

UPS, XPS を用いた B ドープ超ナノ微結晶ダイヤモンド膜/メタル界面の ショットキー障壁高さ評価

花田 尊徳¹、大曲 新矢²、吉武 剛¹

九州大学大学院 総合理工学府¹、国立研究開発法人 産業技術総合研究所²

超ナノ微結晶ダイヤモンド膜は、 sp^2/sp^3 構造をフレキシブルにコントロール可能なカーボン系薄膜で、ダイヤモンド及び DLC の中間的な構造を有している。単結晶ダイヤモンド/メタル界面は、欠陥準位によりピンングされているケースが少なくないが、その中間に超ナノ微結晶ダイヤモンド層を挿入することにより、ピンングの解消やショットキー障壁の自在制御が可能となる可能性を秘めている。本発表では、その基礎特性として超ナノ微結晶ダイヤモンド/メタル界面の障壁高さを UPS, XPS で調べたので報告する。

UPS, XPSを用いたBドーブ超ナノ微結晶ダイヤモンド膜/メタル界面のショットキー障壁高さ評価

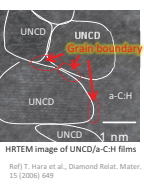
○花田 尊徳¹, 大曲 新矢², 吉武 剛¹ (1.九州大学, 2.産総研)

E-mail: takanori_hanada@kyudai.jp

はじめに (UNCD/a-C:H膜について)

カーボン系材料の種類と特徴

形態	非晶質	ナノ微結晶	多結晶	単結晶
異様基底への成長	◎容易	○可能	△困難	×極めて困難
温度安定性	×	○	◎	◎
バンドギャップ	< 5.5 eV	5.5 eV?	5.5 eV	5.5 eV
絶縁性	○	◎	◎	◎
膜の平滑性	◎	◎	×	◎
熱伝導度	×	◎	◎	◎
透過性	○	○	◎	◎

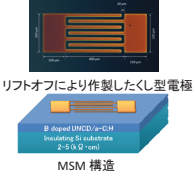
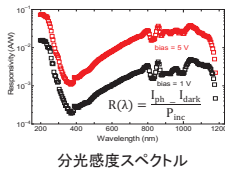


粒径10 nm以下の超ナノ微結晶ダイヤモンド(UNCD)を含んだ混相膜

- 特徴**
- ・高温安定性が強い
 - ・粒界に起因する光吸収を確認
 - ・B₂Nドーブによって各々n, p型化が可能

光・電子物性が粒界に大きく依存

これまでの研究および課題



- ・ UNCD/a-C:H単体での光検出にはMSM (Metal-semiconductor-metal) 構造が有効であるが、膜/メタル界面の特性はまだよく理解されていない。
- ・ 超ナノ微結晶ダイヤモンド膜は、sp²/sp³構造をフレキシブルにコントロール可能なカーボン系薄膜で、ダイヤモンド及びDLCの中間的な構造を有している。
- ・ 単結晶ダイヤモンド/メタル界面は、欠陥準位によりピンニングされているケースが少なくないが、その中間に超ナノ微結晶ダイヤモンド層を挿入することにより、ピンニングの解消やショットキー障壁の自在制御が可能となる可能性を秘めている。
- ・ 本発表では、その基礎特性として超ナノ微結晶ダイヤモンド/メタル界面の障壁高さをUPS, XPSで調べたので報告する。

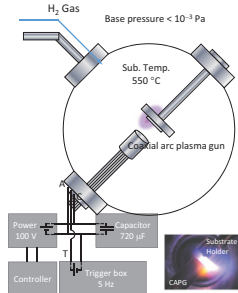
実験方法

回転型アークプラズマ堆積 (CAPD) 法

<物理気相合成 (PVD) 法>

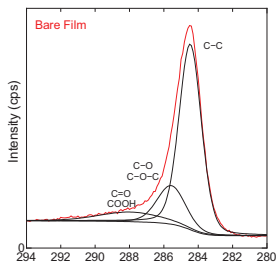
- 利点**
- ・ 非平衡が強い成膜法
 - ・ 堆積速度が速い
 - ・ ターゲットに不純物を含ませることで特定の不純物のドーピングが可能
 - ・ 低温での成長が可能
 - ・ シーディング処理が不要
 - ・ 水素なしでのUNCDの核生成が可能

B 1at.% blended graphite target
膜の抵抗率: $\rho = 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$



