

化合物半導体多層太陽電池の成膜特性

早川亮¹・吉村千秋²、古屋雅章²、阿部治²、加藤孝正³

(¹山梨県工業技術センター, ²山梨県富士工業技術センター, ³山梨大学)

要約 化合物半導体の製造法として従来用いられているCVD法などの真空技術とは異なり、エレクトロスプレーデポジション (ESD) 法は、安価な装置で構成することができ、半導体の大面積化および積層化が期待できる技術である。そこで、この技術を用いて光吸収層 (CuInS₂) を成膜するとともに、サブストレート構造およびスーパーストレート構造の太陽電池セルを作製し、XRDおよびXPSを用いて結晶性評価および深さ方向分析を行った。XRDから目的としている化合物が成膜されていることが確認された。しかし、XPSの結果からサブストレート構造セルはスーパーストレート構造セルに比べて、成膜が不完全であることが分かった。

Deposition Characteristic of Compound Semiconductor multilayer solar battery.

Ryo HAYAKAWA¹, Chiaki YOSHIMURA², Masaaki FURUYA², Osamu ABE², Takamasa KATOU³ (¹Yamanashi Industrial Technology Center, ²Yamanashi Fuji Industrial Technology Center, ³University of Yamanashi).

Abstract Usually, the compound semiconductor is manufactured by using vacuum technologies, for example, the chemical vapor deposition (CVD). The electro static spray deposition (ESD) is the expected method for making the semiconductor, because we can make a large and multilayered semiconductor by this method with low price devices. By this method, we deposited photoabsorption layer (CuInS₂) and made the substrate and superstrate solar cells. As a result of measuring the crystalline of the photoabsorption layer XRD, we confirmed forming a compound of CuInS₂. However, as a result of measuring the depth profiling of these sells by XPS analysis, the depositing condition of substrate cell was more defective than the superstrate cell.

1. 緒言

近年、地球温暖化などグローバルヒーティングの問題が顕在化しており¹⁾、このような危機的状況から脱するには、現在の化石燃料主体の社会を抜本的に改革する必要がある。そのため太陽エネルギーの利用技術は、CO₂削減の面において重要であり、脱化石燃料に向けた再生可能なエネルギー開発という点でも大きな役割が期待されている。現在、太陽エネルギーの利用技術の中で、最も普及しているのが太陽光発電である。その中でも光起電力シリコン太陽電池の技術は、ほぼ完成されており単結晶、多結晶およびアモルファスシリコンの電池が開発されている。変換効率は、順に24.7%、20.3%および15%となっている。

しかし、最も変換効率が高い単結晶シリコンは、結晶を成長させる際に高額な装置を必要とするばかりでなく、結晶育成の制御が難しい。さらに、スライスしたシリコン板にレーザなどによる微細加工が必要となる。これらの技術的な制約および、昨今の原料シリコン価格の高騰によって製造コストは高くなっている。そのため、シリコン太陽電池に代わる技術が研究されている。代替技術としては、太陽電池に要求されるバンドギャップを有するI-III-VI族、III-V族およびII-VI族の化合物半導体であるCu(InGa)Se₂、Cu(InGa)(SSe)₂、CuInSe₂、InP、GaAs、CdTeなどの研究が進んでいる。

しかし、これらの化合物半導体の薄膜製造方法には主にMBE法、MOCVD法、CVD法が用いられている。これらの手法は、真空技術を利用しているため、高価で複雑な製造装置を必要としており、薄膜の大面積化が難しい。

そこで、本研究では従来の製造方法と比べて装置構成が安価であり、薄膜の大面積化および積層化が可能であると考えられるエレクトロスプレーデポジション (ESD) 法に注目した。この技術を適用した薄膜形成技術および積層技術による太陽電池の作製を目的とし、変換効率の高い多層太陽電池製造プロセスの実用化を目指した。化合物半導体としては、化合物成分が少なく比較的低温においても成膜が可能とされているCuInS₂を採用した²⁾。

なお、本研究は山梨県富士工業技術センターと共同で行っており、ESD法による成膜と電気特性の評価を富士工業技術センターが担当し、当センターではX線回折分析 (XRD) による結晶性の評価およびX線光電子分光法 (XPS) による深さ方向分析を担当した。

