

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏名 顧 帥

本論文は、各種太陽電池の生産に利用された使用済み IT0, IGZO および CIGS ターゲット材から物理および化学処理をして金属をリサイクルすることを目指している。太陽電池産業の急速な発展に伴い、インジウムとガリウムの推定需要成長率はそれぞれ 15%と 15-20%と推定されている。すなわち、本研究ではインジウムおよびガリウムを、使用済みターゲット材料から、通常ボーキサイト残渣から回収できる量のそれぞれ 29 倍および 10 倍に濃縮し、品位として、最大 2900ppm のインジウムおよび 530ppm のガリウムをそれぞれ回収する。従来、使用済みターゲット材料のリサイクル手法としては、主に溶媒抽出法と高温の乾式製錬技術が使用されてきた。溶媒抽出法は、通常、膨大な量の水および有機試薬を消費し、さらに二次廃棄物を生成する。高温の乾式製錬技術は大量のエネルギーを消費し、複雑な設定が必要となっている。したがって、環境に優しいリサイクル手法が求められている。

第 1 章は、世界のエネルギー危機に対処するために、再生可能エネルギー源、特に太陽エネルギーが有望なエネルギー源として広く調査され、その中で太陽電池のリサイクルが重要であることを明らかにした。インジウムやガリウムなどの希少金属は、太陽電池の製造に利用されており、太陽電池を利用するためには、これらの希少金属を適切にリサイクルする必要があることを明らかにした。

第 2 章は、使用済み IT0, IGZO および CIGS ターゲット材それぞれの特性、リサイクル方法、材料の評価を行い、ターゲット材料のリサイクルの必要性を明らかにした。さらに、効果的な分離方法および評価について明らかにした。

第 3 章は、使用済み IT0 ターゲット材からインジウムとスズを分離回収する新手法を提案している。IT0 を濃塩酸で溶解させた後、浸出液を蒸留して塩酸を再利用し、インジウムおよびスズを結晶化させる。次に、得られた結晶を塩化チオニル溶液に混合して還流し、結晶水を除去する。混合物を分離することにより、無水塩化インジウム、四塩化スズ、塩化チオニルを一回の操作で分離することができた。

第 4 章は、使用済み IGZO ターゲット材からインジウム、ガリウム、亜鉛を溶媒抽出により、回収方法を提案している。本プロセスは、浸出、高濃度の酸中での溶媒抽出、ストリッピング、低濃度の酸中での再抽出、再ストリッピング、続いてガリウムとインジウムと亜鉛粉のセメンテーション法から構成される。

第 5 章は、使用済み CIGS ターゲット材から銅、インジウム、ガリウム、およびセレンを分離して回収するための新しいアプローチを提案している。CIGS の浸出溶液

は、セレンと銅を回収するために、2段階の電着プロセスを行い、得られた溶液を蒸留して塩酸を再循環させ、インジウムおよび塩化ガリウムイオンを結晶化させた後、塩化チオニルを還流することによって水和物を脱水する。その後、塩化インジウムは、濾過することによって塩化ガリウムから高効率で分離することができた。

第6章は以上の結果を総括し、本リサイクル手法の結果と本論文の寄与とさらなる課題などが整理されている。

以上、本研究で開発された手法により、使用済みITO, IGZO, CIGSターゲット材から高効率で金属を抽出する指針が明らかにされており、工学的寄与の非常に高い結果が得られていると言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。