

審査の結果の要旨

氏名 龍 顯得

本論文は、「光照射ケルビンプローブフォース顕微鏡による光起電力計測を通じた Cu(In,Ga)Se_2 太陽電池の局所的物性評価」と題し、高い空間分解能で表面電位を計測できるケルビンプローブフォース顕微鏡を光照射下にて動作させることによって、 Cu(In,Ga)Se_2 [以下、CIGS] 太陽電池における光起電力計測を実現するとともに、同太陽電池中の光励起キャリアダイナミクスなどの局所的な物性の評価を行った結果について述べたものであり、全7章から成っている。

第1章は「序論」であり、本研究の背景を解説している。地球温暖化やエネルギー問題への対応策として注目されている太陽電池についてその動作原理等を概説するとともに、本研究において注目した CIGS 系太陽電池の研究背景に言及している。また、局所領域における表面電位計測を実現するためのケルビンプローブフォース顕微鏡技術の動作原理について述べている。さらに、本論文の構成を述べている。

第2章は「光照射ケルビンプローブフォース顕微鏡」と題し、本測定で使用した光照射ケルビンプローブフォース顕微鏡（以下、P-KFM）の基本構成や特徴を述べた後、P-KFM による光起電力ならびにその減衰特性の測定原理を述べている。特に、P-KFM において、照射光を ON-OFF 変調した際の変調周波数と P-KFM で観測される時間平均光起電力の関係から光起電力の減衰特性を抽出する独自の手法について、その計測原理を述べるとともに、基本的な実験系を示している。

第3章は「CIGS 太陽電池試料の構造と基本特性」と題し、被測定試料として用いた CIGS 太陽電池試料について、その構造や太陽電池としての基礎特性、AFM で観測された表面形状、等について述べている。

第4章は「連続光を用いた Cu(In,Ga)Se_2 太陽電池の光起電力評価」と題し、連続光照射下での各試料の光起電力特性について述べている。特に、照射光強度依存性や照射光波長依存性の測定を通じて、光励起キャリアの生成・再結合過程について検討し、微結晶材料である CIGS 中の結晶粒界がもたらす影響や同材料固有のバンドダイアグラムとの関連性などを議論している。

第5章は「変調光を用いた Cu(In,Ga)Se₂ 太陽電池の時間平均光起電力測定」と題し、P-KFMにおいて照射光を ON-OFF 変調した際に観測される時間平均光起電力と変調周波数の関係から、速い再結合過程によって消滅する光励起キャリアがもたらす光起電力が全体の光起電力に占める割合 r や、遅い再結合過程の時定数 τ などの特徴的なパラメータを抽出した結果について述べている。特に、励起光強度や励起光波長に対して r や τ といったパラメータがどのように依存するかを明らかにするとともに、CIGS 中の Ga 組成の違いによる各パラメータの差異を議論している。さらに、 r というパラメータが太陽電池の変換効率の善し悪しとよく対応づけられることを指摘している。

第6章は「CIGS 太陽電池の光励起キャリア再結合プロセスのモデル」と題し、第4、5章で示した測定結果を統合的に説明する光励起キャリアの再結合過程のモデルを提唱するとともに、Ga 組成の差異による CIGS 太陽電池特性の違いなどについても言及している。

第7章は「結論と今後の課題」と題し、本論文全体の研究成果をまとめて要約するとともに、今後の展望について述べている。

以上これを要するに、本論文は、光照射ケルビンプローブフォース顕微鏡を利用した CIGS 太陽電池における光起電力計測を通じて、速い再結合過程が占める割合 r や遅い再結合過程の時定数 τ といったパラメータの抽出を行い、太陽電池特性の善し悪しと対応づけられるパラメータとしての r の重要性、 r や τ などのパラメータと CIGS 中バンドダイアグラムとの関連性や照射光強度および波長に対する依存性、さらには、CIGS 中 Ga 組成との対応関係、などを明らかにするとともに、それらを統合的に説明する光励起キャリアの再結合過程のモデルを提示するなど、CIGS 太陽電池材料についての物性面での理解を深化させ、同材料の応用上有益な知見を示したものであり、電子工学上、寄与するところが少なくない。

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。