

氏名（本籍）	阪本 貞夫（京都府）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	乙第 64 号
学位授与日付	平成 21 年 3 月 25 日
専攻	環境エネルギーシステム専攻
学位論文題目	太陽電池モジュール信頼性および強誘電体結晶表示素子の研究 (Reliability of photovoltaic modules and ferroelectric display devices)
学位論文審査委員	(主査) 教授 野々村 修 一 (副査) 教授 安田 直彦 教授 小林 智尚 准教授 伊藤 貴 司

論文内容の要旨

本論文は電力用シリコン結晶系太陽電池モジュールの信頼性、アモルファスシリコン太陽電池（民生用）の熱安定性および強誘電体光学結晶SBNの表示素子への応用に関する成果を纏めたものである。

太陽光発電装置は再生可能なエネルギー源として大きな期待を寄せられている。特に電力用太陽電池は太陽の直射光に曝された過酷な環境下で建材並みの耐久性を要求される。長期暴露試験や長期の実使用により劣化したモジュールを探し出し、それを解析するという従来の手法と異なり、本論文では約10年間稼動したシリコン結晶系太陽電池モジュールの電気特性を精密に測定し、10年前の初期値と比較することにより経年変化を解析する手法を提案している。1990年から1992年にかけて日本の代表的メーカー4社によって製造された約2,000個にのぼる結晶系太陽電池モジュールから約7%に当たる145個のモジュールを抽出し、10年経過前後の電流電圧特性を精密に測定している。さらに電流電圧特性から得られる各特性値の変化量を求め解析し、10年後の出力低下の分布を求めて平均4.7%低下していることを明らかにした。これは20年で平均9.4%、30年で平均14.1%の出力低下が予想されることを意味し、産業界が目標としている30年後に最大出力の低下が初期値の10%以内という水準にはまだ達していない。しかし現在ヨーロッパにおいて行われている信頼性の保証水準「10年後に初期最大出力の90%以上、20年後に80%以上を保証する」という水準は十分満たしていることを明らかにしている。さらにその原因となる劣化モードが三種類に集約できることを見出した。出力低下の大きいモジュールの不良解析を行い、劣化メカニズムの解明を試みた。これによって30年の寿命（目標）を保証する加速試験のあり方や、長寿命化するための課題を明らかにした。

アモルファスシリコン材料ではいかなる現象が寿命を律するのかを高温加速試験によって確認した。150℃以上では室温とは異なる劣化過程が進行する事がわかり140℃以下の温度で20,000時間の試験を実施した。アルミニウム電極のa-Si:H太陽電池は開放電圧(V_{oc})の低下を伴う変換効率の低下を生じて劣化していくことを明らかにした。この劣化はアルミニウムの拡散によって生じることを示した。また劣化の時間分布を解析し、拡散速度が異なる複数の拡散過程が存在する可能性を指摘した。電卓用電源としては室温では100年以上の使用寿命が期待できることを明らかにした。

光バルブ方式の表示素子の開発を行うために、強誘電体電気光学結晶、SBN (Strontium Barium Niobate, $Sr_xBa_{1-x}NbO_3$) の結晶成長を行い、その物性を調べ、表示素子への応用を行っている。斜めに切断研磨して縦モードで使用する方法を提案し、それまで使われていた縦型電気光学結晶よりも2桁程度低い電圧での動作を実現した。また、強誘電体SBNの単結晶を育成すると共に、結晶の加工法を検討し、白色光源を用いて色相を変化させる数字表示素子を試作した。電気光学応答では、一次電気光学効果に加えて記憶効果がある異常な電気光学応答を見出した。この異常電気光学応答は強誘電体結晶の分極状態の変化に対応していることを明らかにし、これを利用して電極駆動の光バルブアレイや光入力方式の表示素子を実現し、表示素子としての可能性や課題を検討した。また記憶効果を持つ電気光学特性は散漫相転移 (diffuse phase transition) を示す強誘電体材料に共通する効果である可能性を示した。