2. 実験方法

2-1 エレクトロスプレーデポジション (ESD) 法

図1にESD法の概略図を示す。ESD法とは、成膜する化合物の成分を含む試薬を溶媒に溶かした原料溶液を、基板との間に高電圧をかけたキャピラリに導入・帯電液滴をスプレーする。スプレーされた液滴の表面電荷が表面張力に打ち勝ち液滴が分裂する。溶媒分子は短時間のうちに蒸発し、微細な粒子が基板上に堆積する。これを繰り返していき、最終的に結晶を生成する方法である³⁾。

2-2 化合物半導体多層太陽電池の構造

本研究では、化合物半導体多層太陽電池としてサブストレート構造およびスーパーストレート構造の2種類について

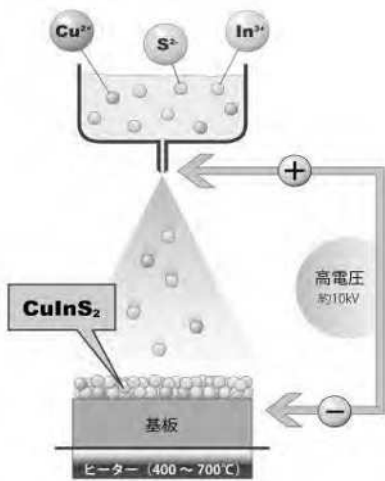


図1 ESD法の概略図

て、作製および特性の評価を行った。各構造の概略は以下に示すとおりである。

まず、図2にサブストレート構造を示す。基板にはコーニング社製のガラス（コーニング#1737）を使用している。その表面にイオンプレーティング法によりモリブデンをコーティングし、陽極として用いた。その上に光吸収層としてCuInS₂層（以下CIS層と呼ぶ）を成膜した。さらに、CIS層の上に窓層としてZnO層を成膜し、これを陰極として用いた。

次に、スーパーストレート構造を図3に示す。基板にはサブストレート構造と同様にコーニング社製のガラス（コーニング#1737）を使用している。その表面にスパッタリング法により透明導電膜である酸化インジウムスズ（以下ITO層と呼ぶ）を成膜し、陽極として用いた。スーパーストレート構造では、太陽光の入射方向がサブストレート構造と反対方向であり、基板側からである。そのため、透明導電膜の上に窓層であるZnO層を成膜し、さらにその上に光吸収層であるCIS層を成膜した。また、CIS層は陰極としても用いた。

2-3 ESD法によるCIS単層膜の作製

CIS膜の原料には、塩化銅CuCl₂・2H₂O、塩化インジウム(III) InCl₃およびチオ尿素(NH₂)₂CSをエタノールと純水の混合溶媒（エタノール：純水 = 3：7）に溶解させた溶液を用いた。これまでは、これらの溶液をマグネチックスターラーで十分に攪拌した後、基板との間に高電圧（12 kV）をかけた針にシリンジポンプで押し出すことによってスプレーを行い、CIS膜を作製した成膜を行っていた。しかし、この方法では、CIS成膜用溶液の濃度を高めた場合に、沈殿物が生成される問題が生じた。この問題を解決するために、成膜用溶液を塩化銅CuCl₂・2H₂Oおよび塩化インジウム(III) InCl₃を主成分とする溶液と、チオ尿素(NH₂)₂CSを主成分とする溶液の2系統に分け、スプレーノズルの直前で混合する方式を適用した。その

