

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高移動度・高ヘイズを有する薄膜シリコン太陽電池用フッ素ドーパ酸化スズ透明導電膜の研究
Title(English)	Study of Fluorine Doped Tin Oxide Transparent Conductive Oxide Films with High Mobility and High Haze for Thin-Film Silicon Solar Cells
著者(和文)	一色眞誠
Author(English)	Masanobu Isshiki
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9631号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小長井 誠,山田 明,中川 茂樹,間中 孝彰,宮島 晋介
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9631号, Conferred date:2014/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 電子物理工学 専攻
Department of
学生氏名： 一色 眞誠
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 小長井 誠 教授
Academic Advisor (main)
指導教員 (副)：
Academic Advisor (sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx. 2000 Japanese Characters)

本論文は、「Study of Fluorine Doped Tin Oxide Transparent Conductive Oxide Films with High Mobility and High Haze for Thin-Film Silicon Solar Cells (高移動度・高ヘイズを有する薄膜シリコン太陽電池用フッ素ドープ酸化スズ透明導電膜の研究)」と題し、英文 7 章より構成されている。

第 1 章「Introduction」では、地球温暖化問題を解決していくためには単純計算で 85TW の再生可能エネルギーが必要であること、太陽電池が重要な技術の一つであること、数十テラワット規模の太陽電池を製造するには資源量の制約から薄膜シリコン太陽電池が必要不可欠であることを示している。

第 2 章「Fundamental Properties of Transparent Conductive Oxide for Thin-Film Silicon Solar Cells」では、薄膜シリコン太陽電池に用いられる透明導電膜 (TCO) の電気特性、光学特性について概説し、近赤外での光吸収に支配的であるフリーキャリア吸収を減らすには高移動度化が必要であること、近赤外光を効率よく薄膜シリコン太陽電池の光吸収層に吸収させるためには長波長での高ヘイズ率化が必要であることを述べ、移動度 $80\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、ヘイズ率 90% (波長 1000nm にて) を目標値として設定している。また、本論文で研究対象とした SnO_2 が、 ZnO や In_2O_3 に比べて薄膜シリコン太陽電池用透明導電膜として優れた特性を有していることを述べている。

第 3 章「Improving mobility of SnO_2 :F Thin Films by Low-Pressure Chemical Vapor Deposition and temperature gradient」では、従来大気圧 CVD にて $60\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度の比較的高移動度が得られていた材料 ($\text{SnCl}_4+\text{H}_2\text{O}$) を減圧 CVD に適用することで $72.5\text{cm}^2/\text{Vs}$ の移動度が得られることを見出し、また移動度が極大となる温度が膜厚によって異なることを見出し、成膜中に温度傾斜をつけることで $77.5\text{cm}^2/\text{Vs}$ の高移動度を達成している。

第 4 章「Scattering Mechanisms in SnO_2 :F Films」では、本研究で得られた SnO_2 :F 膜における移動度のキャリア濃度依存性、温度依存性の測定結果と、各種散乱機構から導かれる移動度の理論値が概ね一致することを示し、高キャリア濃度側ではイオン化不純物散乱、低キャリア濃度側ではグレイン境界散乱が主な散乱機構であることを示している。縮退型半導体に適用できる理論を用い、実測値と理論値の一致を示した初めての報告である。またノンドープ層/Fドープ層を積層することで、結晶配向を保ったままグレインサイズを変化させる検証試験も行い、上記の散乱機構の理解が正しいことが実験的に示している。

第 5 章「Fabrication of SnO_2 :F Films with Both Very High Haze and High Mobility」では、高移動度を保ったまま高ヘイズ率化を実現する技術について述べている。ガラス基板表面に Reactive Ion Etching (RIE) 処理により凹凸を形成し、その上に TCO を成膜する高ヘイズ率化技術 (W-textured TCO) は ZnO で開発されているが、高移動度を持つ SnO_2 :F に適用すると移動度が大幅に低下することが分かった。本研究ではノンドープ/Fドープ層の積層構造を適用することにより厚膜化し、高移動度・高ヘイズ率を満たす基板を作製することに成功した。さらに RIE 処理の圧力を上げることで、超高ヘイズ率化にも成功し、2 章で示した目標値を満たすことが可能になったと述べている。

第 6 章「New method to measure whole-wavelength transmittance of TCO substrates for thin-film silicon solar cells」では、前章で述べた W-textured TCO の透過率測定時にガラス端面から光漏れが発生し、従来の方法 (IM 法) ではこれを解消できないことを指摘し、積分球内にサンプルを設置する新規測定方法の提案を行っている。また、新測定方法の透過率とセル化した量子効率に相関があることを確認し、新測定方法が有効であることを示している。

第 7 章「Conclusions and Future Prospects」では、本研究で達成された成果を要約し、今後の更なる改善に向けた技術課題と解決策について述べている。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 電子物理工学 専攻
Department of
学生氏名： 一色 眞誠
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 小長井 誠 教授
Academic Advisor(main)
指導教員 (副)：
Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis describes the results of research on the transparent conductive oxide (TCO) films of fluorine doped tin oxide ($\text{SnO}_2\text{:F}$ or FTO) for thin-film silicon solar cells. Toward higher efficiency, multi-junction cells have been developed for utilizing the light in near infra-red (NIR) region. Therefore, TCO is required to have (1) higher transparency and (2) higher haze in NIR region.

To achieve (1), reducing carrier concentration and improving mobility are needed. For this purpose, we introduced Low-Pressure Chemical Vapor Deposition (LPCVD) instead of industry used Atmospheric Pressure CVD (APCVD) with SnCl_4 , and introduced temperature gradient, and we achieved high mobility as $77.5\text{cm}^2/\text{Vs}$ from $35\sim 60\text{cm}^2/\text{Vs}$. The scattering mechanisms of free carriers in $\text{SnO}_2\text{:F}$ was analyzed by comparing the measured data and theoretical value, and we found that the scattering mechanisms are different around carrier concentration $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$. Ionized impurity scattering is dominant above this concentration, and grain barrier scattering is dominant below this.

To achieve (2), we combined Reactive Ion Etching (RIE) processed glass substrates and $\text{SnO}_2\text{:F}$ with high mobility by LPCVD. (This configuration is called as "W-textured TCO".) However, we found that mobility dropped drastically on RIE processed glass. To avoid the drop, we adopted non-doped / F-doped stacked configuration. By combining RIE processed glass and $\text{SnO}_2\text{:F}$ with high mobility and the stacked configuration, TCO substrate with both high mobility and high haze was realized. We also found that haze ratio can be increased by increasing RIE process pressure from 7 Pa to 15 Pa, and we achieved TCO substrates with high mobility ($\sim 80\text{cm}^2/\text{Vs}$), high haze ($\sim 90\%$ at wavelength 1000nm), and low carrier concentration. By cell evaluation with $\mu\text{c-Si:H}$ single cell and a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ tandem cell, we confirmed higher efficiency with W-textured FTO than with W-textured ZnO:B. We also established new method of measuring optical properties of W-textured FTO.

From the above results, we can conclude that this newly developed W-textured FTO is the promising candidate for achieving higher conversion efficiency.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).