

(1) Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS)とは

Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS)は CuInSe₂(Eg=1.04 eV)と CuGaSe₂(Eg=1.68 eV)の固溶体である。CuInSe₂や CuGaSe₂は - -₂族化合物半導体であり、 - 族化合物半導体の 族元素を 族元素と 族元素で置き換えることによって導くことができる。CuInSe₂や CuGaSe₂の結晶構造は図1に示したようにカルコパイライト型構造であり、等軸晶系のセン亜鉛鉱構造の単位胞を縦に二つ積み重ねた構造を持っている。この化合物半導体の特徴は吸収係数が非常に大きく、禁制帯幅の大きさが太陽光の吸収に適していることである。このため CIGS 系化合物半導体は太陽電池材料として期待されている。

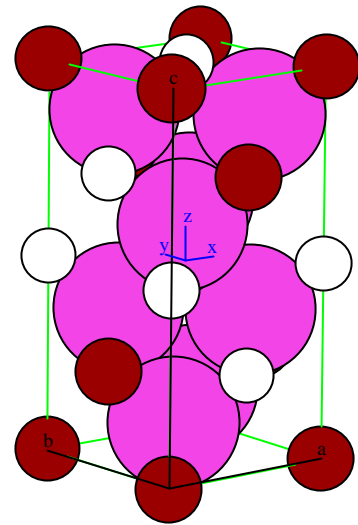


図1 CuInSe₂の結晶構造
黒小 : Cu, 白小 : In
灰大 : Se

(2) 薄膜太陽電池開発の必要性

太陽電池は21世紀以降に本格的な普及が期待されるクリーンエネルギー源である。現在太陽光発電システムに用いられているのは、単結晶あるいは多結晶Si基板を用いた太陽電池である。これらの太陽電池に用いられる単結晶あるいは多結晶Si基板は、半導体Si産業から放出される規格外Si原料を用いて製造されている。最近の急激な太陽電池産業の成長により、太陽電池用に供給されるSi原料の不足が深刻化しつつある。それで、今後の太陽電池の低コスト化とそれに伴う太陽光発電の拡大のために、原料の使用量の少ない薄膜型太陽電池が要望されている。これまで日本で主に研究されてきた薄膜太陽電池はアモルファスシリコン太陽電池であった。CIGS系化合物半導体を用いた薄膜太陽電池は、日本ではあまりなじみはないが1980年代から主に欧米で研究されてきた薄膜太陽電池である。

(3) CIGS太陽電池の特徴[1]

CIGS太陽電池は、以下のような特徴を有している。

- (1) CIGSは図2に示すように光吸収係数がSiの約100倍も大きい事から、光閉じこめ等の特殊な構造を用いなくても薄膜太陽電池を作製することができる。
- (2) 比較的低温(350~550)で薄膜を形成する事が出来、ソーダライムガラス等の低コスト基板を用いることができる。
- (3) 多結晶薄膜を用いる太陽電池の中では最も変換効率が高く、現在報告されている最高変換効率は小面積で17~18%、大面積で10~15%である。
- (4) Cu(InGa)Se₂(CIGS)やCuIn(S,Se)₂等の固溶体を作製する事によって、光吸収層の禁制帯幅を太陽光を吸収するのに適した大きさ(1.4~1.5eV)に変化させる事が出来、単接合太陽電池で20%以上の変換効率が期待できる。
- (5) 光吸収層として化合物半導体を用いているので長期間の使用に対して安定である。

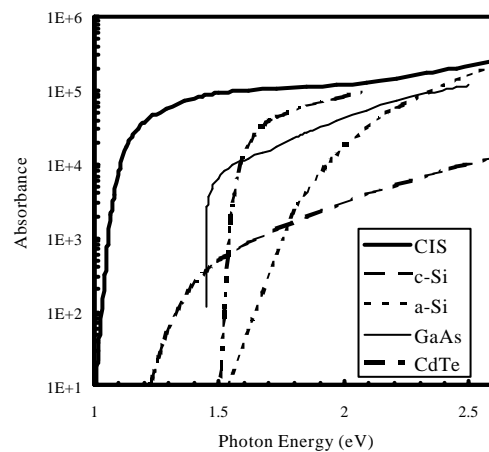


図2 太陽電池に用いられる各種半導体の吸収係数

(4) CIGS太陽電池における各種取り組み [2]

