

課題番号 P-1

画像デバイス応用に向けた長尺カーボンナノチューブアレイの研究

[1] 組織

代表者：井上 翼

(静岡大学工学部電気電子工学科)

対応者：三村 秀典

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

岡田 守弘(静岡大学電子工学研究所)

Haibo Zhao(North Carolina State University)

[2] 研究経過

カーボンナノチューブ(CNT)は、グラフェンシートが直径数十ナノメートル以下でチューブ状になっているナノ構造である。電気特性、機械特性及び熱特性などが他の素材に比べて非常に優れているため、さまざまな研究が行われている。さらには、針状構造であることから、アスペクト比を容易に 10,000 以上とすることも可能であり、冷陰極源材料として大きな注目を浴びている。

本プロジェクトでは、これまで全く新規な CNT 合成方法を開発してきている。CNT は基板に対して垂直に配向したアレイ構造であり、10 分間の成長時間で 1mm に達する高速成長である。この合成技術にはさらに、無限に CNT ウェブを引き出せるという大きな特徴がある。CNT ウェブとは、CNT が網目状に結合した二次元ネットワーク構造である。この CNT ウェブを加工することにより、さまざまな形状の大型 CNT 構造体を作製可能となる。本プロジェクトの目的は、これまででない CNT アレイの加工技術と新規 CNT 構造体の形成、及びその応用技

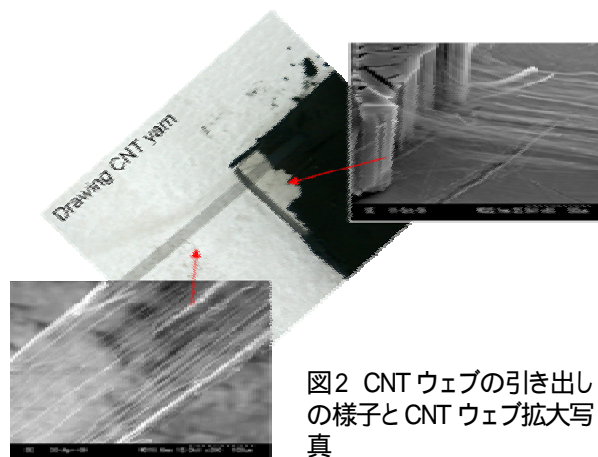


図2 CNT ウェブの引き出しの様子とCNT ウェブ拡大写真

術開発である。本研究期間においては、長尺 CNT の電気特性と熱特性に着目し、真空中での熱電子放出特性を調べた。

[3] 成果

(3 - 1) 研究成果

図1にCNTアレイの走査型電子顕微鏡(SEM)像を示す。CNTは基板に対して垂直に配向して成長している。我々のCNTは多層構造をしており、直径は20~40nmである。長さは20分間の成長では2.5mmに達する。

このようにCNTアレイはミリメートル級の長尺であるため、ピンセット等を用いてその一端を容易につまみ出すことが可能である。そうすると、つまみ出されたCNTは次々と隣のCNTを引き連れて引き出されるため、網状のCNTウェブが形成される。その様子を図2に示す。CNTウェブ中ではCNTは引き出し方向に対して平行に配向している。ここで、CNT同士はファンデルワールス力で結合して