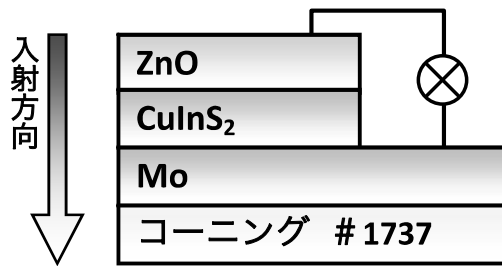


図2 サブストレート構造の概略図および太陽光の入射方向

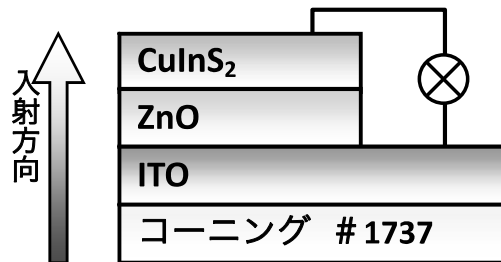


図3 スーパーストレート構造の概略図および太陽光の入射方向

結果、沈殿物の生成が抑制され、高モル濃度の溶液の利用が可能となった。そこでCIS膜の原料濃度をそれぞれ、塩化銅CuCl₂・2H₂O（金属イオン濃度：0.0045 mol/lおよび0.0054 mol/l）、塩化インジウム(III) InCl₃（金属イオン濃度：0.0045 mol/l）およびチオ尿素(NH₂)₂CS（金属イオン濃度：0.0135 mol/l）として成膜を行った。なお、これまで成膜時の基板温度は350℃としていたが、より結晶性に優れたCIS膜を得るために、基板温度を以前よりも高温の450℃とした。電極間距離は70 mmとした⁴⁾。また、シリンジポンプ、基板加熱用ホットプレートおよび高電圧用電源にはそれぞれ、HARVARD社製インフュージョンポンプ model 11、アサヒ理化製作所社製AHS-500および松定プレジジョン社製 HAR-30P1を用いた。

2-4 XRDによるCIS単層膜の結晶性評価

CIS膜の原料濃度をそれぞれ、塩化銅CuCl₂・2H₂O（金属イオン濃度：0.0045 mol/l）、塩化インジウム(III) InCl₃（金属イオン濃度：0.0045 mol/l）およびチオ尿素(NH₂)₂CS（金属イオン濃度：0.0135 mol/l）として成膜したCIS膜について、結晶性の評価を行うためにX線回折分析を行った。分析には（株）リガク製のXRD：UltimaIVを用いており、X線源はCu Kα線（波長：1.54059 Å）とした。また、得られたX線回折パターンの解析にはPDFカードを用いた。

2-5 XPSによるCIS単層膜の深さ方向分析

CIS膜の原料濃度をそれぞれ、塩化銅CuCl₂・2H₂O（金属

イオン濃度：0.0054 mol/l)，塩化インジウム (III) InCl_3 (金属イオン濃度：0.0045 mol/l) およびチオ尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ (金属イオン濃度：0.0135 mol/l) として成膜したCIS膜について、薄膜内部における化合物形成状態を評価するために、X線光電子分光法による深さ方向分析を行った。分析には日本電子 (株) 製のXPS：JPS-9010TRを用いた。光電子スペクトルの解析には Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy⁵⁾に記載されている値を用いた。

まず、XPSによる表面分析を行う前に、熱陰極電子衝撃型 (カウフマン型) イオン銃を用いてArイオンによるエッチングを行い、試料表面の清浄化を行った。エッチング条件は、Arの導入圧力を 3×10^{-2} Pa、加速電圧を500 V、加速電流を8.6 mA、エッチング時間を2 secとした。

試料表面の清浄化を行った後にXPSによる表面分析を行った。X線源にはAl K α 線 (1486.6 eV) を用い、分析範囲は $\phi 8.0$ mmとした。また、試料のチャージアップを防止するために中和銃を用いた。その際、加速電圧を3 V、加速電流を4 mAとした。

光電子スペクトルの測定は、エネルギー範囲0~1300 eVのワイドレンジを測定した後、ナローレンジとしてCu 2p $_{3/2}$ 電子、In 3d $_{5/2}$ 電子、S 2p電子、Si 2p $_{3/2}$ 電子、O 1s電子、C 1s電子、N 1s電子およびCl 2p $_{3/2}$ 電子における光電子スペクトルを測定した。次に得られたピークの面積から測定元素の深さ方向に伴う濃度変化を求めた。なお、深さ方向分析の際のエッチングは、Arを 3×10^{-2} Paの圧力で導入しながら熱陰極電子衝撃型 (カウフマン型) イオン銃を用いて行い、加速電圧を500 V、加速電流を8.6 mA、エッチング時間を30 ~ 90 secとした。

