



東北大学

平成 25 年 7 月 26 日

報道機関 各位

東北大学金属材料研究所

Si 結晶基板の品質と太陽電池特性を瞬時に判定！

—電流変調四探針抵抗率測定法

(Current-Modulating Four-Point-Probe (CMR) Method) の開発—

<概要>

東北大学金属材料研究所の藩伍根博士らは、太陽電池用 Si 結晶基板の新しい品質評価方法を開発しました。Si 太陽電池のエネルギー変換効率は、Si 結晶基板中の不均質性(あらゆる欠陥および不純物の分布)に大きく依存しますが、基板全体に空間的に存在する不均質性を、1つの測定値として評価し、得られた評価値から太陽電池特性を予測できる方法はこれまでありませんでした。今回開発した方法は、Si 結晶基板中に存在する不均質性を反映した品質評価値を測定することが可能であり、太陽電池を作製しなくても太陽電池特性を判定することが可能な、従来に無い新しい評価方法です。本開発成果は、太陽電池用 Si 結晶基板の品質評価のみならず、太陽電池製造技術の優劣をも評価できる方法であり、次世代シリコン太陽電池の低コスト化・高効率化および太陽電池産業の発展に大きく貢献する技術です。本研究成果は、Applied Physics Letters 誌に掲載予定です。

<背景>

従来、Si 結晶メーカーにおける太陽電池用 Si 結晶基板の出荷検査や太陽電池セルメーカーにおける結晶基板の仕入れ検査などでは、少数キャリアのライフタイムを測定する反射マイクロ波光導電減衰法(μ -PCD)や、少数キャリアの拡散長を測定する表面光起電力法(Surface Photovoltage (SPV))が Si 結晶基板の品質評価方法として用いられてきました。Si 結晶基板中には、空間的に、転位、空孔クラスター、不純物、不純物クラスター、結晶粒界、応力などの欠陥が不均一に分布しているため、 μ -PCD 法やSPV法で少数キャリアのライフタイム値や拡散長値を基板全体に対して測定すると、それらの値が基板内ではばらつきます。この値のばらつきは、Si 結晶基板の不均質性を表していると考えられます。しかしながら、このばらついた測定値の平均値あるいは最大値(または最

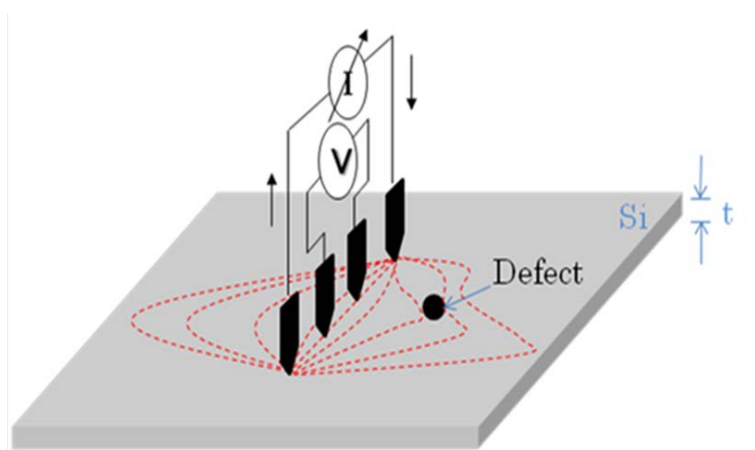
小値)と、太陽電池のエネルギー変換効率の相関が得られないという問題があります。つまり、ライフタイム値や拡散長値の平均値あるいは最大値(または最小値)が大きくても、太陽電池のエネルギー変換効率が低い場合や、逆に、それらの値が小さくても太陽電池のエネルギー変換効率が高くなることがしばしばあります。従って、厳密に言えば、Si 結晶基板の太陽電池特性を知るためには、太陽電池を製造してエネルギー変換効率を測定するしか方法がありません。しかしながら、太陽電池を製造するにはコストや時間を消費しなければならないため、現状では、ライフタイム値や拡散長値の平均値や最大値(または最小値)によって、Si 結晶基板の出荷または仕入の可否が判別されております。

この問題を解決するためには、Si 結晶基板の品質評価値から、結晶品質と太陽電池のエネルギー変換効率を瞬時に判定することが可能な新規の結晶品質評価方法の開発が強く求められております。

<研究開発の内容>

このたび、東北大学金属材料研究所の藩伍根博士らは、太陽電池用 Si 結晶基板の新しい結晶品質評価方法として、電流変調四探針抵抗率測定法 (Current-Modulating Four-Point-Probe (CMR) Method)を開発しました(特許出願済)。一般的に、四探針抵抗率測定法は、Si結晶の抵抗率 ρ [$\Omega \cdot \text{cm}$]を測定するために用いられていますが、今回開発した方法は、この一般的な装置を応用して Si 結晶基板の品質を瞬時に評価する方法です。

