

課題番号 P-2

# カーボンナノチューブ長繊維フィラメントを電子源とする高速パルス X 線源の基礎研究

[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：

榊原 慎吾 (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。

本プロジェクトは、昨年度に引き続き 2 年目の研究として取り組んだ。本グループでは、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、これまでにない CNT アレイの加工技術と新規 CNT 構造体の形成、及びその応用技術開発である。昨年度は、CNT ファイバーを作製し、熱フィラメントとして利用した熱電子放出源としての動作特性について研究を行った。本年度は、熱電子源の時間応答特性を明らかにした後、周波数特性を詳細に調べることを目的として研究を実施した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

紡績性の高い CNT アレイより CNT ウェブを引き出すときに撚りを加えて CNT ファイバーを作製した。5cm 長の基板上から約 50m 程度の CNT ファイバーを作製可能である。図 1 に示すようなシステムを構築した。作製した CNT ファイバーを電子顕微鏡にて観察した様子を図 2 に示す。一般的な撚り糸と同様なモフォロジーである。CNT ファイバーを熱フィラメントとして図 3 に示す熱電子放出システムの電極間に配置し、通電加熱により熱電子放出特性を測定した。

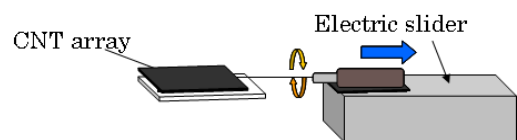


図 1 CNT アレイから CNT ファイバーを紡績する概念図

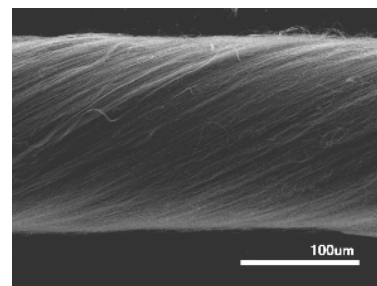


図 2 CNT ファイバー。直径は 150 $\mu$ m 程度。

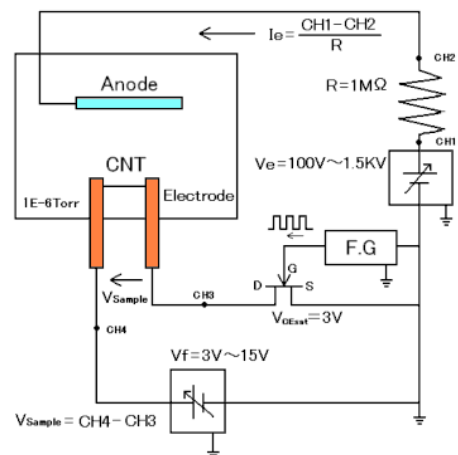


図 3 パルス熱電子放出測定システム

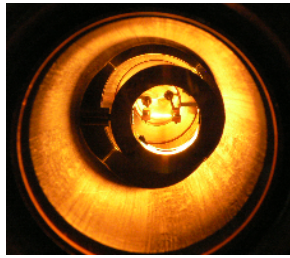


図4 CNTファイバーのフィラメント動作の様子

CNTファイバーを周期的に加熱してパルス動作させるために、CNTファイバー加熱回路部にパワーMOSFETを取り付け、ファンクションジェネレータより矩形波を入力してパルス加熱を行った。図4にCNTファイバ加熱時の様子を示す。

まず、直流通電加熱した時の加速電圧と熱電子エミッション電流の関係を図5に示す。従来のタングステンフィラメントと同様に、空間電荷制限領域と温度制限領域が観測された。CNTファイバーを熱電子放出源として利用可能であることがわかった。

次に、CNTファイバーフィラメントの熱応答特性を調べるため、パルス加熱した時の熱電子放出特性を測定した。図6に示すように、熱電子放出は加熱に遅れて動作した。立ち上がりの遅れは16msec、立下り遅れは10msecであった。比較のため測定したタングステンフィラメントでは、立ち上がり時間、立下り時間がそれぞれ102msec及び154msecであり、CNTファイバーフィラメントが応答性が高いことがわかった。

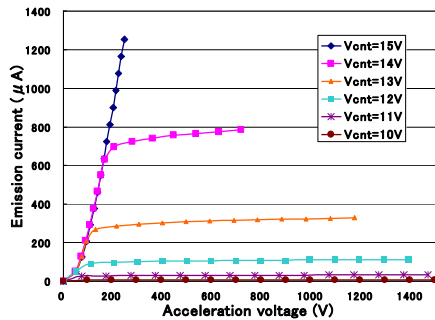


図5 CNTファイバーの直流熱電子放出特性

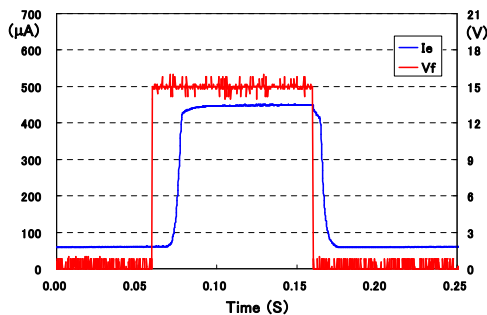


図6 CNTファイバーフィラメントの応答速度

CNTファイバーにパルス通電した時の周波数特性を図7に示す。パルスのON/OFF比(パルスデューティ)をパラメータとして20%から80%まで変化させた。その結果、200Hz程度まではパルス電子放出動作することが分かった。なお、図8に示すように、パルス化には至っていないが100kHzの電子ビーム変調を達成した。本研究で実現したパルス熱電子源を用いてパルスX線源を構成すれば、容易にパルスX線源が実現可能であり、引き続き研究を進める。

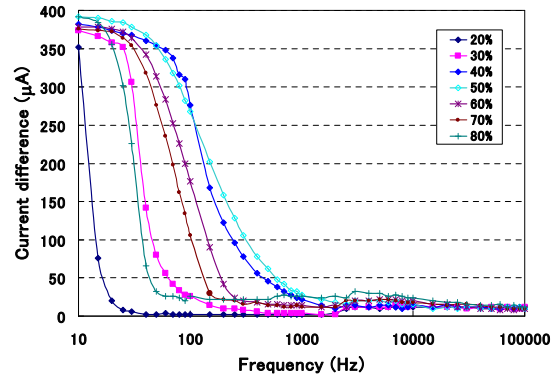


図7 CNTファイバ熱電子放出の周波数特性

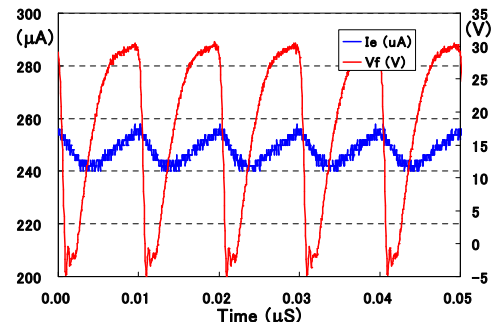


図8 100kHz変調動作

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、昨年度から引き続きノースカロライナ州立大学 Zhu 教授グループとの交流が良好に続いており、共著論文も投稿された。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、パルスX線源というデバイス実現の可能性を秘めており、今後の発展が期待される。

### [4] 成果資料

- [1] "Pulsed thermionic emission characteristics of carbon nanotube fibers", A. Ghemes, Y. Inoue et al., 第71回応用物理学会学術講演会 (Sep/2010), 長崎.
- [2] "Thermionic Emission from Long Spun Carbon Nanotube Fiber", Y. Inoue et al., The 23rd International Vacuum Nanoelectronics Conference (July/2010), Palo Alto, USA.