2-6 太陽電池セルの作製

2-6-1 サブストレート構造セル

基板には、イオンプレーティング法によりモリブデンをコーティングした $52 \times 76 \times 1.1$ mmの大きさのガラス (コーニング #1737) を用い、図2に示した構造に従って最初にCIS層を、次にZnO層を成膜した。

CIS膜の原料には、塩化銅 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (金属イオン濃度：0.0054 mol/l)、塩化インジウム (III) InCl_3 (金属イオン濃度：0.0045 mol/l) およびチオ尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ (金属イオン濃度：0.0135 mol/l) をエタノールと純水の混合溶媒 (エタノール：純水 = 3：7) に溶解させた溶液を用いた。この溶液をマグネチックスターラーで十分に攪拌した後、シリンジポンプで押し出すことによって、基板との間に高電圧 (12 kV) をかけた針からスプレーを行い、CIS膜を作製した。この際の基板温度は450 °Cとし、電極間距離は70 mmとした。

ZnO膜の原料には塩化亜鉛 ZnCl_2 をエタノールと純水の混合溶媒 (エタノール：純水 = 3：7) に溶解させた溶液 (金属イオン濃度：0.01 mol/l) を用いた。この溶液を

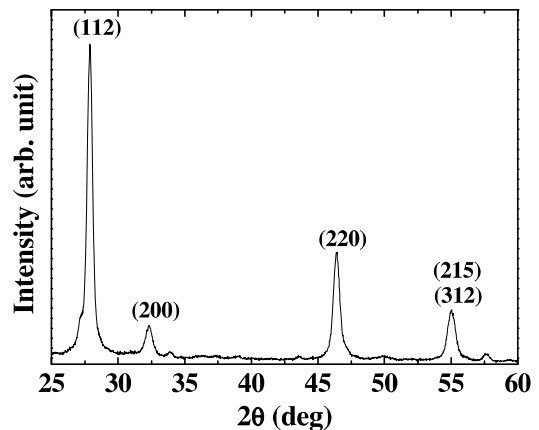


図4 基板温度450 °Cで成膜したCIS単層膜のX線回折パターン

マグネチックスターラーで十分に攪拌した後、シリンジポンプで押し出すことによって、基板との間に高電圧 (12 kV) をかけた針からスプレーを行い、ZnO膜を作製した。この時の成膜条件は、これまでに得られた結果から、基板温度を540 °C、電極間距離を70 mmとした⁴⁾。

2-6-2 スーパーストレート構造セル

基板には、スパッタリング法によりITO層を成膜した $52 \times 76 \times 1.1$ mmの大きさのガラス (コーニング #1737) を用い、図3に示した構造に従って最初にZnO層を、次にCIS層を成膜した。

このセル構造の場合、光の透過率を保持するために、ZnO膜の膜厚を薄くする必要がある。そのため、ZnO膜の原料には金属イオン濃度を0.006 mol/lまで低下させた塩化亜鉛 ZnCl_2 をエタノールと純水の混合溶媒 (エタノール：純水 = 3：7) に溶解させた溶液を用い、ESD法によりZnO層を成膜した。この時の成膜条件は、これまでに得られた結果から、基板温度を540 °C、電極間距離を70 mmとした⁴⁾。

CIS膜の原料には、塩化銅 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (金属イオン濃度：0.0054 mol/l)、塩化インジウム (III) InCl_3 (金属イオン濃度：0.0045 mol/l) およびチオ尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ (金属イオン濃度：0.0135 mol/l) をエタノールと純水の混合溶媒 (エタノール：純水 = 3：7) に溶解させた溶液を用い、ESD法によりCIS層を成膜した。この時、基板温度および電極間距離はそれぞれ450 °Cおよび70 mmとした。

