

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420853

研究課題名(和文) レーザー照射実験用高精度ダイヤモンドライクカーボン組成制御技術の開発

研究課題名(英文) Development of high accuracy diamond like carbon deposition technique for laser irradiation experiment

研究代表者

古賀 麻由子 (Koga, Mayuko)

兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40403969

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：高強度レーザーを用いた実験においてターゲットとしてダイヤモンドライクカーボン(DLC)が注目されてきている。本研究ではレーザー照射実験の要求を満たす高精度DLCの組成制御技術を開発することを目的とした。研究成果として、材料ガスを変えることでDLCの局所結晶構造が変化することを見出した。他、基板の金属を変えることで成膜後のDLCの安定性が増すことを見出した。さらに成膜後のDLCにYAGレーザーを照射することでグラファイト成分を増やすことができることが明らかとなった。これらは成膜中でも成膜後でもDLCの組成を変化させられることを示しており、より高度な局所結晶構造の制御の可能性が示唆されたといえる。

研究成果の概要(英文)：Diamond like carbon (DLC) has drawing attentions as a laser target in high power laser experiments. We studied high accuracy DLC deposition technique for these experiments. We found that the DLC properties were changed by changing a source gas, DLC layer adhesion became better by changing a base material. Graphite component of DLC layer were increased by irradiation of YAG laser. These results suggest that we can control DLC properties in and after deposition process.

研究分野：プラズマ物理学

キーワード：慣性核融合 ターゲット ダイヤモンドライクカーボン

1. 研究開始当初の背景

高速点火核融合では加熱を担う高速電子の振る舞いが極めて重要である。近年、実験で計測された高速電子の伝搬方向がシミュレーションでの予想以上に広がっていることが明らかとなり、加熱効率低下の原因として問題となっている。これは追加熱レーザーをガイドするための金コーンがプラズマ化し、高速電子を散乱させるためだと考えられている。そこで、金より原子番号が低く、電子の少ない低Z材料をコーン材料に用いて高速電子の散乱を低減するアイデアが提案されている[1]。ダイヤモンドライクカーボン(DLC)は低Zでありながら強度も有しており、コーン材料として最適と考えられる。またレーザーを用いた電子加速実験においてもDLCターゲットが良好な結果を出し、注目されている[2]。

ひとくちにDLCといっても水素の含有量、結晶度(SP₃/SP₂結合の比率)といったパラメータが変わると、ダイヤモンドライクからグラファイトライクまでその性質は全く異なる[3]。一方、DLCに超短パルスレーザーを照射した時、その結晶構造の違いが電気伝導度の違いを引き起こし、高速電子の振る舞いが変わるとの興味深いシミュレーション結果もある[4]。このことから結晶度の異なるDLCを用いてレーザー照射実験を行えば、異なる実験結果が得られることは容易に想像できるが、未だそういった試みは行われていない。これはレーザー照射実験に適したDLCの組成制御技術が確立されていないためである。

2. 研究の目的

レーザー照射実験に供給するターゲットは通常DLCの使用法では要求されないような性能も求められる。例えばDLC膜単体で自立すること、サブミクロンから数十ミクロンまで様々な厚みの膜を用意できること、表面がナノメートルレベルで滑らかであること、等である。DLCの蒸着は工業分野で広く行われているが、ほとんどが厚さ0.3ミクロン以下であり、ターゲットに要求される10ミクロン以上という厚膜を形成した例はほとんどない。またターゲットに整形するには基板からDLCのみ剥離する必要があり、この点でも研究が必要である。

そこで本申請ではDLCの組成制御法を開発し、かつレーザー照射実験の要求を満たすDLCターゲットを製作することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究ではプラズマイオン注入成膜(PBIID)法と呼ばれる方法によりDLCを製作した。これは電極に基板を取り付け、直接負パルス電圧を印加して炭素イオンを注入する方法である。膜厚の計測は触針段差計およびデジタルズーム顕微鏡で行った。結晶度

の測定は吸収端近傍X線吸収微細構造(NEXAFS)法およびラマン分光法を用いた。水素含有量の計測は弾性反跳検出分析装置(ERDA)法を用いた。

4. 研究成果

様々な装置パラメータを変化させて成膜を行ったところ、表1に示されるように低ガス圧力、低パワー領域では安定して厚膜を生成できることがわかった。

表1 成膜安定度のガス圧力、RFパワー依存性 (○は安定、×は不安定を示す)

RF pulse power (W) \ Gas pressure	100	200	300	400	500
0.50	○	○	○	○	×
0.75	○	○	○	○	×
1.00	○	○	○	×	×
1.25	○	○	×	×	×
1.50	×	×	×	×	×

図1にアセチレンおよびトルエンを材料ガスとして成膜したDLCのNEXAFSスペクトルを示す。トルエンを材料ガスとして使用した場合、アセチレンに比べて左から2番目、3番目のピークがより大きくなっていることがわかる。これらはそれぞれC=O結合、C-H結合に由来するものである。トルエンを材料ガスとして使用した方がより成膜後の膜の破損が少ないが、これはC-H結合成分が増えることで膜に柔軟性が生まれるためと考えられる。またこれらの成分の違いから、SP₂成分はトルエンを材料ガスとした場合0.68、アセチレンを材料ガスとした場合0.74となり、アセチレンを用いたほうがややグラファイトライクとなることがわかった。これは外部パラメータによる組成制御の可能性を示す重要な結果である。

ERDA法を用いた計測の結果、水素含有量は16at%であり、成膜されたDLCはアモルファスカーボンに分類されることがわかった。

また、基板の金属を変えることで成膜後のDLCの安定性が増すことを見出した。これにより成膜後のDLCの内部応力による破損が減り、基板のエッチングも容易となり、ターゲットの量産がより容易となった。

