

CuInSe₂系化合物薄膜太陽電池

～私たちは何を研究・開発し、残された課題は何か～

和田 隆博

龍谷大学 理工学部 教授

E-mail : twada@rins.ryukoku.ac.jp

CuInSe₂(CIS)太陽電池の変換効率の推移と用いられたキーテクノロジーを図にまとめた[1]。これを見るとほとんどの技術が2000年までに開発されたが、最近再び、新しいイノベーションの時を迎えていることがわかる。それで、本講演ではCIS太陽電池が生まれてから1990年まで、1991年から2000年、2001年から2010年、そして2011年から現在と10年ごとに区切って開発状況について述べる。

【1991年まで】1975年に米国ベル研のShayらがCuInSe₂単結晶と蒸着CdS膜を用いてCdS/CuInSe₂太陽電池を作製し、変換効率=12%を報告した[2]。翌年にはMaine大学のKazmerskiらが全薄膜型のCdS/CuInSe₂太陽電池を作製した[3]。その後、Boeing Aerospace Co.が蒸着法によるCIS太陽電池の開発を推進した。彼らは、裏面電極にMoを用い[4]、「Bilayer法」を用いてCIS膜の品質を高めて、10%以上の変換効率を達成した。1980年代にはARCO Solar Inc.は大量生産を目指してCIS太陽電池の開発を行った。ARCO Solarは現在ソーラーフロンティアが大量生産で用いている「セレン化法」によるCIS膜の作製技術を開発し、ソーダライムガラス基板やChemical Bath Deposition(CBD)法によるCdS膜の使用等、現在CIS太陽電池の作製で標準的に用いられている基本技術を開発した。彼らは1990年には0.4m²の大面積CIS太陽電池モジュールを試作できるレベルまで技術を高めた[5]。これにより、NRELでの屋外暴露試験が可能になり、開発の早い時期からCIS太陽電池の性能の安定性が確認された。また、1980年代から現在までNRELのZungerを中心とした理論グループは基礎的な面からCIS太陽電池の開発を支えた[6]。1990年までのCIS太陽電池の研究開発の状況についてはRockett[7]や榎屋勝巳氏の解説[8]に詳しい。

【1991年～2000年】米国、欧州、日本の研究機関が高効率化を競った時期である。Euro-CISグループでは「Bilayer法」と基板温度の高温化によりCIS膜の品質を高めて、米国よりも早く変換効率15%を達成した。今日Na効果として知られている現象も彼らが見いだした。彼らのアプローチの特徴は基礎研究と技術開発を組み合わせたとところにある[9]。米国ではNRELが「3-stage Process」[10]を開発して高効率化を加速し、10年以上にわたって最高変換効率を更新し続けた。日本の研究グループは、欧米のキャッチアップからスタートしたが、1995年以降は独自技術を開発し、基礎および応用の両面で貢献した。その中で松下電器の「組成モニター技術(End point detection)」[11]と昭和シェル石油のZn-O-S系バッファー層の開発[12]が特筆される。

【2001年～2010年】CIS太陽電池の大量生産技術の開発が活発化し、世界中でたくさんのベンチャー企業がパイロット生産に移行した。その中で、昭和シェル石油の子会社であるソーラーフロンティアが1GW/年の生産規模まで成長した。

【2011年～現在】CIS太陽電池の新たなイノベーションの時期を迎え、変換効率は21.7%に達している。しかし、KF post-depositionの科学的背景には不明のことも多い。この技術を含めてCIS太陽電池の界面を中心とした理解がさらに進むことにより、さらなる変換効率の向上が期待できる。最近の技術については次の専門書[13]に詳しい。

