

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 26 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360131

研究課題名（和文）

活性陽極援用フィルタードアーク蒸着源の開発と機能性アモルファス炭素膜の創製

研究課題名（英文）

Development of filtered-arc-deposition source with activated anode and preparation of functional-amorphous carbon film

研究代表者

滝川 浩史（TAKIKAWA HIROFUMI）

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90226952

研究成果の概要（和文）：

真空中のアーク放電プラズマを用いた機能性薄膜蒸着装置に関し、異種元素をドーピングする機能を備え、かつ高品質（超平坦、均一、異物フリー）な薄膜を形成可能な新規のフィルタードアーク蒸着システムを設計・開発し、装置機能を評価し、異種元素ドーピング・機能性高密度アモルファス炭素膜（機能性 DLC 膜）を創製した。

研究成果の概要（英文）：

About a functional film deposition apparatus using the vacuum arc discharge plasma, we designed and developed a new filtered-arc-deposition system for doping dissimilar element into DLC film and preparing high-quality (high smoothness, uniform and droplet-free) DLC film. Apparatus function was assessed and dissimilar element doped DLC film was prepared.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2010 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電気機器，真空アーク

1. 研究開始当初の背景

申請者は、真空アーク蒸着装置の開発初期から、薄膜形成用真空アークの放電基礎特性の解明を図るとともに、ドロップレット問題の解決を目指した数々の装置開発を科研費などの支援を受けて進めてきた。開発したフィルタードアーク法（特許第 3865570 号）はようやく産業界においても受け入れられてきたが、更に新しい機能を有した蒸着システ

ムとしての進化が期待されている。

アモルファス炭素膜は、別名、ダイヤモンドライクカーボン膜（以下、DLC 膜）と呼ばれる。プラズマ CVD 法、スパッタ法など様々な方法で形成できるが、水素を含まず、かつ、ダイヤモンド成分（sp³ 構造）を最も多く含み、従って最も密度の高い DLC 膜（以下、高密度 DLC 膜）を高品質に形成できる手法は、フィルタードアーク蒸着法のみである。

この高密度 DLC 膜に更なる機能を付与するため、炭素や水素以外の異種元素のドーブ法および装置の開発が求められている。

真空アーク蒸着装置において、活性陽極を利用して陰極材料とは異なる元素を微量蒸発させる活性陽極支援真空アーク蒸着法を開発した(特許第 4053211 号)。しかしながら、この方法はドロップレットの除去機能を備えていなかったため、高品質な膜は形成できなかった。

以上のような背景から、フィルタードアークシステムに活性陽極を組み込んだ蒸発源モジュールを開発するという本研究の発案・立案に至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下のとおりである。

- (1) T 字状フィルタードアーク蒸着装置において、従来装置の改良および新規発想の真空アーク蒸発源モジュールを設計・試作し、同装置の放電特性・動作特性を計測・把握
- (2) DLC 膜を高機能化かつ均一に成膜するための新たな基板固定台の開発および膜厚モニタの開発
- (3) 炭素および水素以外の異種元素をドーブした機能性高密度 DLC 膜の形成を行い、膜質を評価することにより、装置の機能および性能の明確化

3. 研究の方法

上記の各項目について以下のとおり実施した。

- (1) 装置の改良として、ターボ分子ポンプ / クライオポンプ併用排気ラインを有し、ベーキングヒータを内臓させた高真空成膜チャンバを設計・構築した。アークモジュールについて、自動メカニカルトリガ機構および陰極回転導入機構を有した新型モジュールを設計・開発した。
- (2) 蒸着装置内に仕込む基板固定台の設計および製作を実施した。同固定台は、3 軸導入によって、回転、首振り、公転を独立して運動させることができるものである。また、アタッチメントを交換することによって、自公転運動もできるものとした。膜厚モニタは真空チャンバ外から計測できるように光学的に計測することとした。
- (3) ドーブに関しては、蒸着装置内坩堝状活性陽極を配置し、るつぼ状サブ陽極内に配置した固体ドーブ材料を、真空アークプラズマビーム中の電子と熱フィラメントを用いて発生させた電子とで蒸発させるシステムと、液体を蒸気ガスとして用いるための機構を設計・

製作した。また、熱フィラメントを陰極とし、基盤に熱損傷を与えないため、放電軸方向にプラズマを引き出す方式のプラズマガンを考案し、設計・製作を行った。

4. 研究成果

各研究成果は以下のとおりである。

- (1) 新規装置において、真空到達圧力は目標とした 10^{-5} Pa 台であることを確認した。また、アークモジュール自体の開発で、これまでの時間以上の連続運転が可能となった。新規装置の外観図を図 1 に示す。
- (2) 開発した基板回転固定台を図 2 に示す。回転固定台の 3 軸の運転パラメー