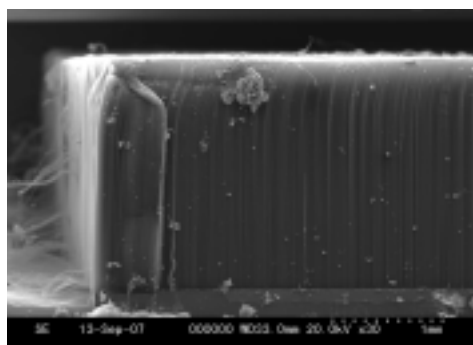


図1 CNT アレイ

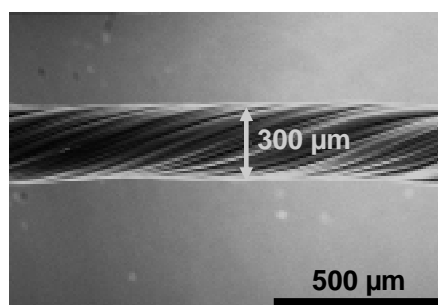


図3 CNT ファイバー

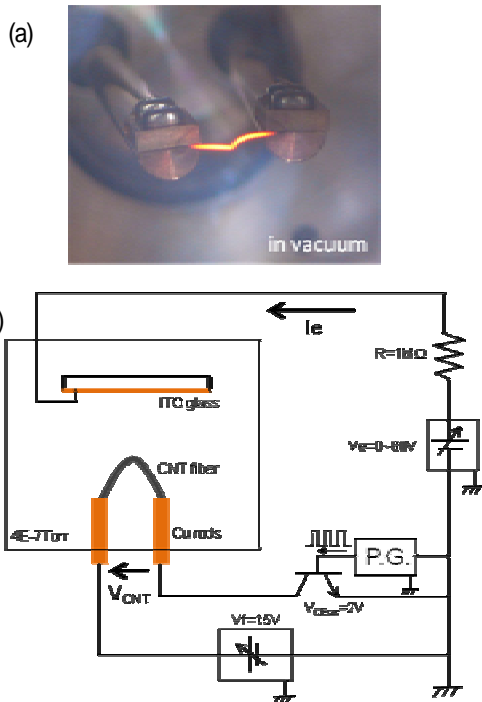


図4 (a)CNTフィラメント駆動の様子、(b)熱電子放出特性測定回路

いる。CNT 短繊維の長さは1~2mm であるが、紡績により数 10m 以上の長繊維化が可能である。このウェブを束ねて撚りを加え、図 3 に示すような CNT ファイバーを作製した。本ファイバー中においても CNT は高い配向性を保持している。電気抵抗率は $1 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 程度であり、柔軟性と導電性を併せ持つ新規素材である。

この CNT ファイバーに真空中で直流電流を引加して、フィラメント動作をさせた。その様子を図 4(a) に示す。直流フィラメント駆動では、10W 程度の小電力駆動で熱電子放出が観測された。そこで、フィラメント駆動電源をパルス化し、熱電子放出のパルス動作を測定した(図 4(b))。図 5 に 50Hz の矩形波パルス駆動による熱電子放出特性を示す。フィラメント駆動電圧ピーク値は 20V、加速電圧は 400V である。非常に明瞭なパルスエミッションが観測された。熱電子放出において、フィラメントのパルス駆動によるパルス電子ビーム発生は、これまでに全く報告されていない新しい成果である。本研究では、最高で 5kHz までパルスエミッション動作が観測された。一方、比較のため同サイズのタングステンフィラメントにて同様の実験をしたところ、数 Hz 程度で熱電子放出は観測されなくなった。高速な熱電子パルス放出動作においては、エミッション電流を十分に観測できる 1300K 程度とエミッションが停止する 1000K の間を瞬時に繰り返すことが必要である。CNT ファイバーはタングステンに比べて加

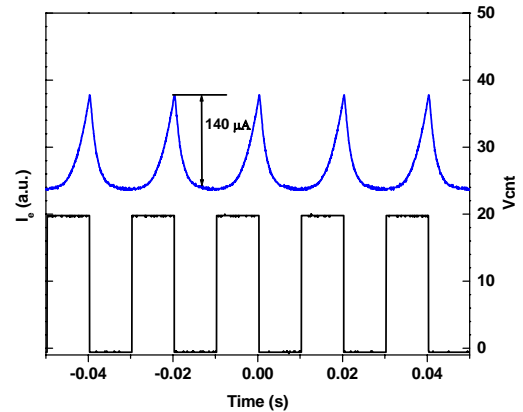


図5 50Hz 駆動パルス熱電子放出特性。フィラメント加熱電圧(黒実線)及び熱電子エミッション電流(青実線)

熱・放熱特性が非常に優れていると言える。CNT ファイバーの過熱放熱プロセスなどの詳細な検討は今後引き続き進める予定である。さらに、このパルス電子ビーム源を用いた X 線源の開発にも取り組む予定である。それにより、パルス X 線源も実現可能である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、ノースカロライナ州立大学 Zhu 教授グループとの交流が飛躍的に活性化し、今後も継続的に研究交流を続けていくようになった。また、本プロジェクトで明らかになった CNT の熱電子放出の成果は、任意波形電子源・X 線源という新しい研究領域の開拓(萌芽的研究の発見)に結びつき、今後の発展が期待されている。

[4] 成果資料

(1) "Nanotube fiber and spinnable ultra-long multi-walled carbon nanotube array", Yoku Inoue et al., The 36th International Conference on Compound Semiconductor (Sep/2009), Santa Barbara, USA.

(2) "塩化物 CVD 法による長尺多層カーボンナノチューブアレイの作製", 村上篤、井上翼他、第 70 回応用物理学会学術講演会、2009/9、富山

(3) "長尺多層カーボンナノチューブアレイを用いたナノチューブファイバーの作製", 志水さやか、井上翼他、第 70 回応用物理学会学術講演会、2009/9、富山

(4) "長尺 MWNT アレイからの CNT ウェブ紡績メカニズムの解明", 鈴木佑亮、井上翼他、第 57 回応用物理学関係連合講演会、2010/3、平塚

(5) "長尺 MWNT による軽量高強度 CNT ファイバーの開発", 松村潤一、井上翼他、第 57 回応用物理学関係連合講演会、2010/3、平塚