

## マグネトロンスパッタ法を用いたダイヤモンド状炭素膜の光学的特性

Optical properties of diamond like carbon films by magnetron sputtering method

中澤雄太<sup>1</sup>, 本田良太<sup>1</sup>, 高橋渉<sup>2</sup>, 胡桃聡<sup>3</sup>, 松田健一<sup>3</sup>, 鈴木薫<sup>3,4</sup>

Yuta Nakazawa<sup>1</sup>, Ryota Honda<sup>1</sup>, Wataru Takahashi<sup>2</sup>, Satoshi Kurumi<sup>3</sup>, Ken-ichi Matsuda<sup>3</sup>, Kaoru Suzuki<sup>3,4</sup>

Abstract: We focused on diamond like carbon(DLC) as a wide gap semiconductor. DLC is an amorphous structure in which an  $sp^3$  bond in a diamond structure and an  $sp^2$  bond in a graphite structure are mixed. In this study, DLC film were deposited by magnetron sputtering method. The band gap energy which was determined from the absorbance spectrum with tauc plot method was 1.71 eV.

### 1. 研究背景

現代の情報化社会には半導体技術が必要不可欠であり、Si 半導体を中心として成長してきた。近年では高圧、高温、高放射能などの過酷な環境でも駆動する半導体素子の需要が高まっている。現在の半導体は、 $E_g$  が 1.12 eV と小さいため、耐環境性に難があり、過酷な環境でも安定駆動する半導体が求められている。そこで Si 半導体より広いバンドギャップ( $E_g$ )を持つワイドギャップ半導体が必要とされている。そこで我々は Si 半導体に代わる半導体材料として Diamond Like Carbon:DLC に着目した<sup>[1]</sup>。DLC はダイヤモンド構造の  $sp^3$  結合とグラファイト構造の  $sp^2$  結合が混在したアモルファス構造であり、 $sp^3$  結合、 $sp^2$  結合の比率を変化させることによって DLC の  $E_g$  が 0.8~3.3 eV の間で可変できることが報告されている<sup>[2]</sup>。このことから DLC は新たなワイドギャップデバイスへの応用が期待できる。

本稿ではマグネトロンスパッタ法により成膜された DLC 薄膜の光学的特性を検討する。

### 2. 実験方法

#### 2.1. DLC の成膜方法

本実験で使用するマグネトロンスパッタ法の装置図を Fig. 1 に示す。チャンバー内にシリコン基板と石英基板(一部に遮断シールを貼付)を基板距離 10, 30 mm にセットし、装置内を真空状態にする。チャンバー内に Ar ガス 68 sccm を流入し、真空度を 0.65 Pa にする。RF 電源により出力 100 W を印加し、Ar プラズマを発生させる。ターゲットに Ar イオンを衝突させ C イオンが放出されると上部に設置された基板に堆積することで DLC 薄膜を成膜する。成膜時間は 60, 120 min とする。

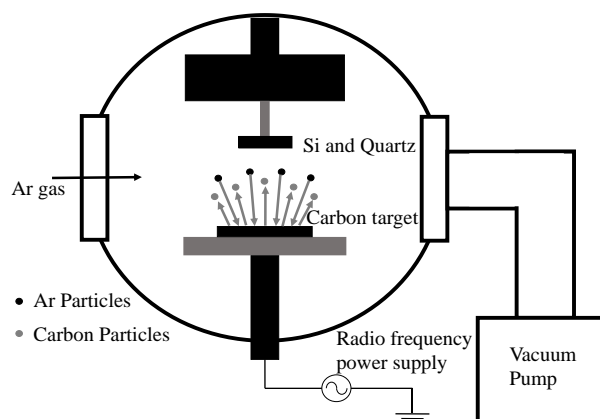


Fig. 1 Schematic apparatus of the Magnetron sputterer method

#### 2.2. DLC の膜厚測定

DLC 膜の膜厚は走査型プローブ顕微鏡(SPM:セイコーインスツル社製, SPI3800N-SPA400)により、シールで遮断した部分と成膜された部分の段差を測定した。

#### 2.3. DLC 膜の透過率測定と $E_g$ の算出

DLC 膜の  $E_g$  は基板に成膜された DLC 膜の透過率を測定し、SPM で測定した膜厚を用いてタークプロット法により算出した。光源は重水素ランプ(StellarNet:SL3)とハロゲンランプ(StellarNet:SL1)を使用し 200 nm~860 nm の波長領域で測定した。

