

L-41

集束イオンビーム化学気相成長法によるテラヘルツ波検出アンテナの作製

Preparation of the terahertz wave detection antenna by focused ion beam chemical vapor deposition

○青井祐介¹, 田村拓², 胡桃聡³ 鈴木薫^{3, 4}*Yusuke Aoi¹, Taku Tamura², Satoshi Kurumi³, Kaoru Suzuki^{3,4}

Abstract: The terahertz wave has a boundary line of an electric wave and light which expects to use imaging technology such as security checking and medical diagnosis. However it is difficult to find terahertz waves because an antenna which detect terahertz waves is micron-size and need microfabrication techniques. In order to fabricate the CNT diode, Ga ion beam is irradiated to n-CNT. In this study, we report to the fabrication technique of the CNT diode for detecting the terahertz wave by FIB Ga ion implantation. As a result we could fabricate CNT diode which size are diameter, 15 μm , thickness, 500 nm.

1. はじめに

テラヘルツ波は電磁波と光の境界線にあたり、電磁波の物質を透過する性質と光の高い空間分解能の両方を合わせ持っている。テラヘルツ波の範囲では紙やプラスチックなどの無極性分子を透過し水分や金属を透過しないという特徴がある。さらに多くの物質が指紋スペクトルと呼ばれる固有のスペクトルを持っているため材料判断が可能となる。我々はこのテラヘルツ波に注目し、テラヘルツ波の検出回路作製を目指している。検出回路を作製する為にはマイクロ又はナノメートルオーダーの回路素子が必要になる。本研究では微細加工技術として集束イオンビーム装置 (Focused Ion Beam: FIB) に着目した。FIB 装置とはビームのイオン源にガリウムイオン (Ga^+) を用いており、ビーム径をナノメートルオーダーまで絞ることで、試料を観察しながらエッチング、デポジションといった加工が微細な範囲で可能である。過去の研究結果より、気固界面熱分解法によるカーボンナノチューブ (Carbon Nano Tube: CNT) 生成時にレーザー支援を行うことにより直線性を持った CNT の生成に成功している。本研究では直線性を持った CNT にリンをドープレし、n-CNT を生成し FIB による Ga^+ イオン注入を局所的に行うことで CNT による pn 接合ダイオードの作製について報告する。

2. 実験方法

2.1 直線性を持った n-CNT の生成

直線性を持った n-CNT を Si 基板 (SUMCO 製 4 インチ n 型 Si, 抵抗率 1-10 Ωcm) に生成した。n-CNT の成長を促進するために、マグネトロンスパッタ法を用いて、金属触媒として Fe を成膜した。Fe 上に気固界面熱分解法を用いて、直線性のある n-CNT を生成する。Fig. 1 に実験方法を図示する。Fe を成膜したシリコン基板に電極を取り付けチャンバー内にセットし抜気する。同時に、炭素供給源として $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ を、ドーブ材として

$\text{P}(\text{OCH}_3)_3$ を混合させてチャンバーに 50sccm 流入する。この時、 $\text{P}(\text{OCH}_3)_3$ の流量は $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ に対して 1, 3, 5% とする。また、電極間の電流 (10A) を印加することでジュール熱を発生させ、 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ と $\text{P}(\text{OCH}_3)_3$ を分解させる。この際 n-CNT の直線性をもたせるため半導体レーザを陰極部に照射し、10 分間生成を行った。生成した n-CNT を FIB によって SIM (scanning ion microscopy) 像を観察した。

2.2 FIB による Ga^+ イオン注入

直線性をもった n-CNT を二端子法で V-I 特性を測定するため、シリコン基板上に熱酸化法を用いて酸化膜を形成した。熱酸化法の条件として 1000°C で 10 分間加熱し 100nm の酸化膜を形成した。酸化膜上にフォトリソグラフィ技術を用いて電極間 300 μm の Au 電極対を形成した。生成した CNT を基板上から削りとり電極対間に設置し FIB による Pt デポジションを用いて Au 電極と接続した。そのイメージ図を Fig. 2 に示す。FIB により CNT に局所的に Ga^+ イオン注入を行い、pn 接合ダイオード作製した。その電気特性を二端子法を用いて測定した。