2-7 XPSによる太陽電池セルの深さ方向分析

サブストレート構造セル、スーパーストレート構造セル共に、X線光電子分光法による深さ方向分析を行った。なお、その際の測定条件は同一である。

まず、XPSによる表面分析を行う前に、熱陰極電子衝撃型 (カウフマン型) イオン銃を用いてArイオンによる

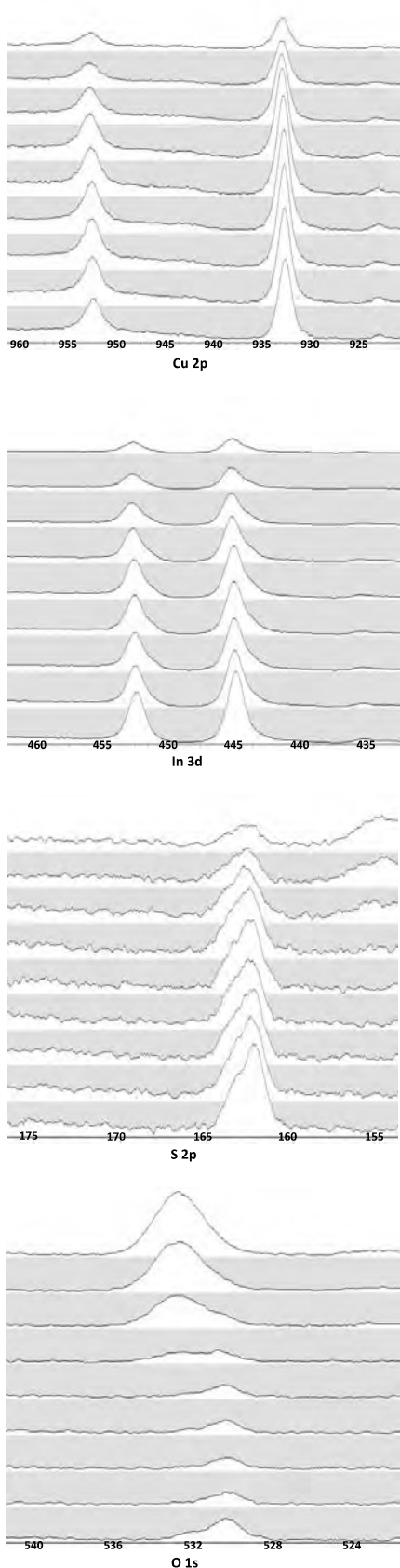


図5 CIS膜の深さ方向分析に伴うCu 2p, In 3d, S 2p およびO 1s光電子スペクトルの変化

エッチングを行い、試料表面の清浄化を行った。エッチング条件は、Arの導入圧力を 3×10^{-2} Pa, 加速電圧を500 V, 加速電流を8.6 mA, エッチング時間を2 secとした。

試料表面の清浄化を行った後にXPSによる表面分析を行った。X線源にはAl K α 線 (1486.6 eV) を使い、分析範囲は $\phi 8.0$ mmとした。また、試料のチャージアップを防止するために中和銃を用いた。その際、加速電圧を3 V, 加速電流を4 mAとした。

光電子スペクトルの測定は、エネルギー範囲0~1300 eVのワイドレンジを測定した後、ナローレンジとしてCu 2p $_{3/2}$ 電子, In 3d $_{5/2}$ 電子, S 2p電子, Zn 2p $_{3/2}$ 電子, Si 2p $_{3/2}$ 電子, O 1s電子, C 1s電子, N 1s電子およびCl 2p $_{3/2}$ 電子における光電子スペクトルを測定した。次に得られたピークの面積から測定元素の深さ方向に伴う濃度変化を求めた。なお、深さ方向分析の際のエッチングは、Arを 3×10^{-2} Paの圧力で導入しながら熱陰極電子衝撃型(カウフマン型)イオン銃を用いて行い、加速電圧を500 V, 加速電流を8.6 mA, エッチング時間を30 ~ 90 secとした。

3. 結果および考察

3-1 XRDによるCIS単層膜の結晶性評価

図4に、CIS膜の原料である塩化銅CuCl $_2 \cdot 2H_2O$, 塩化インジウム(III) InCl $_3$ およびチオ尿素(NH $_2$) $_2$ CSの金属イオン濃度をそれぞれ、0.0045 mol/l, 0.0045 mol/lおよび0.0135 mol/lとし、基板温度450 °Cにおいて成膜したCIS単層膜のX線回折パターンを示す。

