

Title	Laser and Plasma Post Treatments of Carbon Nanotube Cathodes for Field Emitters
Author(s)	Kim, Won-Seok
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48826
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	金 元 錫
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 2 1 1 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 20 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科システム創成専攻
学 位 論 文 名	Laser and Plasma Post Treatments of Carbon Nanotube Cathodes for Field Emitters (カーボンナノチューブ電界放出電子源のためのレーザーおよびプラズマ処理)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 高 井 幹 夫 (副査) 教 授 奥 山 雅 則 教 授 岡 本 博 明

論 文 内 容 の 要 旨

Since the advent of carbon nanotubes (CNTs) in 1991, there have been a lot of suggestions to apply carbon nanotubes to various areas, including a field emission display (FED), energy storage, sensors, and even an aircraft. Due to the various advantages of CNTs as field emitters, such as low work function, high field enhancement factor, and high mechanical and chemical stability, the carbon nanotubes became one of the best materials for the realization of the FED. For the application of the CNTs as field emitters, however, it always required long lifetime and high field emission current density.

In this thesis, at first, long lifetime was achieved by the selective ion etching of tape-peeled CNT emitters in direct current (dc) plasma. The small number of CNT emitters which have very long height was considered to be attributed to the high field emission current density at a low applied electric field. On the contrary, the concentrated electric field on the small number of CNT emitters forced the emitters to be deteriorated in a short time. After dc plasma etching of the emitters, the load of emission current among CNT emitters became disperse and, finally, the field emission lifetime was greatly increased, resulting that the expected life time that the initial current density of $100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ decreased to its half value reached to 5000 hrs, the value of which was about 20 times longer than that without plasma treatment.

One of the useful methods for exposing CNT emitters out of surface is laser irradiation. Since a laser photon with higher energy than the C-C bonding energy of CNTs can induce direct bond breaking of CNTs, the KrF laser with a photon energy of 5 eV was selected. Furthermore, it could treat only the surface of CNT cathodes fabricated by screen-printing method, in that the penetration depth of the KrF laser light in the CNT cathode is only 10 nm. The field emission characteristics were greatly improved by the KrF excimer laser treatment with power densities of $4\sim 5 \text{ MW}/\text{cm}^2$, resulting in turn-on field of less than $2 \text{ V}/\mu\text{m}$ and the emission current density of more than $10 \text{ mA}/\text{cm}^2$ at $5 \text{ V}/\mu\text{m}$. It was proved that the improved field emission characteristics were resulted from the laser photon effect which increased the number of emission sites, i.e. defects, in the CNT

cathode. The further increase in laser power density at and above 6 MW/cm^2 , however, decreased both field emission current densities and defects, which was due to the thermal annealing effect of the laser.

During the fabrication of a FED triode structure, a dry etching such as plasma etching is necessary. Moreover, the increased number of defects by the laser irradiation increased the field emission current density. This implies that the effect of plasma treatment, indeed, should be investigated on the field emission characteristics before and after laser irradiation because the plasma treatment increases the number of defects in CNT cathodes. Raman scattering of CNT cathodes treated by plasma alone showed that defects were greatly increased. Although it is expected that the greatly increased defects by plasma treatment should increase the field emission current density, it did not show any increase in the field emission current density due to low field enhancement factor which turned out from the observation of surface morphology of CNT cathodes. However, additional laser treatment of the plasma-treated CNT cathodes incredibly improved the field emission characteristics, resulting in the field emission current density of more than 30 mA/cm^2 at $5 \text{ V}/\mu\text{m}$ and the turn-on field of less than $2 \text{ V}/\mu\text{m}$. The increased defects by 80% as well as the increased field enhancement factor of plasma- and laser-treated CNT cathodes, as compared with those treated with laser alone, result in the improved field emission characteristics, indicating that the induced defects by plasma and laser treatment play an important role on the field emission characteristics.

論文審査の結果の要旨

電界放出電子源は、フィールドエミッションディスプレイ (FED) やフィールドエミッションランプ (FEL) および液晶パネルのバックライトユニットの電子源として注目され、色々な材料が電子原材料として研究されている。カーボンナノチューブ (CNT) は、アスペクト比が高く、化学的に安定であり、大面積電子源が可能なため、電子原材料として期待されている。本論文は、印刷法による CNT 電界放出電子源の特性向上のための表面処理法に関する研究をまとめたものである。

CNT 電子源の製法には、ガラス基板上に直接 CNT を成長する方法と、CNT をペースト化し印刷成膜する方法があるが、本研究では 550°C 以下の温度でガラス基板上に成膜出来る印刷法を使用している。印刷法による電子源では、成膜焼成後の CNT は相互に絡み合っており、電界印加による電子放出が困難なため、成膜後の表面処理による起毛が必要とされている。

本論文では、表面処理法として、粘着テープによるピーリング、プラズマ処理およびエキシマーレーザ照射を試みている。テープピーリングでは、 $3 \text{ V}/\mu\text{m}$ の電界放出閾値電界と 10 mA/cm^2 の電流密度が得られるが、起毛される CNT の長さが一様でないため寿命が短く、プラズマ処理を施すことにより、長寿命になることを明らかにした。

CNT の C-C 結合のエネルギーより大きいエネルギーのレーザフォトン (KrF エキシマーレーザ) による表面処理では、 $4\sim 5 \text{ MW/cm}^2$ のパワー密度の照射により、 $2 \text{ V}/\mu\text{m}$ の電界放出閾値電界と 10 mA/cm^2 の電流密度が得られ、寿命も長い電子源となることを明らかにした。電子源のラマン散乱と電子顕微鏡観察により、レーザ照射後の電子源表面では CNT が一様に突出していること、ラマン散乱で得られる欠陥に関するスペクトルピーク強度が増加することを明らかにした。

CNT 電子源の応用には、ゲート構造が必要とされるが、作製プロセスでプラズマ処理を必要とするため、この処理の有無による電子源特性も調べている。CNT 電子源表面に Ar プラズマ処理を施すと、電子放出特性が劣化するが、レーザ処理を合わせて行うことにより、特性が向上することを明らかにしている。

以上のように、本論文は、印刷 CNT 電界放出電子源の問題点を解決する表面処理法を開発することにより、実デバイスに应用できるレベルの電子放出特性を得ており、この成果は表示デバイスのみならず電界放出を用いた真空ナノエレクトロニクス分野に大きく貢献するものであり、博士 (工学) の学位論文として価値のあるものと認める。