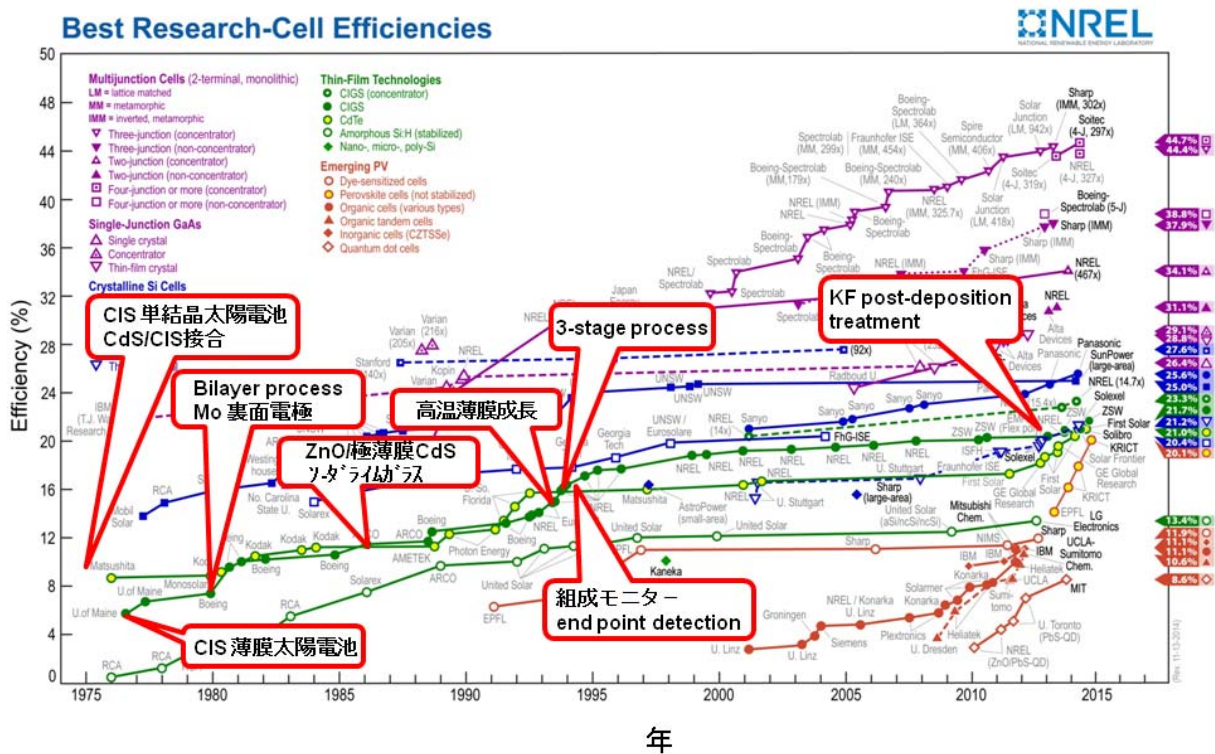


図 CIS太陽電池の変換効率の推移とキーテクノロジー[1]

参考文献

[1] http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg

[2] J. L. Shay, S. Wagner, and H. M. Kasper, Appl. Phys. Lett. **27**, 89 (1975).

[3] L. L. Kazmerski, F R. White and G. K. Morgan, Appl. Phys. Lett. **29**, 268 (1975).

[4] R. A. Mickelsen et al., IEEE Trans. Electron Devices **ED-31**, 542 (1984).

[5] J. Ermer, R. Gay, P. Pier, and D. Tarrant, J. Vac. Sci. Technol. **A 11**, 1888 (1993).

[6] J. E. Jaffe and A. Zunger, Phys. Rev. **B 29**, 1882 (1984).

[7] A. Rockett and R. W. Birkmire, J. Appl. Phys. **70**, R81 (1991).

[8] 櫛屋勝巳, 日本金属学会会報 **第30巻**, 第11号, 930 (1991).

[9] D. Schmid, M. Ruckh, F. Grunwald, and H. W. Schock, J. Appl. Phys. **73**, 2902 (1993).

[10] A. M. Gabor et. al., Appl. Phys. Lett. **65**, 198 (1994).

[11] N. Kohara, T. Negami, M. Nishitani and T. Wada, Jpn. J. Appl. Phys. **34**, L1141 (1995).

[12] K. Kushiya et. al., Jpn. J. Appl. Phys. **35**, 4383 (1996).

[13] 和田隆博 監修著「化合物薄膜太陽電池の最新技術Ⅱ」, 出版:シーエムシー, ISBNコード 978-4-7813-0974-3 (2014年10月24日発行).