

## 電界支援パルスレーザー堆積法によるダイヤモンド状炭素太陽電池の成膜

## Deposition of Diamond-Like Carbon Solar Cells due to the electric field assisted pulsed laser deposition Method

○塚原啓介<sup>1</sup>, 原良太<sup>1</sup>, 青柳佳希<sup>2</sup>, 胡桃聡<sup>3</sup>, 鈴木薫<sup>3</sup>, 松田健一<sup>3</sup>Keisuke Tsukahara<sup>1</sup>, Ryouta Hara<sup>1</sup>, Yoshiki Aoyagi<sup>2</sup>, Satoshi Kurumi<sup>3</sup>, Kaoru Suzuki<sup>3</sup>, and Kenichi Matsuda<sup>3</sup>

Abstract: Boron doped diamond like carbon (DLC) films were deposited on *n*-type silicon substrates by pulsed YAG laser (355 nm) deposition. Consider the condition that DLC solar cell having high power generation efficiency can be applied to a voltage using a PLD method. Check the bonding state of carbon by Raman spectroscopy, and comparing the G / D ratio. G / D ratios were found to be 0.56, 0.63, 0.30 next to each, less amount of defects most if DC-500V electric field of the (on-axis).

## 1. はじめに

ダイヤモンド状炭素 (Diamond-Like Carbon:DLC) はダイヤモンドに類似した炭素薄膜材料である。炭素材料は原子間の結合状態によって様々な結晶構造をとるが、このうち DLC はダイヤモンドとグラファイトの中間的な結晶構造をとる<sup>[1]</sup>。DLC は硬質、耐摩耗性、高い化学的安定性といった特徴を有し、太陽電池などの成膜に応用される<sup>[1]</sup>。DLC の成膜には、パルスレーザー堆積法 (Pulsed Laser Deposition:PLD) を用いる。PLD 法は堆積速度、基板温度、雰囲気ガス圧力などのパラメータを独立して制御することが可能である。本研究では PLD 法を用いて DLC の成膜を行う。Si 基板に電圧を印加することにより Si 基板と DLC の間に SIC を形成させ PIN 接合を実現する。更に off-axis の電界支援により、基板上に付着するドロップレットの量を減らすことで薄膜の特性を向上させることを目的とし、その条件について実験的に検討した。

## 2. 実験方法

DLC 成膜には Fig. 1 の PLD 法を用いる<sup>[2]</sup>。チャンバー内を十分排気し、不活性ガスであるアルゴンを用いて雰囲気を 30 mtorr に調整する。ターゲットバルクはグラファイトの粉末にホウ素 0.05 wt% の粉末を混合し、圧縮成型したものを用いる<sup>[3]</sup>。Si 基板 (n 型, (100) 面, 1-10  $\Omega \cdot \text{cm}$ , SUMCO 社製) とターゲットバルクを対向するようにチャンバー内に置く。このとき集光レンズとターゲットバルクの中心の距離が 220 mm になるようにセットし、ターゲットバルクと基板の距離は 30 mm になるようにセットする。

DLC の成膜については、チャンバー内に置かれたターゲットバルクへ集光したパルスレーザー (LOTIS,LS2147Nd:YAG 波長:355 nm エネルギー:355 mJ/pulse) を 15 分間照射し、アブレーションルームを放出させる。アブレーションルームを Si 基板上に堆

積させることで成膜させる。基板には-500 V 電圧のバイアス電圧が印加されており、アブレーションルーム中の炭素イオンを加速させた。本研究ではターゲットバルクの正面に基板を配置した on-axis と、ターゲットバルクに対して基板を 90° 横に配置した off-axis と、それぞれバイアス電圧を印加した条件にて成膜を行う。off-axis において、ターゲットバルクと基板の距離は 20 × 20 mm とした。成膜された DLC はラマン分光法 (Renishawssystem-1000) を用いて炭素の結合状態を確認した。

