

論文内容の要旨

博士論文題目 Detection of Defects and Characterization of Photoelectric Properties
in Crystalline Silicon Solar Cells by Electroluminescence Imaging
(結晶系シリコン太陽電池におけるエレクトロルミネッセンスイメージング法
を用いた欠陥の検出と光電変換特性の解析)

氏 名 杉村 恵美

(論文内容の要旨)

太陽電池の空間的な欠陥評価法としてエレクトロルミネッセンス (EL) イメージング法が注目されている。従来の EL 法では太陽電池全体の欠陥を撮像することはできたが、それらの欠陥種の同定や位置の特定は困難であった。順方向と逆方向バイアスでは異なる機構で EL 発光が起きる。順方向バイアス印加時の EL (EL_F) は、バンド間遷移による発光であるため存在する少数キャリアの総数に比例する。逆方向バイアス印加時の EL (EL_R) は、空乏層中の電氣的に活性な欠陥領域で発生するホットキャリアの再結合や制動輻射による。そのため、 EL_R は素子特性の劣化や発熱をもたらすシャント (漏れ電流) 起源の発見技法として期待されている。そこで、本論文では、EL 法を用いて結晶中に存在する外因的欠陥や内因的欠陥を分別し、空間的な位置を特定した。また、電氣的に活性的な欠陥を検出し、素子の光電変換特性との関連を議論した。得られた成果は以下のとおりである。

① EL_F 像による欠陥の同定

欠陥領域の EL_F 発光強度の温度依存性について検討した。各欠陥領域において高温時に発光強度の変化量に差が確認された。外因的欠陥と内因的欠陥に分別したバンドモデルを提案した。これより、従来の EL イメージング法では不可能であった欠陥種の同定に成功した。

② 分光 EL_F 像による深さ方向解析

発光波長による Si の吸収長の違いを利用した分光 EL_F 像により結晶欠陥の深さの検討を行った。パッシベーション膜堆積前後における界面改質効果を利用し、深さ方向を分別した EL_F 像が得られているかを検討した。これにより分光 EL_F 像は欠陥の深さ方向における位置や欠陥の分別が可能であることを確認した。

③ EL_R 像によるシャントの検出

EL_F 像と EL_R 像を比較することで、個々のシャント領域における欠陥の分別および太陽電池特性への影響について調べた。 EL_F 像で欠陥により発光が減少している場所において、 EL_R の発光の有無が異なる領域を確認した。さらに、発熱像の結果と比較することで、電子準位状態の異なる二種類の欠陥モデルを提案した。また、欠陥の起源物質について言及した。

④ シャント領域による太陽電池特性への影響

フォトリソグラフィを用いてシャント欠陥数の異なる素子を分離し、それぞれで EL 評価、発熱特性、ならびに太陽電池特性の比較を行った。 EL_R 発光強度ならびにその数はリーク電流の大小に関係し、太陽電池特性に大きな影響を及ぼすことが確認された。

本論文において、EL イメージング技術において、分光法や順・逆双方向バイアス下の総合的な解析法を駆使することにより、結晶系 Si 太陽電池の局所的な欠陥種やシャントの同定と深さ方向を含めた空間的な位置の特定が可能になった。これにより、EL イメージング法は太陽電池開発および信頼性の向上に向けた診断法としてより活用できることが示された。

(論文審査結果の要旨)

太陽電池の空間的な欠陥評価法としてエレクトロルミネッセンス (EL) イメージング法が注目されている。従来の EL 法では太陽電池全体の欠陥を撮像することはできたが、それらの欠陥種の同定や位置の特定は困難であった。順方向と逆方向バイアスでは異なる機構で EL 発光が起きる。順方向バイアス印加時の EL (EL_F) は、バンド間遷移による発光であるため存在する少数キャリアの総数に比例する。逆方向バイアス印加時の EL (EL_R) は、空乏層中の電氣的に活性な欠陥領域で発生するホットキャリアの再結合や制動輻射による。そのため、 EL_R は素子特性の劣化や発熱をもたらすシャント (漏れ電流) 起源の発見技法として期待されている。そこで、本論文では、EL 法を用いて結晶中に存在する外因的欠陥や内因的欠陥を分別し、空間的な位置を特定した。また、電氣的に活性な欠陥を検出し、素子の光電変換特性との関連を議論した。得られた成果は以下のとおりである。

① EL_F 像による欠陥の同定

欠陥領域の EL_F 発光強度の温度依存性について検討した。各欠陥領域において高温時に発光強度の変化量に差が確認された。外因的欠陥と内因的欠陥に分別したバンドモデルを提案した。これより、従来の EL イメージング法では不可能であった欠陥種の同定に成功した。

②分光 EL_F 像による深さ方向解析

発光波長による Si の吸収長の違いを利用した分光 EL_F 像により結晶欠陥の深さの検討を行った。パッシベーション膜堆積前後における界面改質効果を利用し、深さ方向を分別した EL_F 像が得られているかを検討した。これにより分光 EL_F 像は欠陥の深さ方向における位置や欠陥の分別が可能であることを確認した。

③ EL_R 像によるシャントの検出

EL_F 像と EL_R 像を比較することで、個々のシャント領域における欠陥の分別および太陽電池特性への影響について調べた。 EL_F 像で欠陥により発光が減少している場所において、 EL_R の発光の有無が異なる領域を確認した。さらに、発熱像の結果と比較することで、電子準位状態の異なる二種類の欠陥モデルを提案した。また、欠陥の起源物質について言及した。

④シャント領域による太陽電池特性への影響

フォトリソグラフィを用いてシャント欠陥数の異なる素子を分離し、それぞれで EL 評価、発熱特性、ならびに太陽電池特性の比較を行った。 EL_R 発光強度ならびにその数はリーク電流の大小に関係し、太陽電池特性に大きな影響を及ぼすことが確認された。

以上のように、本論文において、EL イメージング技術において、分光法や順・逆双方向バイアス下の総合的な解析法を駆使することにより、結晶系 Si 太陽電池の局所的な欠陥種やシャントの同定と深さ方向を含めた空間的な位置の特定が可能になった。これにより、EL イメージング法は太陽電池開発および信頼性の向上に向けた診断法としてより活用できることが示された。その成果は、学術的に新しい知見を見出していると同時に、クリーンエネルギー源として期待されている結晶系シリコン太陽電池の今後の進展に大きな寄与を果たすものと判断され、審査委員一同は、本論文が博士 (工学) 論文として価値あるものと認めた。