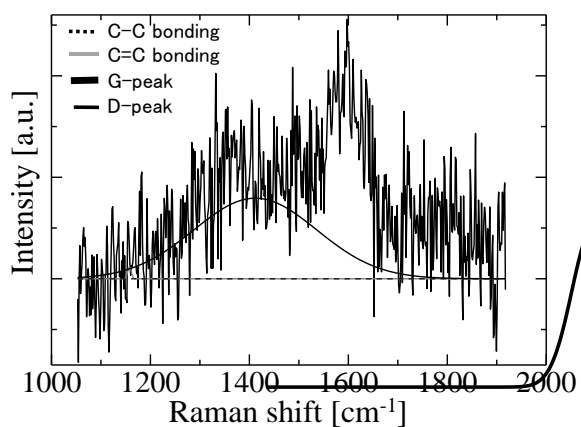
### 3. 実験結果

#### 3.1. ラマン分光法による試料の測定結果

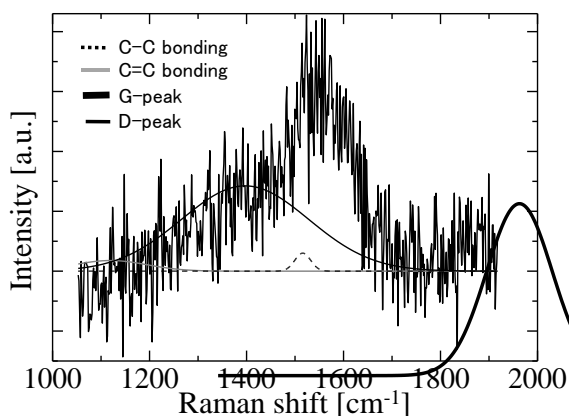
Fig. 2 に成膜した DLC 膜のラマンスペクトルを示す。測定したラマンスペクトルの現波形は 4 成分分離法により波形分離される。ラマンシフト 1560  $cm^{-1}$  におけるグラファイト構造の六角格子内振動( $E_{2g}$ )に起因する G-peak の強度: $I_G$  と 1380  $cm^{-1}$  におけるグラファイト構造の結晶構造中の歪みにより生じる  $A_{1g}$  振動に起因する D-peak の強度: $I_D$  の比( $I_D/I_G$ )はグラファイトの結晶構

1 : 日大理工・学部・電気 2 : 日大理工・院(前) 3 : 日大理工・教員・電気 4 : 先端材料科学・材料創造研究センター

造を反映することが知られている<sup>[3]</sup>. 基板距離や成膜時間を長くすることで( $I_D/I_G$ )比が低下しており,  $sp^2$  構造のクラスタサイズが増大したものと考えられる.



(a) Substrate distance:10mm



(b) Substrate distance:30mm

Fig. 2 Raman spectrum of the DLC film

### 3.2. SPM による膜厚の測定結果

Table. 1 に SPM を用いて測定した膜厚について示す. この結果から基板距離が短く, 成膜時間が長い方が膜厚が厚くなることが確認された.

Table. 1 Comparison of the parameters by deposition conditions

	A	B	C
成膜時間 (min)	60	60	120
基板距離 (mm)	10	30	30
膜厚 (nm)	765	369	449
( $I_D/I_G$ )比	0.617	0.602	0.535
$E_g$ (eV)	0.89	1.71	1.04

### 3.3. バンドギャップ $E_g$ の測定結果

Fig. 3 に透過率測定より算出された DLC 膜の  $E_g$  を示す. 成膜時間について比較すると, 時間が 60 min の時,  $E_g$  は 1.71 eV, 時間が 120 min の時,  $E_g$  は 1.04 eV と測定され, 成膜時間が短い方が  $E_g$  が高くなることが確認された. 次に基板距離について比較すると, 距離が, 30 mm の時,  $E_g$  は 1.71 eV, 距離が 10 mm の時,  $E_g$  は 0.89 eV と測定され, 基板距離が長い方が  $E_g$  は高くなることが確認された.

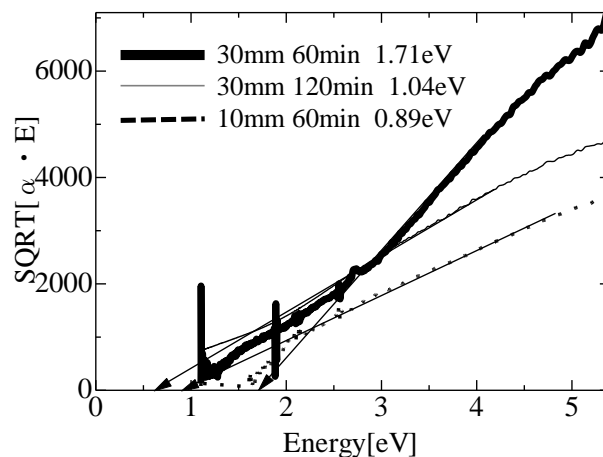


Fig. 3 Transmission of DLC film

$E_g$  of DLC films were derived by tauc plot method

### 4. まとめ

本研究ではマグネトロンスパッタ法を用いて Si 基板, 石英基板に DLC 膜を成膜し光学的特性について評価した. ラマン分光法の結果から基板距離が短い方が, DLC の特有の波形が表れることが確認した. また, DLC 膜の膜厚は, 基板距離を短く, 成膜時間を長くすることで厚くなること, DLC 膜の  $E_g$  は成膜時間が短く, 基板距離が長い方が大きくなることを確認した.

### 5. 参考文献

- [1]K. Takamichi, S. Kurumi, and K. Suzuki “Fabrication of Nanoscale Electrical Circuits on Diamond Like carbon Film by Scanning a Ga + Focous Ion Beam”, J. Nanoelectron. Optoelectron. 7, 257-278 (2012).
- [2] Lifshitz Y, Lempert G D, Grossman E, et al. “Optical and photoemission studies of DLC films prepared with a systematic variation of the  $sp^3$ :  $sp^2$  composition.” Diamond Related Mater, 6, 687–693 (1997)
- [3]P. Lespade, R. Al-Jishi, and M. S. Dresselhaus; “Model for Raman Scattering from Incompletely Graphited Carbons”, Carbon 20, 427 (1982)