アブレーションルームの飛散とチャンバー内気圧 (30 m, 100 m, 1 Torr) およびレーザーエネルギー (7.3, 14.5, 19.0 mJ) について、それぞれハイスピードカメラ (NAC 社製, MEMRECAM HX-3) で撮影し、依存性を求めた。

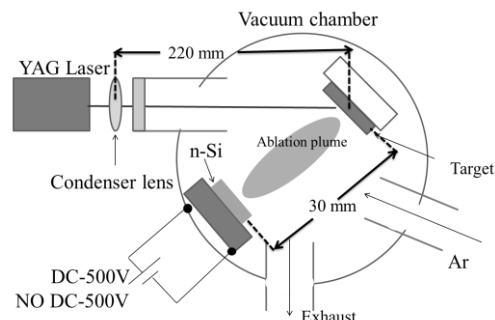


Fig. 1 DC -500V Applied (on-axis)  
DC -500V NO Applied (on-axis)

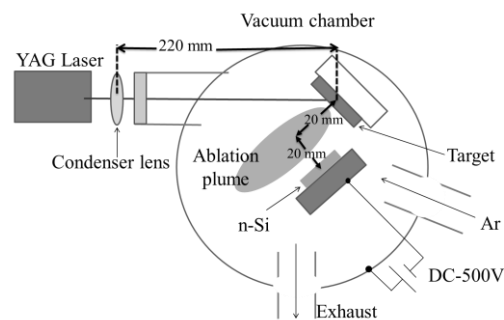


Fig. 2 DC -500 V Applied (off-axis)

3. 実験結果と検討

Fig. 2 に生成した DLC 薄膜の顕微ラマン分光測定結果を示す. 炭素材料のラマンスペクトルにはグラファイト結合に起因する  $1580\text{ cm}^{-1}$  の G peak とダイヤモンド結合に起因する  $1360\text{ cm}^{-1}$  の D peak が確認され, これより DLC が成膜されていることがわかる. また電界支援無し(No electric field(on-axis))の G / D 比は, 0.56 であるのに対し, 電界支援(Electric field(on-axis))した場合は 0.63 であることから, ダイヤモンドよりの DLC が得られた. off-axis 電界支援にて成膜した試料(Electric field(off-axis))の G / D 比は 0.30 で, グラファイトに近い DLC が得られた.

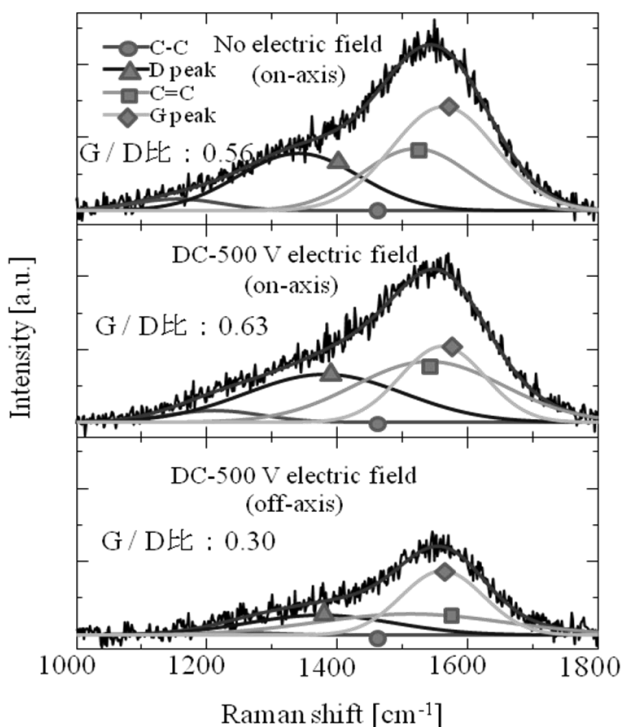


Fig.3 Raman Spectroscopy

Fig. 4, Fig. 5 はターゲットバルクの左隅にレーザを照射した場合のアブレーションプラズマを撮影したものである. 画像では白色になっている 1 番左の部分ターゲットバルクの左隅を表している. Laser Irradiated Portion から右に向かって発光している. 撮影は 0 s から  $2.5\ \mu$  間隔で行った.

