

(様式第 5 号)

超高濃度ドーパ低抵抗ダイヤモンド薄膜の X 線吸収端近傍微細構造解析
Near-edge X-ray absorption structural study of heavily doped diamond thin films

大曲 新矢
Shinya Ohmagari

(国研) 産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター
Advanced Power Electronics Research Center,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

- ※ 1 先端創生利用(長期タイプ, 長期トライアルユース, 長期産学連携ユース) 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. (トライアルユース, 及び産学連携ユースを除く)

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/水素化アモルファスカーボン混相 (UNCD/a-C:H) 膜は, 水素化アモルファスカーボンマトリックス中に微結晶ダイヤモンドを多数内包した構造を有しており, 紫外から可視域の広いスペクトル域において大きな光吸収が発現するため, 太陽電池や紫外線センサーとして有望である. UNCD/a-C:H 膜単体での光検出には Metal-Semiconductor-Metal (MSM) 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. 今回は, シンクロトロン光を用いた光電子分光 (XPS) と紫外線光電子分光分析法 (UPS) により高濃度ボロンドープ UNCD/a-C:H 膜とメタル界面におけるショットキーバリアハイトを評価した. その結果, UNCD/a-C:H 膜と Au 界面において, ダウンベンディングが生じていることがわかった. この構造により p 形 UNCD/a-C:H の表面空乏化が期待できる.

(English)

Ultrananocrystalline diamond (UNCD)/hydrogenated amorphous carbon (a-C:H) composite (UNCD/a-C:H) films have a specific film structure, wherein a large number of diamond nanograins are embedded in an a-C:H matrix. The UNCD/a-C:H films possess large optical absorption coefficients of more than 10^6 cm^{-1} in the photon energy range between 3 and 6 eV. These optical features are profitable for the application of thin-film based solar cell and UV photodetectors. Although the Metal-Semiconductor-Metal (MSM) geometry is suitable for photodetection by using single-layered UNCD/a-C:H film, the property of film/metal interface hasn't been investigated in detail. In this study, a direct determination of barrier height of metal contact on p-type UNCD/a-C:H film was performed using X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and ultraviolet photoelectron spectroscopy (UPS). As a result, it was revealed that the down bending occurs on the film/metal interface, which indicates that depletion layer might appear on the surface of p-type UNCD/a-C:H by this structure.

2. 背景と目的

超ナノ微結晶ダイヤモンド/水素化アモルファスカーボン混相 (UNCD/a-C:H) 膜は, 水素化アモルファスカーボンマトリックス中に粒径が 10 nm 以下の微結晶ダイヤモンドを内包した構造を有しており, 紫外から可視域の広いスペクトル域において大きな光吸収が発現するため, 太陽電池や紫外線センサーとして有望である[1]. 我々はこれまでにパルスレーザ堆積 (PLD) 法および同軸型アークプラズマ堆積 (CAPD) 法を基調として UNCD/a-C:H を作製し, B および N 添加によるキャリア濃度コントロールを伴う伝導度制御に成功している[2,3]. またヘテロ接合ダイオードに

において、有能な光応答特性が得られることを確認した[4]. 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. 今回は、シンクロトロン光を用いた光電子分光 (XPS) と紫外線光電子分光分析法 (UPS) により UNCD/a-C:H 膜とメタル界面におけるショットキーバリアハイト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 膜は同軸型アークプラズマ堆積 (CAPD) 法により作製した. ターゲットには 1 at.% のボロンを含有させたグラファイトを用いた. チャンバー内はターボ分子ポンプを用いて圧力 1×10^{-4} Pa 以下に排気をした後, 水素ガスを 5 sccm 流入し, 0.4 Torr の水素雰囲気中で成膜した. 基板には n-Si (100) 基板を使用し, 基板温度は 550°C とした. UNCD/a-C:H 膜表面に Au および Ti をそれぞれスパッタリング法により堆積した. 膜/メタル界面のショットキー障壁高さを XPS と UPS により評価した.

4. 実験結果と考察

図 1 に Au が蒸着された UNCD/a-C:H 膜表面における C 1s 光電子スペクトルを示す. Au の初期厚さは 3 nm であった. 試料表面を Ar イオンにより in-situ スパッタし, スペクトルの変化を評価した. Au 蒸着により, C1s スペクトルは高エネルギー側に 0.3 eV シフトしていることが分かった. これは膜表面側から金属界面に向けてダウンベンディングしていることを示唆しており, p 型 UNCD/a-C:H 側への表面空乏化が期待できる. このことは今後の MSM 検出器作成における重要な知見である. 図 2 に UNCD/a-C:H 膜表面における UPS スペクトルを示す. スペクトルのカットオフより, フェルミレベルから価電子帯上端までのエネルギー差 ($E_F - E_V$) が 0.26 eV と見積もられた. これまでにイオン化ポテンシャル評価装置で見積もられた値と符合している. 図 3 に膜/メタル界面におけるバンドアライメントの概略予想図を示す. Au と UNCD/a-C:H 界面における障壁高さは 0.56 eV と見積もられた.