図 1 新規 T-FAD 装置

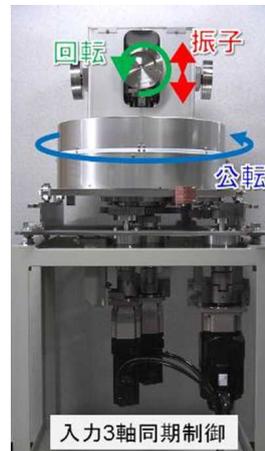


図 2 3 軸基板回転固定台



図 3 半球面状基材への均一コーティング

タを明らかにし、半球面基材への水素フリーDLC膜の均一成膜を実現した。

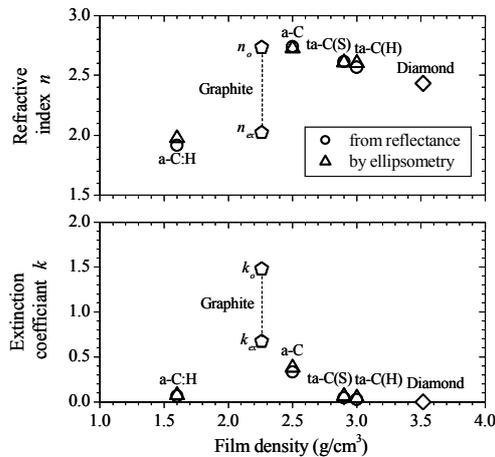


図4 各DLCの密度と光学定数の関係

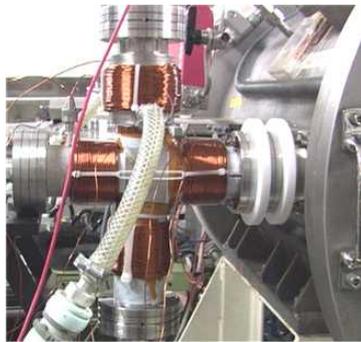


図5 作製したプラズマガン

外観写真を図3に示す。

膜厚モニタに関し、まず種々のDLC膜(水素含有、水素フリー)の反射率を明らかにし、屈折率および消衰係数を明らかにした。各DLC膜の密度と屈折率および消衰係数の関係を図4に示す。プローブおよび光源等を真空チャンバ外に取り付け、膜厚モニタを作製した。

- (3) ドープ材料にSiを用いることとし、同材料の蒸発テストとドーピングテストを行った。また、蒸気ガスを利用したドーピング方法を確立するために機構を開発し、DLC膜成膜を試みた。ガスにはテトラメチルシラン(TMS)を用いた。その結果、DLC膜にSiがドーピングされたことを確認した。

窒素を含有させるために作製したプラズマガンを図5に示す。プラズマ輸送用電磁コイルのチューニングを行い、目標とした数百mAのイオン電流を得る条件を見出した。その後、1時間の連続運転を行い、熱的問題や圧力上昇などの不具合

がないことを確認した。異種元素として窒素を導入するため、特性を評価した。その結果、磁界分布・強度およびフィルター温度を調整することで、フィルターアークで得られるイオン電流と同等のイオン電流($\phi 100 \text{ mm}^2$ で100 mA程度)を得られることを確認した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

- ① H. Tanoue, M. Kamiya, Y. Suda, S. Oke, H. Takikawa, Y. Hasegawa, M. Taki, N. Tsuji, T. Ishikawa, H. Yasui: "Removal of diamond-like carbon film by oxygen-dominated plasma beam converted from filtered carbon-cathodic arc", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.50, pp.01AF12_01-01AF12_06 (2011)
- ② 柳田太一郎, 田上英人, 神谷雅男, 須田善行, 滝川浩史, 瀧真, 長谷川祐史, 石川剛史: 「中真空動作磁気引き出し型ガスプラズマ銃の開発と基礎特性」, 電気学会論文誌 A, Vol.131, No.2, pp.139-144 (2011)
- ③ 奥田浩史, 神谷雅男, 田上英人, 須田善行, 滝川浩史: 「フィルターアークプラズマビームの磁界制御によるドロップレットフリーDLC膜の形成」, プラズマ応用科学, Vol.18, No.2, pp.159-164 (2010)
- ④ H. Tanoue, M. Kamiya, S. Oke, Y. Suda, H. Takikawa, Y. Hasegawa, M. Taki, N. Tsuji, T. Ishikawa, H. Yasui, S. Temmei, H. Takahashi: "Effect of gas introduction position on substrate etching by means of Ar-dominated graphite-cathodic-arc plasma beam in $\mu\text{T-FAD}$ ", Thin Solid Films Vol.518, No.13, pp.3546-3550 (2010)
- ⑤ H. Tanoue, M. Kamiya, S. Oke, Y. Suda, H. Takikawa, Y. Hasegawa, M. Taki, M. Kumagai, M. Kano, T. Ishikawa, H. Yasui: "Argon-dominated plasma beam generated by filtered vacuum arc and its substrate etching", Applied Surface Science, 255, pp. 7780-7785 (2009)
- ⑥ M. Kamiya, T. Yanagita, H. Tanoue, S. Oke, Y. Suda, H. Takikawa, M. Taki, Y. Hasegawa, T. Ishikawa, H. Yasui: "T-shape filtered arc deposition system with built-in electrostatic macro-particle trap for DLC film preparation", Thin Solid Films, Vol.518, No.5, pp.1498-1502 (2009)
- ⑦ 神谷雅男, 川口裕輔, 田上英人, 須田善行, 滝川浩史: 「フィルターアーク蒸着で形成したダイヤモンドライクカーボン膜の光学特性」, プラズマ応用科学, Vol.17, No.2, pp.125-132 (2009)