この回折パターンにおけるピークは、 2θ が27.9°, 32.3°, 46.4° および55.0° の位置に現れている。これらのピークは、PDFカード(#00-038-0777)に示されているCuInS $_2$ の回折パターンとほぼ一致し、面指数はそれぞれ(112), (200), (220) および(215)と(312)である。また、ピーク形状がシャープであり、ピーク強度も大きいことから、結晶性は良好であると考えられ

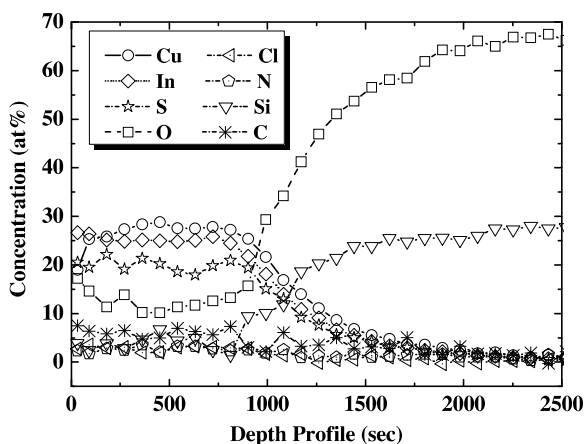


図6 CIS膜の深さ方向分析に伴う各成分の濃度変化

る。これらのことから、基板を450°Cに加熱すると共に、高濃度の原料溶液を用いることによって、ESD法により良好な結晶性を持つCIS膜の作製が可能であることが分かった。

3-2 XPSによるCIS膜の深さ方向分析

CIS膜の原料である塩化銅 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、塩化インジウム(III) InCl_3 およびチオ尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ の金属イオン濃度をそれぞれ、0.0054 mol/l, 0.0045 mol/lおよび0.0135 mol/lとし、基板温度450 °Cにおいて成膜したCIS単層膜の深さ方向分析を行った。その際の光電子スペクトルの変化について、Cu 2p電子、In 3d電子、S 2p電子および0 1s電子の場合を例として図5に示す。図に示されているスペクトルは、下から上方向に従って膜表面から深い位置における結合状態を表している。Cu 2p_{3/2}電子のピーク位置は深さ方向に対して933.1 eVから933.4 eVのエネルギー範囲において現われており、これまでに作製したCIS膜に比べ結合状態に大きな変化は確認されなかった⁴⁾。なお、このエネルギー値に相当する結合状態としては、 Cu_2S (932.5 eV), CuS (932.6 eV), Cu_2O (932.6 eV)、金属に近い状態のCu (932.8 eV), CuO (933.8 eV) が当てはまる。また、ピーク強度においても大きな変化は確認されなかった。これらのことから、深さ方向に対する銅の結合状態は、ほぼ均一であると考えられる。In 3d_{5/2}電子のピーク位置は深さ方向に対して445.3 eVから445.6 eVのエネルギー範囲において現われており、444.1 eV周辺にショルダーが見られるものの、これまでに作製したCIS膜に比べ結合状態に大きな変化は確認されなかった⁴⁾。なお、このエネルギー値に相当する結合状態としては、金属に近い状態のIn (443.8 eV), In_2O (444.3 eV), In_2O_3 (444.3 eV), InS (444.5 eV) および In_2S_3 (444.7 eV) が当てはまる。また、ピーク強度においても大きな変化は確認されなかった。これらのことから、深さ方向に対するインジウムの結合状態は、ほぼ均一であると考えられる。S 2p電子においても、ピーク位置とピーク強度に大きな変化は確認されず、深さ方向に対する硫黄の結合状態は、ほぼ均一であると考えられる。なお、0 1s電子において表面から最も深い位置にあるスペクトルのピークシフトは、ガラス基板の SiO_2 から検出された光電子によるものである。これらの光電子スペクトルのピーク面積から銅、インジウム、硫黄、酸素および珪素など原料に含まれる元素の深さ方向に伴う濃度変化を求めた。その結果を図6に示す。

