ガラス/Mo/CIGSSe/CdS/BZO/Al/MgF₂構造のセル(1cm²)で世界最高の変換効率 23.3%を達成した。Cd-free では 22%、ミニモジュールでは 15.7%である。すでに量子効率では理論限界の 90%に達しており、光利用効率も改善され、改善の余地はほとんどないという。今後は CIGS バルクの再結合をいかに抑えるかが重要である。

また、実験室セルからミニモジュールにスケールアップすると効率が急落する。この改善には、直列抵抗、デッドエリア、TCO の改善などが重要である。

8. Thomas Dalibor (AVANCIS, Germany): “Heterojunction Band Gap Engineering for High Efficiency CIGSSe Solar Modules”

ドイツ AVANCIS 社は、2006 年に設立され、2014 年には 300 名の従業員の中国 CNBM を設立、ドイツでは 100MW のキャパをもち、韓国では 30x30 ラインで 100MW の能力を持つという。BIPV を目指し軽量モジュールを製造している。GGI-グレーディングによるバンドギャップエンジニアリングでさらなる高効率化を目指す。



9. Susanne Siebentritt (University of Luxembourg, Luxembourg):

“Potassium treatment of Cu-rich CIGS”



ルクセンブルク大のジーベントリット教授は、通常行われる Cu-rich 膜の KCN 処理について、なぜ Cu-rich か、処理された太陽電池は本当に改善されるのかという疑問から出発、平衡状態図からは、Cu-rich 相は単相カルコパイライト+欠陥、Cu-poor 相は化学量論組成のカルコパイライト+第 2 相であること、Cu-rich 相は活性化エネルギーが Ga 組成を増加するとリニアに変化するが、Cu-poor 相では活性化エネルギーが変化しないこと、KCN 後の Cu-poor cell の再結合はバルクで起きており、Cu-rich 膜を K 処理したものは Cu-poor 相に近くなり、表面は強く補償された層になり、Cu-rich セルの欠点を補うという。

10. Harvey Guthrey(NREL, USA): “Electron Microscopy Investigations of CIGS Photovoltaics with Alkali Post Deposition Treatments”

NREL の Guthrey は、カソードルミネッセンス(CL)を用いて、アルカリ PDT 膜の評価を行っている。粒界 GB および界面での再結合はアルカリ PDT の関数として変化する。サファイア基板では GB でのコントラスト変化も CL レッドシフトもない。SLG では NaF または KF 処理での試料の CL 発光のコントラストが減少するが CL レッドシフトの変化はない。



11. Takahiro Wada (Ryukoku University, Japan): “Materials Issues in high efficiency Cu(In,Ga)(S,Se)₂solar cells”



CIGS 太陽電池の効率アップには CdS/CIGS 界面 CDL(1-3-5 相、又は 1-5-8 相)の伝導帯のバンドプロファイルにスパイクが出来ることである。CIS-In₂Se₃ 擬 2 元相図には stannite type の 1-5-8 相が存在する。Cu-S 距離は CIS では 2.374Å、1-5-8 では 2.462Å なので 1-5-8 のバンドギャップが大きくなり、CdS/CIS の間に CBM のスパイクを作る。