

(様式第5号)

実施課題名 X線光電子分光法による導電性超ナノ微結晶ダイヤモンド/アモルファスカーボン混相膜と金属接触界面におけるバンド構造の調査

English Study on band structure of electrically-conductive ultrananocrystalline diamond/amorphous carbon films and metal interface by X-ray photoelectron spectroscopy

著者・共著者 氏名 片宗優貴・竹市悟志
English Yuki Katamune, Shinya Ohmagari, Satoshi Takeichi

著者・共著者 所属 九州工業大学・九州大学
English Kyushu Institute of Technology・Kyushu University

- ※1 先端創生利用（長期タイプ）課題は、実施課題名の末尾に期を表す（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）を追記してください。
- ※2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後2年以内に研究成果公開（論文（査読付）の発表又は研究センターの研究成果公報で公表）が必要です（トライアル利用を除く）。
- ※3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※4 共著者には実験参加者をご記載ください（各実験参加機関より1人以上）。

1. 概要（注：結論を含めて下さい）

超ナノ微結晶ダイヤモンド/アモルファスカーボン混相 (UNCD/a-C) 膜は、アモルファスカーボン中に結晶粒径 10 nm 以下のダイヤモンド微結晶を内包する構造を有しており、高濃度ドーピングや膜構造の制御により半金属的な導電性の付与が可能である。本研究では、n 型ダイヤモンドで問題となっている金属電極との寄生抵抗低減のためのバッファ層として導電性 UNCD/a-C 膜の開発に取り組んでいる。本課題では、シンクロトロン放射光を用いた光電子分光法と Ar イオンエッチングにより、金属-UNCD/a-C 膜界面でのバンドベンディングを評価した。エッチングによる膜表面の組成変化の影響はあるが、アンドープ UNCD/a-C:H と Au 界面ではアップベンディングの傾向がみられることが明らかになった。

(English)

Ultranananocrystalline diamond/amorphous carbon composite (UNCD/a-C) films, wherein a large number of nano-sized diamond grains are embedded in an a-C matrix, generate a semi-metallic conduction by heavy impurity incorporation and chemical compositional controls. We are developing conductive UNCD/a-C films applicable as buffer layers for reducing electrical contact resistances between metal and n-type diamond. In this work, we investigated the interface band structure of a metal on UNCD/a-C films using photoelectron spectroscopy accompanied by Ar ion etching. At the interface between undoped UNCD/a-C films and Au films, an upper bending from UNCD/a-C films to a metal side was observed, although the film surface might be damaged by Ar ion etching.

2. 背景と目的

ダイヤモンドは、高い絶縁破壊電界強度や移動度、熱伝導度など他材料と比べて優れた物性を有しており、次々世代のワイドバンドギャップ半導体として期待されている。ダイヤモンドを電子デ

バイスの実現に向けた課題として n 型ダイヤモンドのオーミック接触の問題があり、金属との高い寄生抵抗はデバイス性能を大きく損なう一因となっている。

本研究では、金属電極の接触抵抗低減のための導電性超ナノ微結晶ダイヤモンド/アモルファスカーボン混相 (UNCD/a-C) 膜をバッファ層の開発に取り組んでいる。UNCD/a-C 膜は、アモルファスカーボン中に結晶粒径 10 nm 以下のダイヤモンド微結晶を内包する構造を有しており、申請者らは、同軸型のアーク放電を利用した物理気相合成法により UNCD/a-C 膜を作製し、水素化による膜構造制御に加え、ホウ素または窒素の添加による電気伝導特性の制御を実現している [1, 2, 3]。UNCD/a-C 膜が高濃度ドーピングや膜構造の制御により半金属的な導電性の付与が可能であることに注目し、金属電極とダイヤモンド間のバッファ層とすることで寄生抵抗の低減を目指す。UNCD/a-C 上に金属電極を形成した構造において、接触抵抗や金属-膜界面におけるバンド構造について明らかではない。本課題では、光電子分光法を用いて金属と UNCD/a-C 膜界面におけるバンドのベンディング状態を評価したので報告する。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

UNCD/a-C:H (水素化した UNCD/a-C) 膜は、同軸型アークプラズマ堆積 (CAPD) 法で Si 上に作製した。ターゲットとしてグラファイトを用いた。堆積チャンバー装置内をロータリーポンプおよびターボ分子ポンプを用いて 10^{-3} Pa 以下に真空排気した後、水素を流入して雰囲気圧力を 0.4 Torr、堆積温度を 550°C の条件下で成膜を行った。UNCD/a-C:H 膜上に 2-50 nm の Au をスパッタリング法により堆積した。Au を堆積した UNCD/a-C:H 膜に対して光電子分光 (PES) 法と Ar イオンエッチングを組み合わせ、金属 Au と界面におけるバンドの曲がり状態の評価を行った。光源には、放射光 (350 eV) および Mg K α 線を用いた。

4. 実験結果と考察

2-nm Au が堆積された UNCD/a-C:H 膜において、Ar イオンエッチングと合わせて C 1s スペクトルの観測を行った。図 1 に各 Ar イオンエッチングの処理時間における Au が堆積された UNCD/a-C 膜の C 1s 光電子スペクトルを示し、図 2 にその Au 4f 光電子スペクトルを示す。1 min の Ar イオンエッチングで C 1s ピークが消失し、その後のエッチングで再び C 1s ピークが出現した。これは Au 表面に付着した炭素が除去されたことによるものと考えられる。