図 1 に、今回開発したCMR法の概略を示しています。本方法は、四探針抵抗率測定装置を基本として、両端探針間に連続的に電流量を変化させた変調電流を流します。注入する電流量を変化させることにより、太陽電池の変換効率に影響を及ぼす Si 結晶基板内のあらゆる不均質性(様々な欠陥および不純物の空間分布)に起因して、両端探針間の電力線の密度変化又はその対称性・非対称性が発生するため、太陽電池のエネルギー変換効率に寄与する実効抵抗値(実効少数キャリアの数)を求めることができます。



Current Modulating Four-Point-Probe Method (CMR)
電流変調四探針抵抗率測定法

図 1 電流変調四探針抵抗率測定法 (CMR 法) の概略

CMR法により Si 結晶基板を測定すると、横軸に変調電流量、縦軸に抵抗値又は抵抗率を表すグラフが描けます (CMRパターン、図 2)。CMRパターンを描いた際に、抵抗値が一定の値に飽和する電流の範囲 ($I_{th} - I_s$; 結晶品質パラメータ) が得られ、これが Si 結晶基板の品質を決める値となります。

例えば、図 2 に示されているように、基板内の不均質性が大きい Si 多結晶基板 (Extreme nonuniform MC-Si) では、CMRパターンから得られる結晶品質パラメータは非常に小さくなり、品質が悪いことがわかります。一方、基板内の不均質性が小さな Si 単結晶基板 (CZ-Si) では、CMRパターンから得られる結晶品質パラメータは大きくなり、品質が良いことがわかります。

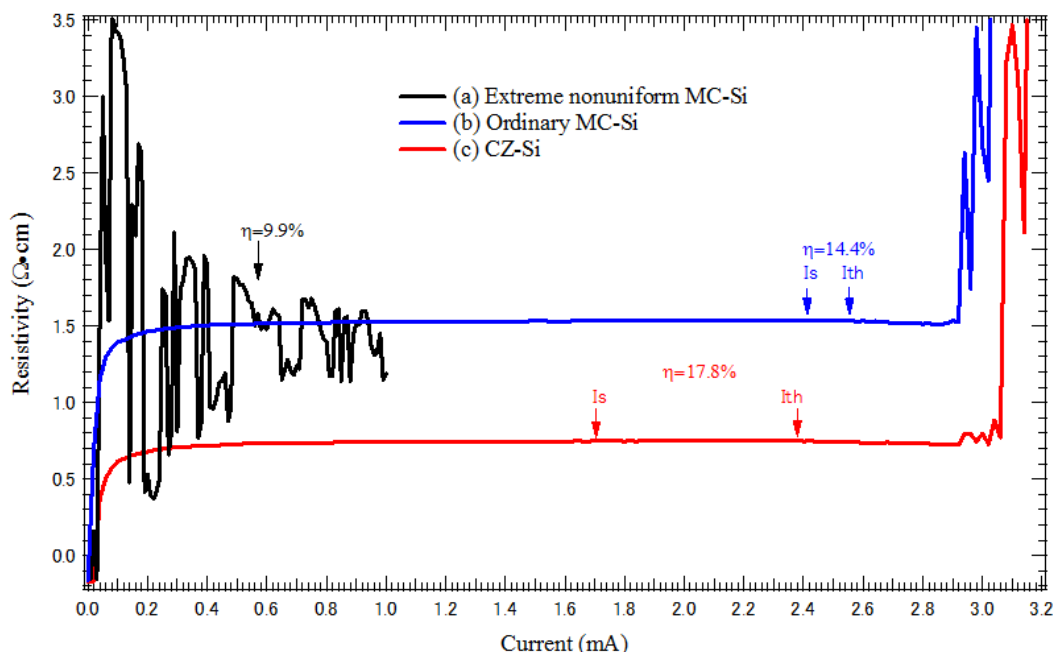


図 2 CMR 法によって得られる CMR パターン。黒線と青線：品質の異なる Si 多結晶基板、赤線：Si 単結晶基板の測定結果。

図 3 は、横軸に結晶品質パラメータをとり、縦軸に太陽電池のエネルギー変換効率(実測値)をとってプロットしたグラフです。図 3 に示されるように、結晶品質パラメータが大きな Si 結晶基板ほど、太陽電池のエネルギー変換効率が高くなっており、結晶品質パラメータとエネルギー変換効率の間に相関が得られることは明確です。つまり、CMR 法により結晶品質パラメータを測定すれば、太陽電池を製造しなくても太陽電池のエネルギー変換効率を予測することが可能となります。