最終年度はDLCにYAGレーザーの基本波を照射して組成の変化を調べた。ラマン分光による測定の結果、DLCにレーザーを照射することでグラファイト成分を増やすことが

できることが明らかとなった。これは成膜後でも DLC の組成を変化させられることを示しており、より高度な局所結晶構造の制御の可能性が示唆されたといえる。

これらの結果を踏まえて、単体で自立できるレーザー照射実験用 DLC ターゲットの製作に成功した(図 2)。

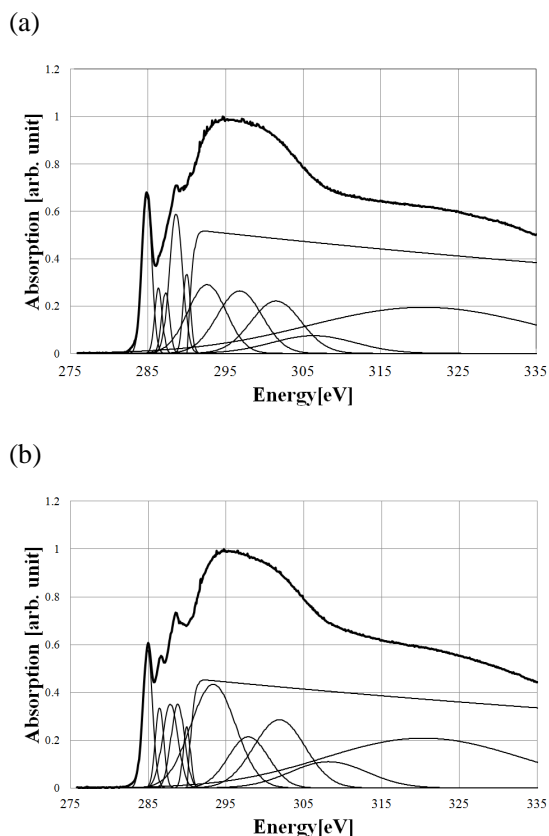


図 1 (a)アセチレン(b)トルエンを材料ガスとして成膜したDLCのNEXAFSスペクトル。黒太線が測定されたスペクトル。黒細線は各結合ピークでデコンポリューションしたものの。

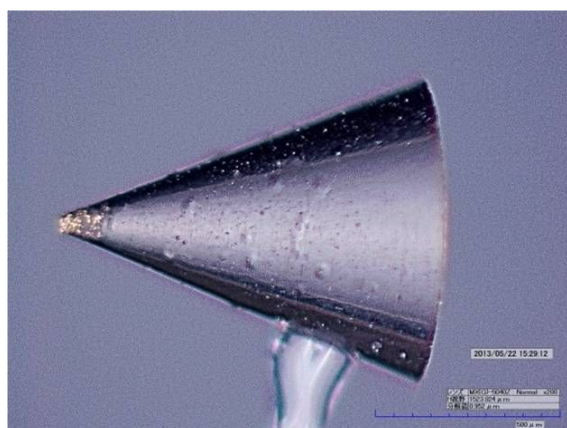


図 2 製作した自立 DLC コーンターゲット

<引用文献>

- [1] T. Johzaki, et al., Plasma Phys. Control. Fusion 51 (2009) 014002.
- [2] D. Kiefer, et al., Eur. Phys. J. D 55 (2009) 427-432.
- [3] 神田一浩, PETROTECH 32 (2009) 259-262.
- [4] P. McKenna et al., Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 185004.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

— Mayuko Koga, Kazuhiro Kanda, Tsuneko Suzuki and Takayoshi Norimatsu, “Fabrication of diamond like carbon cone for fast ignition experiment”, Fusion Engineering and Design, 査読有, In press, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2017.04.075>

[学会発表](計 8 件)

Mayuko Koga, “DLC deposition technique for fast ignition target”, 13th Asia Pacific Physics Conference, 2016年12月04日~2016年12月08日, Brisbane (Australia)

古賀麻由子, “高速点火核融合実験用 DLC コーンターゲットの開発3”, プラズマ・核融合学会第33回年会, 2016年11月29日, 東北大学青葉山キャンパス(宮城県・仙台市)

Mayuko Koga, “Fabrication of diamond like carbon cone for fast ignition experiment”, 29th Symposium on Fusion Technology, 2016年09月05日, Prague (Czech Republic)

古賀麻由子, “核融合実験用先進ターゲットの開発”, 女性研究者産学連携シンポジウム, 2016年02月29日, 神戸大学六甲ホール(兵庫県・神戸市)

古賀麻由子, “高速点火核融合実験用 DLC コーンターゲットの開発2”, プラズマ・核融合学会年会, 2015年11月24日, 名古屋大学豊田ホール(愛知県・名古屋市)

Mayuko Koga, “Development of DLC cone for fast ignition experiment”, 9th International Conference on Reactive Plasmas, 2015年10月13日, Honolulu (USA)

古賀麻由子, “高速点火実験用先進ターゲットの開発”, シンポジウム「レーザー核融合炉心プラズマと炉工の総合的理解」, 2015年03月11日, 核融合科学研究所(岐阜県・土岐市)

Mayuko Koga, “Development of DLC cone targets for fast ignition”, INTERNATIONAL CONGRESS ON PLASMA PHYSICS 2014, 2014年09月18日, リスボン(ポルトガル)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古賀 麻由子 (KOGA, Mayuko)
兵庫県立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 40403969

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()