

部分酸素終端(111)ダイヤモンド表面の真空熱処理による表面伝導回復

Recovered surface conduction under partially oxidized (111) diamond surface after vacuum annealing

早稲田大学理工学術院

○林佑哉, 原壮志, 瀬下裕志, 袴田知宏, 小野和子, 平岩篤, 川原田洋

Waseda University,

○Y. Hayashi, T. Hara, Y. Seshimo, T. Hakamata, W. Ono, A. Hiraiwa, H. Kawarada

E-mail: hayashin@ruri.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が $10^4 \Omega \text{sq}^{-1}$ 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 結合の結合エンタルピーは 412kJmol^{-1} であり C-O 結合の 360kJmol^{-1} や C-C 結合の 348kJmol^{-1} より大きいことから高温においても安定であると期待できる。実際、上記表面伝導層を用いた横型 MOSFET が 400°C という高温においても動作することを我々は確認している [1]。このような横型 MOSFET の素子分離やしきい値電圧調整を行う上で水素終端表面を完全もしくは部分的に酸素終端化するのが簡便かつ有効であるが、高温における MOSFET の安定動作を実現するためには、水素終端のみならず完全もしくは部分酸素終端の熱的安定性を明らかにしておく必要がある。このうち水素終端および(001)面の部分酸素終端に関しては、真空中において $700\text{--}750^\circ\text{C}$ まで安定であることを我々は確認している [2, 3]。他方、(111)面の部分酸素終端は真空中 $500\text{--}570^\circ\text{C}$ の加熱により水素終端に回帰し $10^4 \Omega \text{sq}^{-1}$ 程度の伝導性を回復することを先回報告した [3]。本報告ではこのように水素終端に回帰する温度の下限について検討した。

2. 実験方法

まず、面方位 (111) のホモエピタキシャル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 (600°C , 30 分間)。表面伝導層のシート抵抗は $1 \times 10^4 \Omega \text{sq}^{-1}$ 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。ついで、超高真空 (3×10^{-6} Pa) 中 $150\text{--}750^\circ\text{C}$ にて 20 分間の熱処理を行った。室温に冷却後大気に暴露し、シート抵抗を測定した。

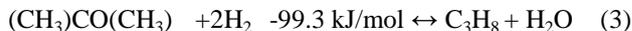
3. 結果と検討

真空アニールにより水素終端が回復する熱処理温度の下限は 250°C である (図 1)。(111)ダイヤモンドの酸素終端構造の多くはアルコール結合 (-OH) やエーテル結合 (-COC-) になっていると報告されている [4]。これらと H_2 との化学反応は次式に示すように発熱反応であり、自律的に進行する。



このため熱処理により水素終端およびその結果としての表面伝導が回復するものと考えられる。

なお、酸素終端された (001) ダイヤモンド表面の多くはケトン結合 (C=O) であると報告され、同結合と H_2 との反応も次式に示すように発熱反応である [5]。



それにも関わらず水素終端が回復しないことから反応のエネルギー障壁がアルコール結合、エーテル結合の場合より高い可能性がある。

4. まとめ

水素終端の一部を酸素終端に置換した (111) ダイヤモンドを加熱した際に伝導性の回復する温度範囲が $250\text{--}570^\circ\text{C}$ であることを明らかにするとともに、本低抵抗化現象が生ずる原因を化学反応論に基づき考察した。

[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] 許, 平岩, 川原田, 他, 春季第 75 回応用物理学会 18p-D6-8 (2014).
- [2] 瀬下, 袴田, 平岩, 川原田, 他, 秋季第 74 回応用物理学会 18a-D1-9 (2013).
- [3] 瀬下, 袴田, 平岩, 川原田, 他, 春季第 61 回応用物理学会 18p-D6-2 (2014).
- [4] D. Takeuchi, S. Yamasaki, et al., Diam. Relat. Mater. 18 (2009) 206.
- [5] W. M. Haynes, HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS 93rd (2012-2013).

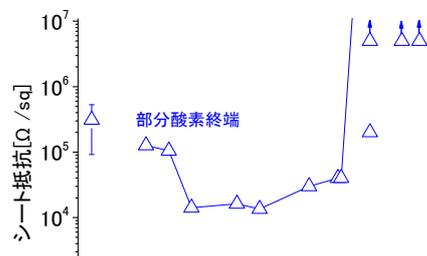


図 1. (111)基板の加熱後シート抵抗