高効率化 [3] や大面積製造技術開発の他にCIGS太陽電池に関して様々な取り組みが行われている。

(a) 環境適合技術

CIGS太陽電池は、CdSバッファ層中にCdがCIGS膜中にSeが含まれている。そのため、非Cd系バッファの開発が行われている。最近我々は、化学析出(CBD)法によるCdS層の形成プロセスとCdS/CIGS界面の詳細な検討から、CBDプロセス初期にCIGS膜へCdがドッキングされることを明らかにし、なぜ高効率太陽電池を作製するためにはCBD法でCdS膜を形成する必要があるのかを明らかにした [4]。図3にCBD法によってCdS層を形成したCdS/CIGS界面のSIMSによるデプスプロファイルを示した。この図から、Cdが表面からCIGS膜の内部に拡散し、CIGS膜の表面付近のCu濃度が低下しているのが分かる。このCdのドッキングモデルを基礎にして、n形ドッキングのプロセスとバッファ層の形成プロセスを分離することで、CIGS太陽電池からCdSをなくす科学的根拠が得られ、CIGS太陽電池からCdSバッファ層が必要なくなるのも時間の問題であると考えられる。

(b) 多用途化技術

CIGS太陽電池は通常光強度を高めることで変換効率は向上するので、集光型太陽電池としても有望である。集光型太陽電池については、今後検討を要する。CIGS膜は400 程度の比較的低い温度で形成することが出来るのでポリイミドフィルムを基板に用いるフレキシブル太陽電池も作製可能である。ポリイミドフィルム上にMo層をスパッタ法形成して、その上にCIGS膜を蒸着法やセレン化法で形成する。ポリイミドフィルムを用いたフレキシブル太陽電池は単位重量あたりの発電量が大きく、軽量性と耐宇宙線特性を生かして宇宙用の太陽電池として期待されている。また、ステンレス箔を基板に用いたフレキシブルCIGS太陽電池も作製可能である。この場合は、ポリイミドフィルムの場合よりも基板温度を高く設定できるので変換効率も高くなる。

(5) 今後の研究予定

現在、高効率CIGS太陽電池は、ソ-ダライムガラス基板上にMo裏面電極をスパッタ法で蒸着し、その上にCIGS光吸収層を形成する。さらにバッファ層として化学析出(CBD)法でCdS層を形成し、透明電極層をスパッタ法で形成する。最近の我々の研究でなぜCBD法でCdS膜を形成する必要があるのか明らかにした。それで、次の段階はCBDプロセスをドライプロセスで置き換え、CIGS太陽電池の製造工程をすべてドライプロセスで行うことである。そのために、CIGS太陽電池のpn接合についてより詳細な検討が必要である。

(7) 文献

- [1] 和田隆博「CuInSe₂系薄膜太陽電池」機能材料 16, No.2, 42 (1996).
- [2] 和田隆博他「高効率CIGS太陽電池」信学技報(電子情報通信学会技術研究報告) 98, No59, 85 (1998).
- [3] T. Wada 「Microstructural Characterization of High Efficiency Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells」Solar Energy Materials and Solar Cells 49, 249 (1997).
- [4] T. Wada et al., "High Efficiency Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells with Improved CIGS surface" Proc. 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna, Austria, 1998.

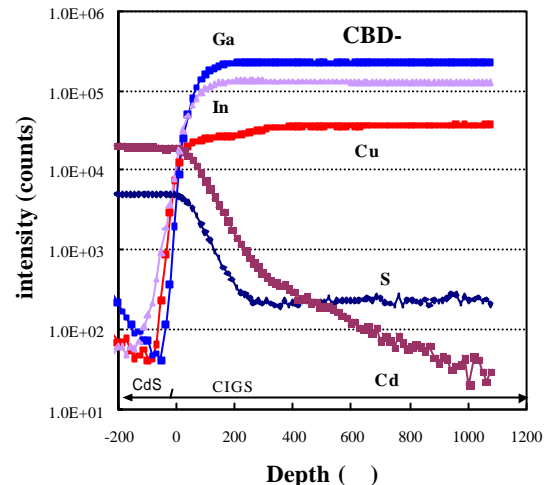


図3 CBD法によってCdS層を形成したCdS/CIGS界面のSIMS分析によるデプスプロファイル