本研究で開発した CMR 法の利点を下記にまとめます。

1. 簡便な方法(四探針抵抗率測定装置)で、Si 結晶基板の品質評価が可能
2. Si 結晶基板全体の品質が反映された品質評価値(結晶品質パラメータ)の測定が可能
3. 結晶品質パラメータにより、太陽電池のエネルギー変換効率の予測が可能
4. 太陽電池を製造する前に、Si 結晶基板の善し悪しの判定が可能

現在、一般的に用いられている少数キャリアライフタイム測定法や拡散長測定法は、太陽電池を製造する前の Si 結晶基板の品質評価値と太陽電池のエネルギー変換効率との相関が得られないという問題を抱えています。しかしながら、本開発技術である CMR 法は、Si 結晶基板の品質評価値と太陽電池のエネルギー変換効率との相関が得られることから、品質評価値から太陽電池特性を予測することが可能となります。

また、本方法は、一般的な四探針抵抗率測定装置を基本としていますので、測定装置のコストが低く、簡便な方法で Si 結晶基板の品質評価が可能です。

今回は CMR 法を Si 結晶基板に適用しましたが、本方法は、他の太陽電池用結晶材料基板、アモルファス基板、ドット型基板、ナノワイヤー型基板へも幅広く転用可能と考えられます。

以上述べたように、本方法は、従来の太陽電池用 Si 結晶基板の品質評価法の本質的な問題を解決でき、短時間に Si 結晶基板の品質評価ならびに太陽電池特性評価が可能な方法です。

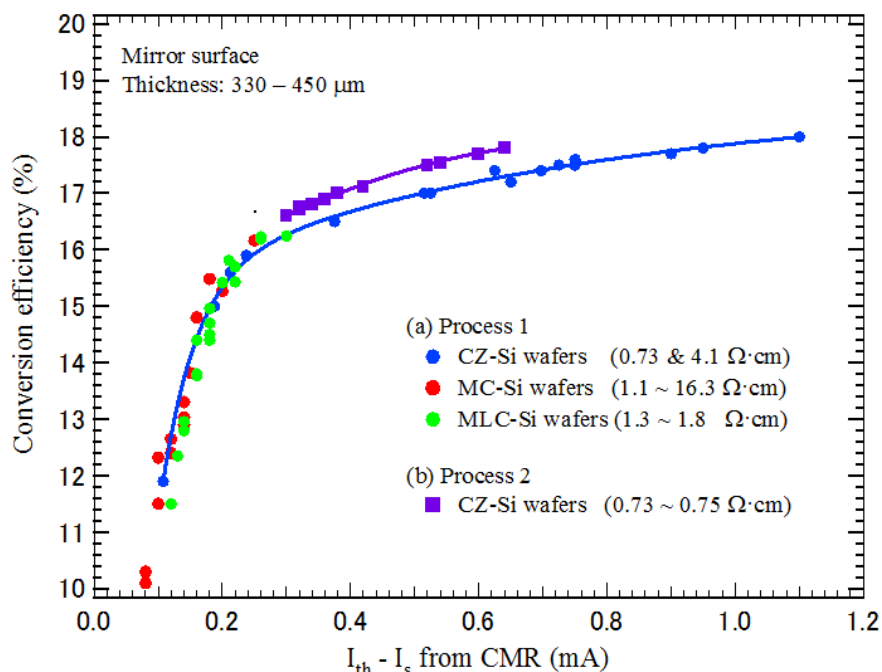


図3 CMR パラメータと太陽電池エネルギー変換効率の相関。

<今後の展開>

今回の研究開発成果は、Si 結晶基板の品質を高精度かつ短時間に評価できる基板判定技術(数秒～数分)であり、本方法による品質評価値から太陽電池のエネルギー変換効率の予測が可能であるため、太陽電池産業界への広範な用途が考えられます。

今後は、実用サイズ基板の評価に最適な、四探針プローブの開発、変調電流および測定電圧の高精度化を進め、実用化を加速します。

(お問い合わせ先)

東北大学金属材料研究所

担当：藩 伍根 博士

e-mail : wugenpan@imr.tohoku.ac.jp

電話番号 : 022-215-2102

東北大学金属材料研究所

担当：藤原 航三 准教授

e-mail : kozo@imr.tohoku.ac.jp

電話番号 : 022-215-2102

東北大学金属材料研究所

担当：宇田 聡 教授

e-mail : uda@imr.tohoku.ac.jp

電話番号 : 022-215-2100

本研究開発成果の一部は、最先端・次世代研究開発支援プログラム「太陽電池用高品質・高均質シリコン多結晶インゴットの成長技術の開発」(GR016、研究代表者：藤原航三)により得られたものです。