

熱処理により表面伝導を回復した(111)ダイヤモンドの表面構造

Surface structure of (111) diamond with recovered surface conduction after heat treatment

早稲田大学理工学術院 〇瀬下裕志, 袴田知宏, 小野和子, 横山悠樹, 宇都宮大起, 平岩篤, 川原田洋

Waseda University,

〇Y. Seshimo, T. Hakamata, W. Ono, Y. Yokoyama, D. Utsunomiya, A. Hiraiwa, H. Kwarada

E-mail: moonlight-cradle@suou.waseda.jp

1. 緒言 ダイヤモンド表面を水素終端すると、シート抵抗 $10^4 \Omega \text{sq}^{-1}$ 程度の p 型表面伝導層が発現する。この表面伝導層に必要な C-H 結合は、結合エンタルピーが 412kJmol^{-1} であり C-O 結合の 360kJmol^{-1} , C-C 結合の 348kJmol^{-1} より大きいことから高温でも安定であるとして期待でき、パワー素子用の半導体基板として好適である。以前、水素終端した面方位(111)のホモエピダイヤモンド表面の一部を酸素終端に置換しシート抵抗を $(1-2) \times 10^5 \Omega \text{sq}^{-1}$ にまで増加させた後 500-570°C に加熱すると、冷却し大気曝露した後のシート抵抗が $3 \times 10^4 \Omega \text{sq}^{-1}$ 程度にまで回復することを報告した¹⁾。この現象は、表面の酸素が脱離しそこに真空槽内に残留した水素が結合することにより生じたものと推測した。その妥当性を検証すべく、全反射フーリエ変換赤外分光法 (ATR-FTIR) 及び X 線光電子分光法 (XPS) を用い、上記熱処理によるダイヤモンド表面状態の変化について検討した。

2. 実験方法 まず、面方位(111)のホモエピダイヤモンド単結晶基板の表面を先端放電型リモートプラズマ CVD 装置にて水素終端した(2.7kPa の H_2 中、600°C、30 分間)。表面電導層のシート抵抗は $1.1 \times 10^4 \Omega \text{sq}^{-1}$ であった。その後、UV オゾン表面処理装置にて水素終端の一部を酸素終端へと変換し、シート抵抗を $10^5 \Omega \text{sq}^{-1}$ にまで一桁程度増加させた。この時点で、ダイヤモンドの表面状態を ATR-FTIR と XPS により観察した。ついで、高真空($3 \times 10^{-6} \text{Pa}$)中 500°C にて 20 分間熱処理した。この時点で RHEED 回折パターンが 1×1 を維持していたこと、および室温に冷却し大気曝露した後における表面電導層のシート抵抗が $1.4 \times 10^4 \Omega \text{sq}^{-1}$ へと減少していることを確認した。そして、再度 ATR-FTIR および XPS にて表面観察を行った。

3. 結果と検討 500°C の加熱により 2850cm^{-1} および 2920cm^{-1} 付近の ATR-FTIR 吸収ピークの強度が増加した (図 1)。これらは C-H 結合の伸縮振動に起因するピーク位置²⁾とほぼ一致しており、上記熱処理により水素がダイヤモンド表面へ新たに結合した可能性を示唆する。一方、XPS による O1s ピークの強度は加熱により減少した (図 2)。これら結果は、「500°C では水素と比べ炭素との結合力が小さい酸素が脱離し、チャンバー内に残留する水素によってダイヤモンド表面が終端される」とするモデルを裏付けるものである。ただし、ATR-FTIR 測定において、P 偏光に対する吸収ピーク強度が S 偏光に対するものより大きいとはいえず、表面に付着した有機汚染を測定している可能性も否定できない。今後、表面汚染の低減を図り測定精度を向上させる予定である。

4. 結論 部分的に酸素終端した(111)ダイヤモンドを加熱すると酸素が表面から脱離し水素が代わりに結合することを ATR-FTIR および XPS により確認した。ただし、今回の ATR-FTIR 測定においては、ダイヤモンド表面に吸着した有機汚染が大きく影響している可能性があり、その低減を図った上でダイヤモンド表面状態のさらなる解析を行うのが今後の課題である。

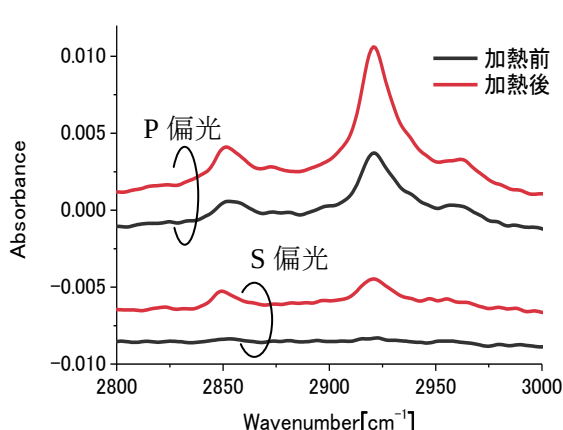


図 1. ATR-FTIR スペクトル

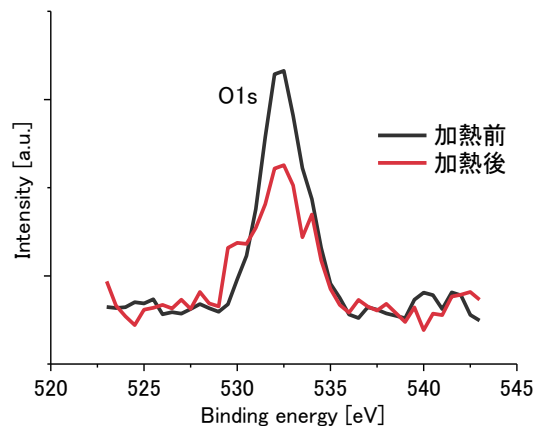


図 2. XPS にて観察した O1s ピーク

[謝辞] 本研究は JST 先端的低炭素化技術開発(ALCA)の助成を得た。

1) 瀬下, 袴田, 横山, 宇都宮, 小野, 平岩, 川原田, 秋季第 74 回応用物理学会 18a-D1-9 (2013).

2) B. F. Mantel, et al., Diamond Relat. Mater. 9 (2000) 1032.