実験結果

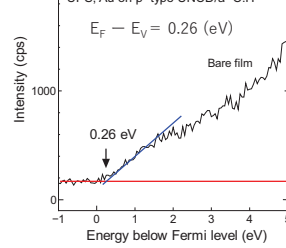
表面酸素の影響



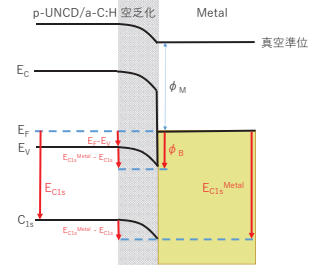
Peak	Position (eV)	Area	FWHM (eV)	% (GL)
C-C	284.463	48405	1.532	20
C-O, C=O	285.567	12750	1.940	20
C=O, COOH	287.933	7118	4.353	20

Arスパッタにより表面酸化層を除去後、XPS C_{1s}スペクトルを比較すると、表面酸素の影響によってピークシフト (バンドベンディング) が起こっていないことを確認。

紫外線光電子分光分析法 (UPS: Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy)



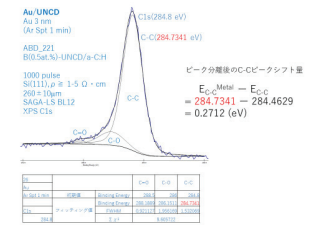
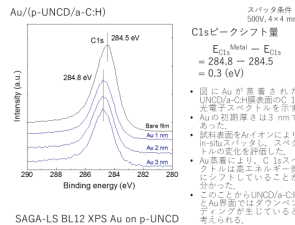
UPS spectra at SAGA-LS BL12



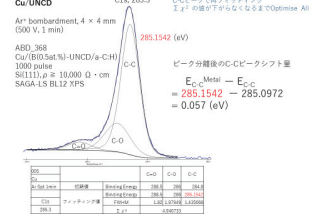
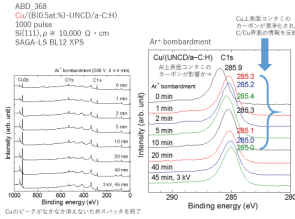
膜/メタル界面のバンドアライメント概略図

光電子分光分析法 (XPS: X-ray Photoelectron Spectroscopy)

① Au/(p-UNCD/a-C:H)



② Cu/(p-UNCD/a-C:H)



③ WC/(p-UNCD/a-C:H)

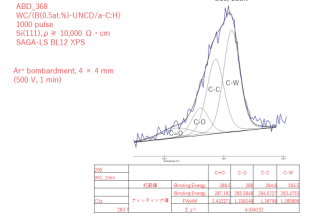
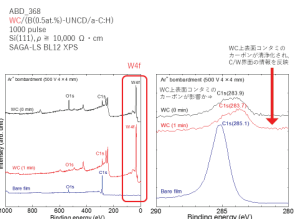


表 金属の仕事関数とショットキー障壁高さの関係

金属	仕事関数 Φ_M (eV)	ショットキー障壁高さ Φ_B (eV)	(UPS)	(XPS)
Au	5.10	0.5312	$= (E_F)_{\text{Metal}} - E_{C1s}$	$= (E_{C1s}^{\text{Metal}} - E_{C1s})$
Cu	4.65	0.3170	$= 0.26 +$	$= 0.0570$
WC	4.55	-0.2645	$= 0.26 -$	$= 0.5245$

アークガンにより堆積したB 0.5at.% doped UNCD膜に関して、XPS C_{1s}ピークからフィッティングにより分離したC-Cのピーク位置は、Au, Cu, WCコンタクトによりそれぞれ、+0.2712, +0.057, -0.5245 eVメタル無しのベアフィルムに対してピークシフトする結果となった。

まとめ

- ・ Arスパッタによる表面酸化層の除去の前後で、XPS C_{1s}スペクトルを比較することにより、表面酸素の影響によってピークシフト (バンドベンディング) が起こっていないことを確認した。
- ・ Au, Cuコンタクトにより、C_{1s}スペクトルは高エネルギー側にシフトし、このことから UNCD/a-C:H と Au 界面ではダウンベンディングが生じていると考えられる。
- ・ WCコンタクトにより、C_{1s}スペクトルは低エネルギー側にシフトし、このことから UNCD/a-C:H と Au 界面ではアップベンディングが生じていると考えられる。
- ・ Bドーブ超ナノ微結晶ダイヤモンド膜に対して、任意の仕事関数を有する所定の金属を選定し、コンタクトを形成することで、膜表面を空乏化したショットキーコンタクトと、オーミックコンタクトの形成をコントロールすることが可能であることが示唆された。

【謝辞】本研究におけるUPS/XPSの実験は、佐賀県立九州シンクロナン光研究センター-BL12にて、課題番号1507055Sで実施された。また本研究の一部は、JSPS 科研費 15H04127 の助成を受けた。第一筆者は、九州大学 博士課程教育リーディングプログラム グリーンアジア国際戦略プログラムの支援を受けている。



KYUSHU UNIVERSITY