論文審査結果の要旨

本論文（論文博士）の内容は、電力用シリコン結晶系太陽電池モジュールの信頼性、アモルファスシリ

コン太陽電池（民生用）の熱安定性および強誘電体光学結晶SBNの表示素子への応用に関する研究成果をまとめたものである。

再生可能なエネルギー源として太陽光発電装置は大きな期待を寄せられている。特に電力用太陽電池は太陽の直射光に曝された過酷な環境下で建材並みの耐久性を要求される。長期暴露試験や長期の実使用により劣化したモジュールを探し出し、それを解析するという従来の手法と異なり、本論文では約10年間稼動したシリコン結晶系太陽電池モジュールの電気特性を精密に測定し、10年前の初期値と比較することにより経年変化を解析する手法を提案している。1990年から1992年にかけて日本の代表的メーカー4社によって製造された約2,000個にのぼる結晶系太陽電池モジュールから約7%に当たる145個のモジュールを抽出し、10年経過前後の電流電圧特性を精密に測定している。さらに電流電圧特性から得られる各特性値の変化量を求め解析し、10年後の出力低下の分布を求めて平均4.7%低下していることを明らかにした。これは20年で平均9.4%, 30年で平均14.1%の出力低下が予想されることを意味し、産業界が目標としている30年後に最大出力の低下が初期値の10%以内という水準にはまだ達していない。しかし現在ヨーロッパにおいて行われている信頼性の保証水準「10年後に初期最大出力の90%以上、20年後に80%以上を保証する」という水準は十分満たしていることを明らかにしている。さらにその原因となる劣化モードが三種類に集約できることを見出した。出力低下の大きいモジュールの不良解析を行い、劣化メカニズムの解明を試みた。これによって30年の寿命（目標）を保証する加速試験のあり方や、長寿命化するための課題を明らかにした。

アモルファスシリコン材料においては、いかなる現象が寿命を律するのかを高温加速試験によって確認した。150℃以上では室温とは異なる劣化過程が進行する事がわかり140℃以下の温度で20,000時間の試験を実施した。アルミニウム電極のa-Si:H太陽電池は開放電圧(V_{oc})の低下を伴う変換効率の低下を生じて劣化していくことを明らかにした。この劣化はアルミニウムの拡散によって生じることを示した。また劣化の時間分布を解析し、拡散速度が異なる複数の拡散過程が存在する可能性を指摘した。電卓用電源としては室温では100年以上の使用寿命が期待できることを明らかにした。

強誘電体電気光学結晶、SBN (Strontium Barium Niobate, $Sr_xBa_{1-x}NbO_3$) を用いた行った。斜めに切断研磨して縦モードで使用方法を提案し、それまで使われていた縦型電気光学結晶よりも2桁程度低い電圧での動作を実現した。また、強誘電体SBNの単結晶を育成すると共に、結晶の加工法を検討し、白色光源を用いて色相を変化させる数字表示素子を試作した。電気光学応答では、一次電気光学効果に加えて記憶効果がある異常な電気光学応答を見出した。この異常電気光学応答は強誘電体結晶の分極状態の変化に対応していることを明らかにし、これを利用して電極駆動の光バルブアレイや光入力方式の表示素子を実現し、表示素子としての可能性や課題を検討した。また記憶効果を持つ電気光学特性は散漫相転移 (diffuse phase transition) を示す強誘電体材料に共通する効果である可能性を示した。

最終試験結果の要旨

(1) 公表論文

この論文の主要な部分は論文として発表済み（審査付きジャーナル誌論文5編、審査付き国際会議論文3編）であり、この論文が学位論文として完成された内容であることを確認した。

(2) 学力確認

専攻分野について口頭試問を行い、申請者が学位を授与するに十分な専門的知識を有することを確認した。

(3) 公聴会

公聴会を開催して審査を行った。学位審査委員会にて審議を行い、最終試験に合格と判断した。