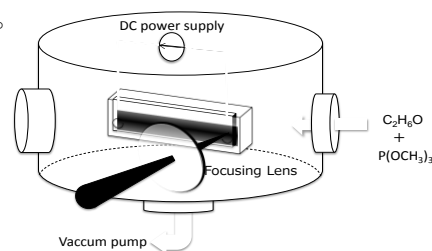


Fig.1 Gas-solid interface thermal decomposition method

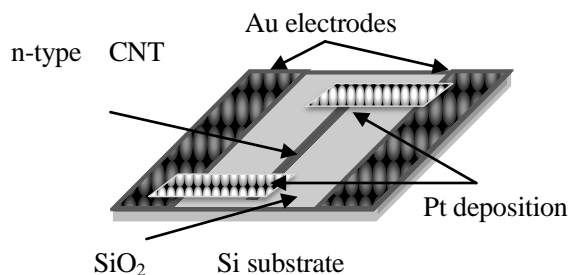


Fig.2 Processing Image

1:日大理工・学部・電気 2:日大理工・院(前)・電気 3:日大理工・教員・電気 4:材料創造・先端材料センター

3. 結果

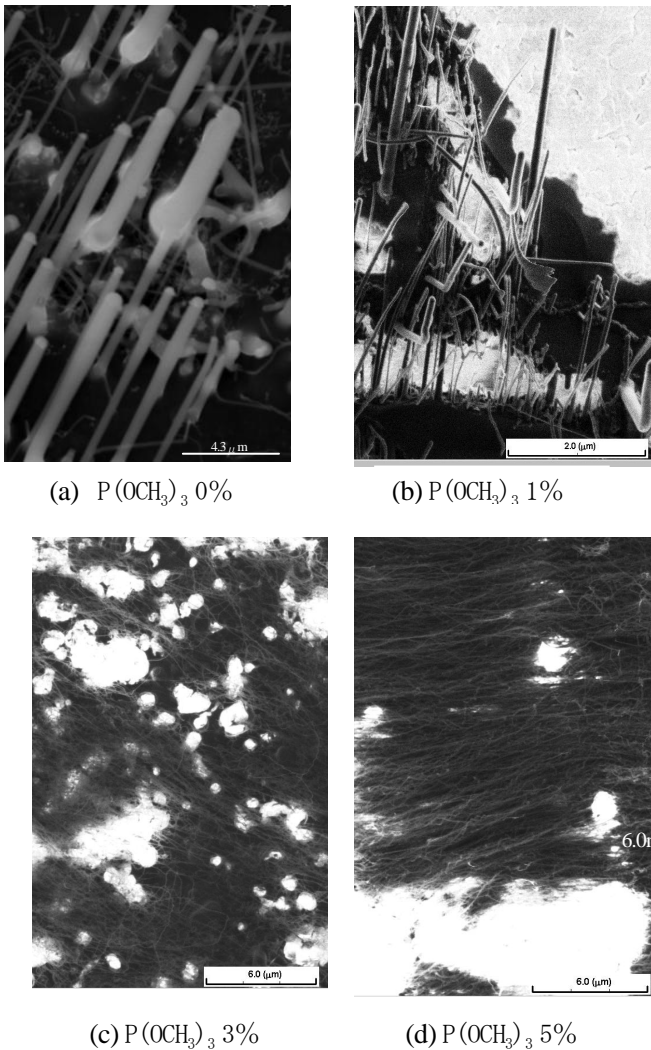


Fig.3 Image of CNT

Fig.3に亜リン酸の濃度を変化させたときのそれぞれのSIM像を示す。(a)では濃度が0%のとき直径さが400nm,長さ約3.5 μ mの直線性をもつCNTが多く生成されていることがわかる。(b)では、濃度が1%のとき、リンをドーピングさせてもレーザ支援を行うことで、直径が約500nm長さ約15 μ m程度の直線性をもったCNTが多く生成されていることがわかる。一方、(c),(d)では亜リン酸の濃度が3%,5%のとき、共に長さ20 μ mであるが直径が約40nmと細くなってしまい、非直線的でランダムな成長をしている。以上のことより、濃度が1%の時に生成したCNTがGa⁺イオン注入を行うのに最適だと考えられる。また以上の結果より不純物であるP(OCH₃)₃を増加させていくことによってCNTのグラフェン層間に不純物が入り込み構造に乱れが生じたものと思われる、亜リン酸の濃度が1%で生成したCNTにGa⁺イオン注入を行った際の電気的特性をFig.5に示す。