XRDを用いた結晶性の評価において、CIS膜は図4に示した様に良好な結晶性を示しており、 CuInS_2 を形成していることが確認された。しかし、深さ方向における濃度変化を求めた結果、銅、インジウム、硫黄および酸素の濃度に大きな変化は確認されなかったが、硫黄に対する銅およびインジウムの比率が CuInS_2 の化学量論比よりも高い値

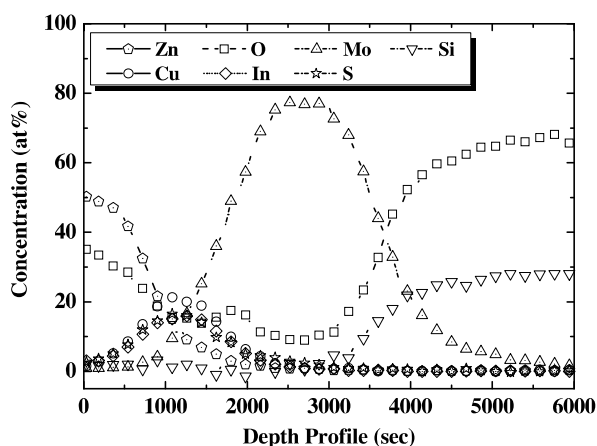


図7 サブストレートセルの深さ方向分析に伴う各成分の濃度変化

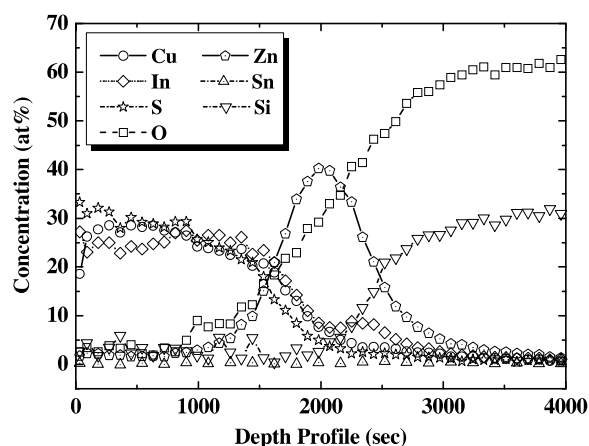


図8 スーパーストレートセルの深さ方向分析に伴う各成分の濃度変化

を示す部分が多く存在していた。その値は、最大で銅が約1.5倍、インジウムは約1.4倍であった。酸素も10~15 at%の濃度で存在していることが分かった。これらのことから、 CuInS_2 結晶以外のCIS膜成分は、金属に近い状態の銅およびインジウムを主成分とすると共に、わずかな酸化物から形成されていることが分かる。

3-3 XPSによる太陽電池セルの深さ方向分析

3-3-1 サブストレート構造セル

図2に示した構造に従って最初にCIS層(基板温度: 450 °C)、次にZnO層(基板温度: 540 °C)を成膜した太陽電池セルの深さ方向分析を行った。その際に得られた光電子スペクトルのピーク面積から求めた、銅、インジウム、硫黄、亜鉛、酸素、モリブデンおよび珪素の深さ方向に伴う濃度変化を図7に示す。

Zn 2p_{3/2}電子のピークは、これまでに得られた結果と同様に、金属状態に近いZnおよび酸化物であるZnOを示す1021.9 eV付近に現れていた⁴⁾。また、0 1s電子のピークも存在していたことから、亜鉛は酸化物であるZnOを形成していることが確認されている。しかし、濃度変化を求

めた結果から亜鉛と酸素の濃度比は約3:2であり、膜中における約1/3の亜鉛が酸化物を形成せずに金属に近い状態で存在していることが分かった。なお、亜鉛と酸素の濃度が一定であり、Zn 2p_{3/2}ピークの結合エネルギーに大きな変化は確認されなかったことから、これらの組成の深さ方向における分布は、均一であると考えられる。

銅、インジウム、硫黄および酸素の深さ方向における濃度変化を求めた結果、深さ方向に対して大きな変化は確認されなかったが、硫黄に対する銅およびインジウムの比率がCuInS₂の化学量論比よりも高い値を示す部分が多く存在していた。その値は、最大で銅が約1.5倍、インジウムは約1.2倍であった。酸素も15~20 at%の濃度で存在していることが分かった。これらのことから、CuInS₂結晶以外のCIS膜成分は、金属に近い状態の銅およびインジウムと共に、酸化物から形成されていることが分かる。

