



n-DLC/p-Si 薄膜太陽電池のPLD 成膜と開放電圧の改善法

Improvement Method in Open-Circuit Voltage of Thin-Film n-DLC/p-Si Photovoltaic Cell by Infrared Assisted Pulsed Laser Deposition





研究背景

発電時にCO₂を排出しない発電事業の経済市場が拡大 太陽電池関連事業の発展が期待

現在:Si単・多結晶太陽電池(安価・低効率)、 化合物系太陽電池(高価・高効率)が中心

効率良く光エネルギーを吸収するため タンデム方式が主流



安価:Siのようなありふれた材料 高効率:吸収波長領域を変化できる

安価·高効率





Discharge Plasma & Laser Laboratory, College of Science & Technology, Nihon University



DLC(Diamond Like Carbon)について













成膜方法

パルスレーザ堆積法(PLD法)

低気圧中でターゲットにレーザを照射することによって、対向する基板に飛び出した粒子 群(アブレーションプルム)を堆積させる方法

利点

- ターゲットの組成とほぼ同一の組成
- 成膜が簡易で短時間
- ターゲット交換のみで種々の薄膜を作成可能
- 雰囲気ガスの選択、条件を自由に選択
- アブレーションによる放出粒子に、数eVを超える高速 粒子の存在

欠点

- 粒子径が一定ではない
- 均一成膜が難しい
- ドロップレットが生成し やすい







成膜方法

| | p-type Si | | ▫ 基板洗浄 |
|-------------------|------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 巫叔 (10mm*10mm) | SiO ₂ | ターゲットバルク作製 | p-Si→有機溶剤にて洗浄後、 |
| リン濃度 | 1.0 wt% | 炭素、リン粉末を混ぜ、 | フッ化アンモニウムによる 酸化 堕除去 |
| 基板間距離 | 25 mm | 金型で圧縮形成 | |
| 雰囲気 | Ar | | _ SiO ₂ →有機溶剤にて洗浄 |
| 気圧 | 1.33 Pa | Infrared heater | - |
| レーザ照射時間 | 15 min | | |
| | 373 K | | |
| | 473 K | | |
| 基板温度 | 573 K | | |
| | 673 K | | |
| | 773 K | | |
| 加熱方法 | セラミックヒーター | To vacuum pump Target bulk | Ar Substrate |
| | 赤外光ランプ | | c |

6





ラマン分光分析結果







ラマン分光分析結果



Disorder/Graphiteの強度 ピーク比は成膜時の基板温 度が上昇するに従い Graphite構造に起因する ピーク強度が減少し、一定の 比率を保つ。

sp³結合: 絶縁性の結合 sp²結合: 導電性の結合

sp³/sp²の強度ピーク比は基 板温度上昇に依らず変化は 小さい。





透過率測定によるバンドギャップ算出結果



$$\alpha = \frac{1}{L}\log(\frac{T}{T_o})$$

光学バンドギャップ $(\alpha h\nu)^{1/2} = A(h\nu - Eg)$ 直接遷移ギャップ $(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - Eg)$

h:プランク定数, v: 振動数, α: 吸光係数 E_g: バンドギャップ, A: 比例定数, L: 膜厚, T_o: 入射光, T: 透過光

J. Tauc, R. Grigorovici, and A. Vancu: Phys. Status Solidi (a) 15 (1966) 527





透過率測定によるバンドギャップ算出結果







電流-電圧特性

- 比較的DLCと仕事関数が近いAuをスパッタ法により蒸着させ、線(1mm*5mm)電極に 成膜。Au/n-DLC/p-Si/Auとした。
- 疑似太陽光(Xe lump: 100mW/cm²)を照射し、測定した。







X線光電子分光分析結果







加熱方法による差異





2cm×2cmの基板で成膜すると膜厚の違いによる干渉縞が顕著に見える。 等間隔に電極をプロットし、V-I特性を測定

成膜位置による セラミックヒーター加熱と赤外光加熱の 差異を検討





加熱方法による差異



K. Takayama, K. Suzuki: Applied Physics A volume 101, Number 4, 727-733





まとめ

目的

- ・ リンドープn型DLC薄膜の成膜
- ・ 開放電圧改善による公称変換効率ηの改善 まとめ
- ラマン分光分析では、DLCの構造は基板温度上昇でGピークが減少し、G,Dpeak値が等し い構造に変化。
- バンドギャップ算出結果では、直接遷移ギャップはE_{dg}=3.3eV前後、基板温度上昇に伴い 光学バンドギャップはE_{og}=1.2~0.4eVと縮小。
- • 電流-電圧特性では、p-SiとのPN接合により、半導体特性、光起電力を確認。473K条件時のV_{oc}=2.4V、I_{scd}=1.0µA/cm²がともに最大。
 公称変換効率η 0.02% → 3%に上昇
- XPS測定結果より、sp³/sp²ピーク比は上昇傾向。深さ方向へのXPS測定結果では、DLC層 とSi層の中間にSiとCの結合層を確認。

DLC層とSi層の中間に高バンド層を生成することで開放電圧上昇 低温でSiC生成の可能性