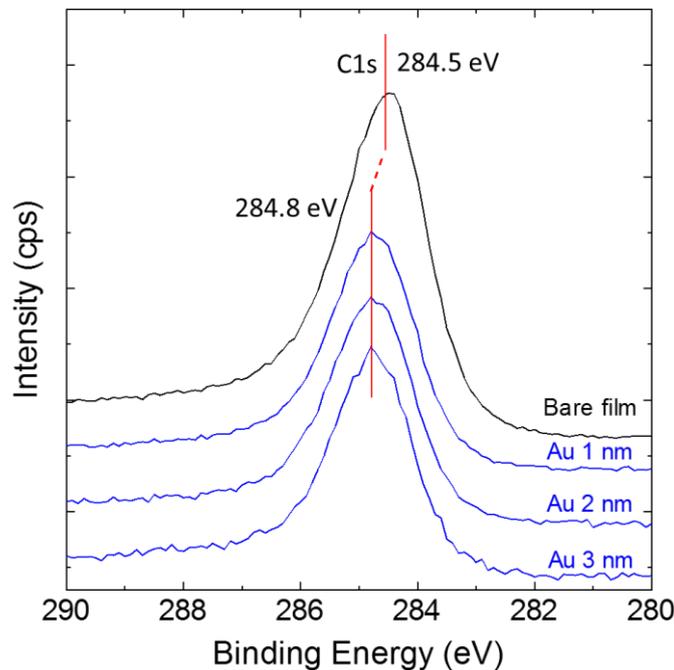


図 1. Au を蒸着した UNCD/a-C:H 膜表面における C 1s XPS スペクトル

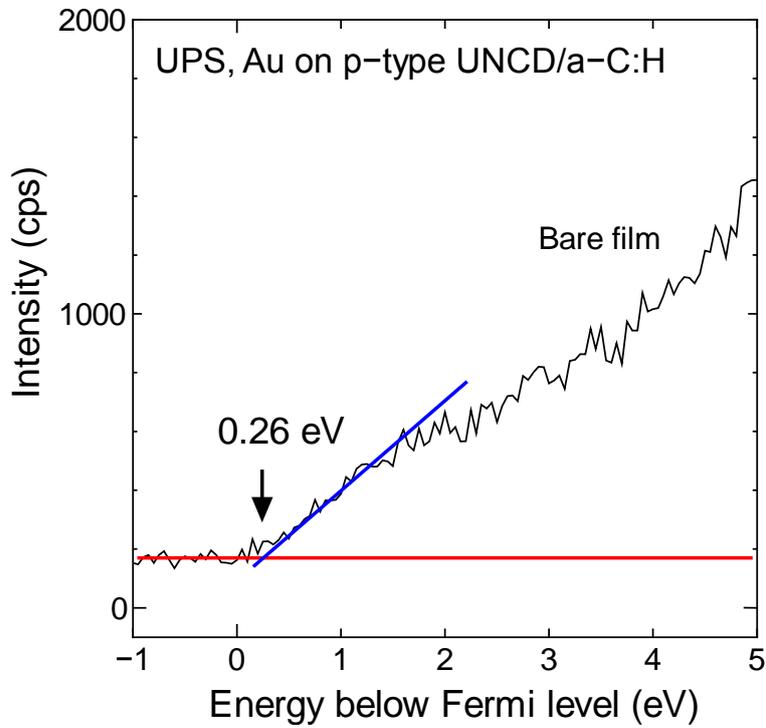


図 2. Au を蒸着した UNCD/a-C:H 膜表面における UPS スペクトル

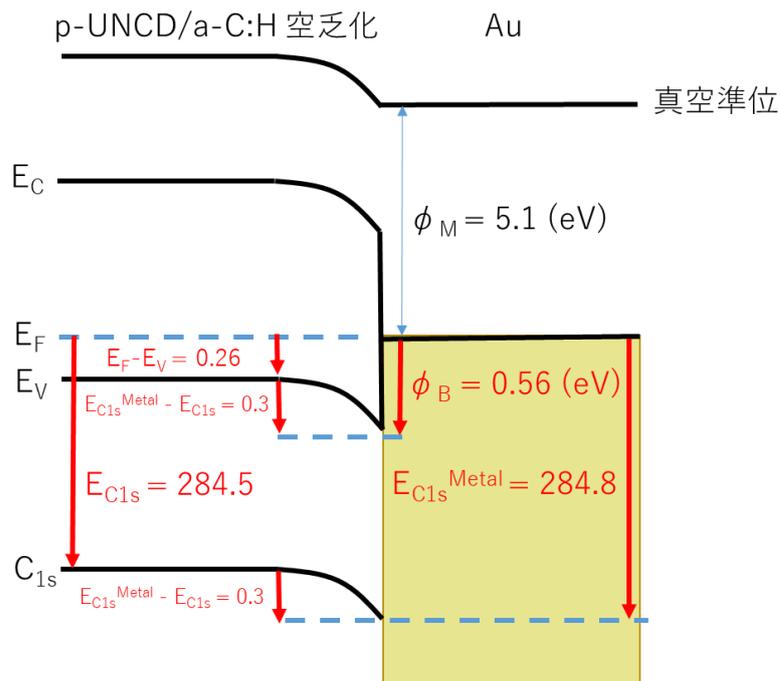


図 3. Au と UNCD/a-C:H 膜界面のバンドアライメント予想図

5. 今後の課題

他の金属と UNCD/a-C:H 界面のバンドアライメントを評価する予定である。

6. 参考文献

- [1] T. Yoshitake et al. Jpn. J. Appl. Phys. 46 (2007) L936.
- [2] S. Al-Riyami et al. Appl. Phys. Express. 3 (2010) 115102.
- [3] Y. Katamune et al. Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 065801.
- [4] S. Ohmagari et al. Appl. Phys. Express 5, 69 (2012).

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）

ダイヤモンド，パワーデバイス，低抵抗コンタクト

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（2015年度実施課題は2017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： 2016年 8月）