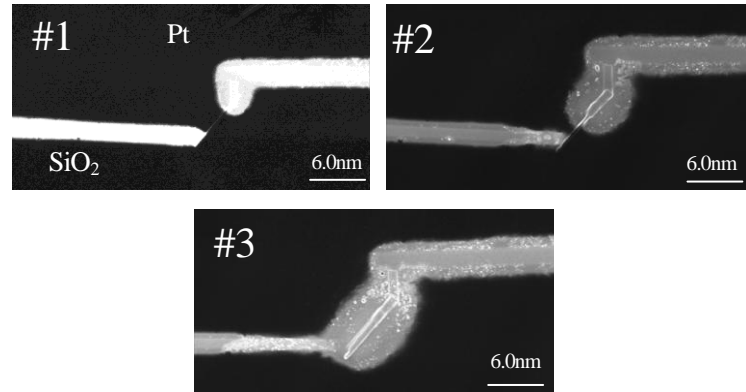


Fig.4 Image of gallium ion implantation

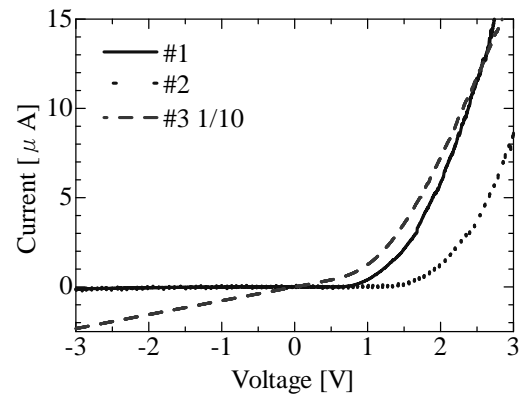


Fig.5 I-V characteristics of CNT

#1, #2, #3,とGa⁺イオンのドーピング量を増加させた。#1, #2,は共に整流性を示したが順方向電圧は上昇し、バンドギャップの増大がうかがえる。さらにドーピングを増やした#3,では順方向電圧は低下し、逆バイアス電圧を印加させたときにオーミックな電流が加わった特性を示した。以上のことより、制御することが可能である。

4. まとめ

不純物としてリンをドーピングしてもレーザ支援を行うことによって直線性をもったCNTの生成を確認できた。また、リンをドーピングしたCNTにGa⁺イオン注入を行うことによって整流性を示すダイオード素子の製作に成功した。今後は、製作した素子の分析を行う。

謝辞

本研究は、日本大学学術研究戦略プロジェクト「N.プロジェクト」の助成による成果である。

5. 参考文献

- [1] 阪井清美, 萩行正憲:「テラヘルツ時間領域分光法とイメージング」, レーザ研究, Vol.30, pp.376(2002)
- [2] 足立達哉:「FIB装置とその応用」, 電子顕微鏡, Vol.30, No.3, pp112(1996)
- [3] 谷口慶治:「アンテナと電波伝播」, 共立出版株式会社(2006)