〔学会発表〕(計51件)

- ① 田上英人, 柏木大幸, 奥田浩史, 角口公章, 須田善行, 滝川浩史, 神谷雅男, 瀧真, 長谷川祐史, 辻信広, 石川剛史: 「水素フリーダイヤモンドライクカーボン膜の半導体性評価」, 平成23年度電気関係学会東海支部連合大会, L1-6 (2011.09.26, 三重大学, 三重県)
- ② 滝川浩史: 「ダイヤモンドライクカーボン膜を作る・使う・評価するー成膜技術・応用領域・評価法」, KAST 教育講座 (2011.07.28, かながわサイエンスパーク, 神奈川県)
- ③ 奥田浩史, 柏木大幸, 田上英人, 神谷雅男, 柳田太一郎, 須田善行, 滝川浩史, 長谷川祐史, 瀧真, 辻信広, 石川剛史, 安井治之, 金子智: 「フィルタードアークプラズマビームの回転スキャンおよび偏向制御」, 平成22年電気関係学会東海支部連合大会, 15-2 (2010.08.31, 中部大学, 愛知県)
- ④ 奥田浩史, 田上英人, 神谷雅男, 柳田太一郎, 内藤翔太, 須田善行, 滝川浩史, 長谷川祐史, 瀧真, 辻信広, 石川剛史, 安井治之: 「フィルタードアークプラズマビームを用いた水素フリーDLC膜の生成」, 平成22年電気学会放電・静止器・開閉保護合同研究会, 19 (2010.06.28, 東京都市大学, 東京都)
- ⑤ H. Tanoue, M. Kamiya, S. Oke, Y. Suda, H. Takikawa, Y. Hasegawa, M. Taki, N. Tsuji, T. Ishikawa, H. Yasui: “Effect of gas introduction position on substrate etching using Ar plasma-beam in μ T-FAD”, SPSM-22, P-26 (2009.06.15, 東京大学, 東京都)
- ⑥ 滝川浩史: “Super Hard DLC Coating Technology” World Tribology Congress 2009, B1-132 (2009.09.08, 国立京都国際会館, 京都府)

*他45件

〔産業財産権〕

○取得状況(計6件)

- ① 名称: プラズマ処理装置
発明者: 滝川浩史, 岩崎康浩, 辻信弘, 長谷川祐史
権利者: 豊橋技術科学大学、株式会社オンワード技研
種類: 特許
番号: 特許第4883602号
取得年月日: 2011年12月16日
国内外の別: 国内
- ② 名称: プラズマ表面処理方法及びプラズマ処理装置
発明者: 滝川浩史, 辻信弘, 長谷川祐史

権利者: 豊橋技術科学大学、株式会社オンワード技研

種類: 特許

番号: 特許第4883601号

取得年月日: 2011年12月16日

国内外の別: 国内

- ③ 名称: DLC被覆工具
発明者: 滝川浩史, 長谷川祐史, 瀧真
権利者: 豊橋技術科学大学、株式会社オンワード技研
種類: 特許
番号: 特許第4780734号
取得年月日: 2011年7月15日
国内外の別: 国内
- ④ 名称: DLC被覆工具
発明者: 滝川浩史, 長谷川祐史, 瀧真
権利者: 豊橋技術科学大学、株式会社オンワード技研
種類: 特許
番号: 特許第4424555号
取得年月日: 2009年12月18日
国内外の別: 国内
- ⑤ 名称: プラズマ生成装置
発明者: 滝川浩史, 椎名祐一
権利者: 滝川浩史, 株式会社フェローテック
種類: 特許
番号: 特許第4373252号
取得年月日: 2009年9月11日
国内外の別: 国内
- ⑥ 名称: プラズマ生成装置
発明者: 滝川浩史, 椎名祐一
権利者: 滝川浩史, 株式会社フェローテック
種類: 特許
番号: 特許第4319556号
取得年月日: 2009年6月5日
国内外の別: 国内

〔その他〕

<http://www.pes.ee.tut.ac.jp>

(Web上で新聞報道等の情報も明記)

6. 研究組織

(1)研究代表者

滝川 浩史 (TAKIKAWA HIROFUMI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 90226952

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

須田 善行 (SUDA YOSHIYUKI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70301942

桶 真一郎 (OKE SHINICHIRO)

津山工業高等専門学校・電子制御工学科・講師 (前 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教)

研究者番号：20362329