Fig. 4 は気圧の値を次の条件 (a): 1000 mTorr(b): 100 mTorr(c): 30 mTorr で変化させ撮影したものである. 気圧が高いほど発光時間が長く, 気圧が低いほど発光時間が短いことがわかる.

Fig. 5 はレーザエネルギーの値を変化させた場合のアブレーションプラズマを撮影したものである. (a): 19

mJ(b): 14.5 mJ(c): 7.3 mJ レーザエネルギーが高いほど発光領域が広く, レーザエネルギーが低いほど発光領域が狭いことがわかる.

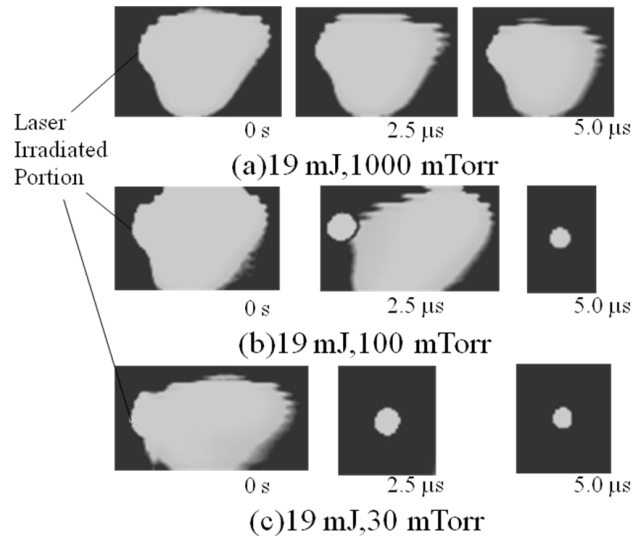


Fig. 4 Ablation Plume(Change Air Pressure)

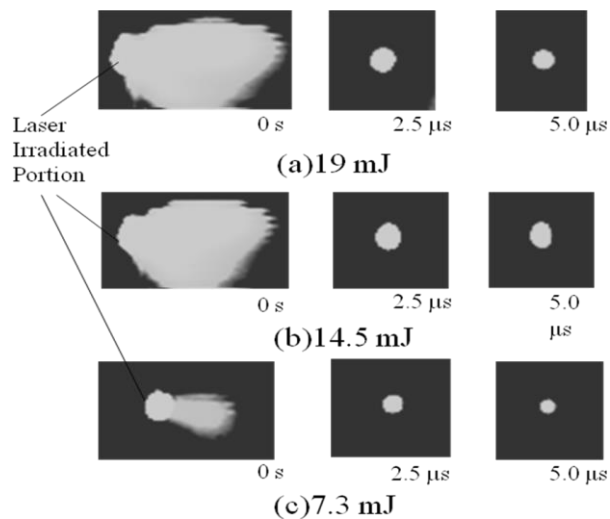


Fig. 5 Ablation Plume(Change Laser Energy)

4. まとめ

気圧が高いほどアブレーションプラズマの発光時間が長く, 気圧が低いほど発光時間が短い. またレーザエネルギーが高いほど発光領域が広く, レーザエネルギーが低いほど発光領域が狭いことがわかった.

参考文献

[1] 大竹尚人, 「DLC の応用技術」, シーエムシー出版  
 [2] 電気学会 レーザーアブレーションとその産業応用調査専門委員会編, 「レーザーアブレーションとその応用」, コロナ社  
 [3] K. Takayama, et al.. J. Appl. Phys. A, Vol. 101 p. 727 (2010)