なお、酸素がCIS層に高い濃度で存在する原因として、CIS層とZnO層を成膜する際の基板温度の違いが考えられる。すなわち、CIS層を成膜した後にZnO層をより高い基板温度で成膜したことによって、ZnOからCISへ酸素の拡散が生じたと思われ、その結果、図6に見られたCIS単層膜よりも高濃度の酸素が存在したと考えられる。

3-3-2 スーパーストレート構造セル

図3に示した構造に従って最初にZnO層（基板温度：540℃）、次にCIS層（基板温度：450℃）を成膜した太陽電池セルの深さ方向分析を行った。その際に得られた光電子スペクトルのピーク面積から求めた、銅、インジウム、硫黄、亜鉛、酸素、モリブデンおよび珪素の深さ方向に伴う濃度変化を図8に示す。

銅、インジウム、硫黄および酸素の濃度における深さ方向における濃度変化を求めた結果、深さ方向に対して大きな変化は確認されなかったが、硫黄に対する銅およびインジウムの比率がCuInS₂の化学量論比よりも高い値を示す部分が多く存在していた。その値は、最大で銅が約1.2倍、インジウムは約1.3倍であった。酸素は5~10 at%の濃度で存在していることが分かった。これらのことから、CuInS₂結晶以外のCIS膜成分は、金属に近い状態の銅およびインジウムと共に、わずかな酸化物から形成されていることが分かる。

なお、図7に示したサブストレート構造セルと比べ、CIS層における酸素濃度が低かったことから、成膜時における基板温度の差が、CIS層とZnO層間で酸素の拡散を引き起こし、成膜状態の不良を発生させる原因となることが分かった。そのため、ESD法により、多層膜を形成させる際には、基板温度と各層の成膜順序を熟慮する必要があることが分かった。

亜鉛と酸素においても深さ方向に伴う濃度変化を求めた結果、酸素に対する亜鉛の比率は酸化物であるZnOを形成していることは確認されたが、濃度変化を求めた結果

から亜鉛と酸素の濃度比は1~1.4倍であり、膜中における約1/3の亜鉛が酸化物を形成せずに金属に近い状態で存在している部分もみられるが、ほぼZnOの状態に成膜されていると考えられる。

4. 結 言

エレクトロスプレーデポジション (ESD) 法による太陽電池の作製を目的として、変換効率の高い多層太陽電池製造プロセスの実用化を目指した。そこで、ESD法により、CuInS₂単層膜、サブストレート構造およびスーパーストレート構造の太陽電池セル2種類を作製すると共に、X線回折分析 (XRD) による結晶性の評価およびX線光電子分光法 (XPS) による深さ方向分析を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) CIS層の原料をスプレーノズルの直前で混合することによって溶液中での沈殿物発生を抑制し、良好な結晶性を持つCIS層を成膜することが可能となることが分かった。
- (2) ESD法により、サブストレート構造の太陽電池セルを作成する場合、CIS層とZnO層の成膜温度の違いから、ZnOからCISへ酸素が拡散し、成膜状態の不良が発生することが分かった。
- (3) ESD法によって作製されたスーパーストレート構造の太陽電池セルは、サブストレート構造の場合に比べ、良好な成膜状態が得られることが分かった。

参考文献

- 1) 斉藤 武雄：ヒートアイランド，講談社，P.417 (1997)
- 2) 和田隆博：化合物薄膜太陽電池の最新技術，シーエムシー出版，P.9 (2007)
- 3) Morozov, V. N. & Morozova, T. Y. : Electro spray deposition as a method to fabricate functionally active protein films. Anal. Chem. 71 (1999) 1415.
- 4) 早川亮他：山梨県工業技術センター研究報告，No.24, p.153 (2010)
- 5) C. D. Wagner, W. M. Riggs, L. E. Davis and J. F. Moulder : Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy (Ed. G. E. Muilenberg), Perkin-Elmer Corporation, Physical Electronics Division, Eden Prairie, Minn. USA (1979)