図 3 に UNCD/a-C 膜の C 1s ピーク位置とエッチング時間の関係を示す。Au 4f ピークを用いて C 1s ピーク位置の補正を行った。表面の汚染層除去後の C 1s ピーク位置 284.1 eV は、As deposited の UNCD/a-C:H 膜と比較して、低い結合エネルギー側に 0.4 eV シフトしていることが明らかになった。これは UNCD/a-C:H 膜側から Au 側に向けてアップベンディングしていることを示唆している。しかしながら、Au 除去後の C 1s ピーク位置は 284.3 eV と As deposited の UNCD/a-C:H 膜の C 1s ピーク位置 284.5 eV と異なっており、エッチングによる UNCD/a-C:H 膜組成の変化の影響を考慮する必要がある。

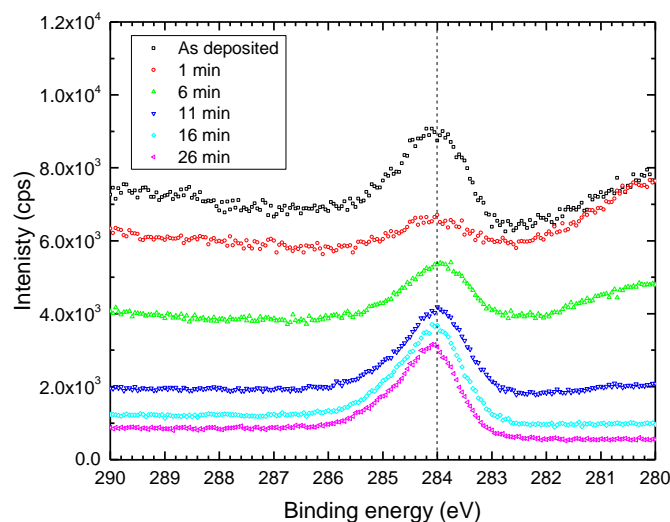


図 1. 各 Ar イオンエッチングの処理時間での Au が堆積された UNCD/a-C 膜の C 1s 光電子スペクトル

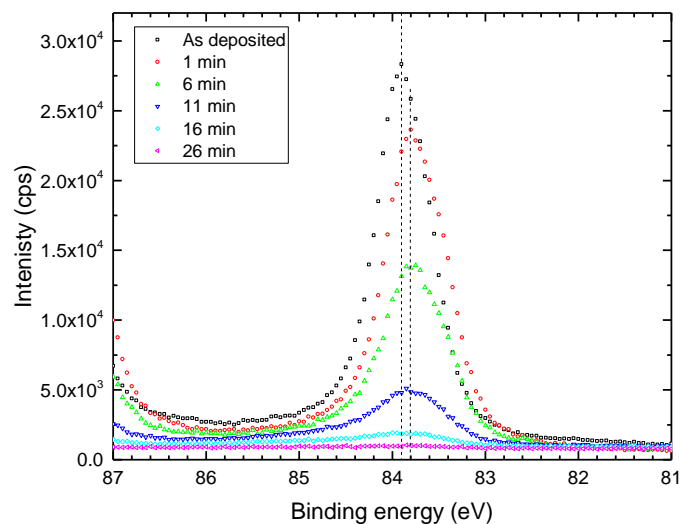


図 2. 各Arイオンエッチングの処理時間でのAuが堆積されたUNCD/a-C膜の Au 4f光電子スペクトル

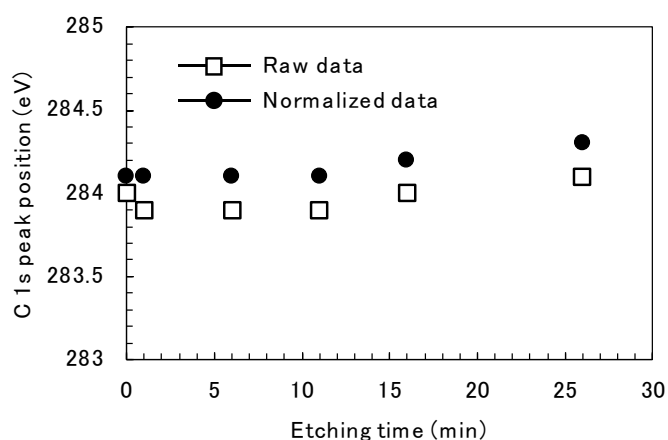


図 3. UNCD/a-C膜のC 1sピーク位置とエッチング時間の関係

5. 今後の課題

今回の Au-UNCD/a-C:H 膜界面におけるバンドベンディングの評価で、Ar イオンエッチングに伴う UNCD/a-C 膜表面の組成変化の影響の懸念があることが明らかになった。今後のバンドベンディングの正確な見積もりのためには、Ar イオンエッチングによる膜表面の損傷の影響を抑え、入射光の光子エネルギーを高くすることで Au を介した Au-UNCD/a-C 界面での光電子スペクトルを取得することが必要である。

6. 参考文献

- [1] K. Hanada, et al., *Diamond Relat. Mater.*, **19** (2010) 899.
- [2] Y. Katamune, et al., *Jpn J. Appl. Phys.*, **52** (2013) 065801.
- [3] Y. Katamune, et al., *J. Vac. Sci. Tech. A*, **6** (2015) 061514.

7. 論文発表・特許 (注: 本課題に関連するこれまでの代表的な成果)

準備中

8. キーワード (注: 試料及び実験方法を特定する用語を 2~3)

9. 研究成果公開について (注: ※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文(査読付)発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください(2017年度実施課題は2019年度末が期限となります)。
長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

① 論文(査読付)発表の報告 (報告時期: 2019年 3月)