

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 11 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23651145

研究課題名（和文） カーボンナノチューブを用いた自由電子による可変波長レーザー光源

研究課題名（英文） Variable wave length laser light source of free electron with carbon nano-tube

研究代表者

森迫 昭光 (MORISAKO AKIMITSU)

信州大学・工学部・教授

研究者番号：20115380

研究成果の概要（和文）：本研究では、カーボンナノチューブ中の伝導電子の特に長い平均自由行程を利用し、周期化した磁界を加えることによって、電子と周期化磁界の共鳴的な相互作用によってコヒーレント電磁波の発生素子に関する基礎研究である。この研究で重要な点はカーボンナノチューブの操作および周期化磁界の発生手法である。カーボンナノチューブを溶液中に分散し、電極間電圧を加えることによって、カーボンナノチューブの電極間の配列手法を再現性は良くないが確立した。これに基づく、カーボンナノチューブの室温での電気伝導率の測定による平均自由行程の評価を行った。すなわち、垂直磁化膜を用い周期化磁界を提供できる縞状磁区を持つ電極の形成を行った。しかしながらカーボンナノチューブと電極間の接触抵抗が非常に大きいことが明らかになり、より良好なコンタクト法を開発しなければならないことが明らかになった。電気伝導率の測定による電子の平均自由行程を評価したところ、電気伝導率と周期化磁界の強さ、すなわち、垂直磁化膜の残留磁化間の関係、周期化磁界の周期の長さとの関係を明らかにした。さらに、カーボンナノチューブの種類及びこれらの性質の基板材料への依存性も検討した。しかしながら、実際の発光には至っておらず、今後、カーボンナノチューブと電極間の接触抵抗の低減、基板材料の最適化ならびに高い空間磁界を提供できる垂直磁化膜の材料に関する検討によって、コヒーレント電磁波の発生効率を高めていく。

研究成果の概要（英文）：Carbon nanotubes are well known for its long electron mean free path. In this research, a periodical magnetic field is applied vertical to the carbon nanotube. The possibilities of creation of coherent microwaves or light due to the interactions between electrons and the periodical magnetic field have been investigated. The fundamental of this research are aligning carbon nanotubes between the electrode and suitable design of periodical magnetic field. An easy process has been developed to align carbon nanotubes between the electrodes. Furthermore, exchange coupling between soft and hard magnetic thin film was used to creating strip domains between the electrodes. Due to the large resistance between the electrode and carbon nanotubes, coherent light could not be observed in the experiment. Future works will focus onto the minimization of the resistance between the electrode and carbon nanotubes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電気電子材料

キーワード：自由電子レーザー、カーボンナノチューブ

1. 研究開始当初の背景

次世代超高速・超低消費電力情報通信技術 (ICT) の基盤技術の構築ためにはエレクト

ロニクスデバイスの速度限界を超える超高速な全光ネットワーク技術、光情報処理、光コンピューティング技術の基本デバイスの開発が必須である。それ故、光の指向性・収束性に優れたコヒーレント光であるレーザーの発生及び制御が最も重要な事柄である。レーザーは誘導放出を起こす物質（媒体）によって、固体レーザー、液体レーザー、ガスレーザー、化学レーザー、金属蒸気レーザー、自由電子レーザー及び半導体レーザー等種類に分けられる。安価で小型の半導体レーザーすでに CD・DVD・BD 等情報記録デバイスの中データの書き込み・読み取りに使用されている。しかし、更なる次世代超高速・超低消費電力 ICT 技術に応用されるために、より多くの媒体中に自由に転送できる、周波数可変なレーザーの発生は必要になる。

次世代超高速・超低消費電力情報通信技術 (ICT) の基盤技術の構築ためにはエレクトロニクスデバイスの速度限界を超える超高速な全光ネットワーク技術、光情報処理、光コンピューティング技術の基本デバイスの開発が必須である。それ故、光の指向性・収束性に優れたコヒーレント光であるレーザーの発生及び制御が最も重要な事柄であり、波長可変のコヒーレント光の出現が望まれていた。

一方、金属性のカーボンナノチューブは高い導電率を持つ、室温において伝導電子の平均自由行程は一般の金属の数百倍の約 1000 nm である。カーボンナノチューブの電子伝導特性およびレーザー発生の原理に基づく、極めて小さいレーザー光源の実現は可能性を示している。

2. 研究の目的

大型放射光を用い、真空中でその起動を磁界によって曲げることによりレーザー光が発生することが知られていたが、装置が大掛かりであり物理的な興味の範疇であった。

ここでは、電子の平均自由行程の長いカーボンナノチューブをもちいて電極間に配列し、周期磁界を加えることによりコヒーレント光の発生する目的で基礎的な研究を行った。

3. 研究の方法

3-1. カーボンナノチューブの操作手法

申請者らは、過去の研究においてカーボンナノチューブ (CNT) の電気的特性、特に電子の平均自由行程の長さに注目して、磁気メモリであるスピンドバイスの基礎研究を展開してきた。その中で CNT を操作することの難しさをいやというほど味わった。操作性の向上は本研究課題でも非常に重要であ

った。

本研究では、図 1 に示すように、溶液中に分散したカーボンナノチューブを電極間に滴下し、図 2 のように電圧を印加し、静電吸着によってカーボンナノチューブの電極間への配列を試みた。

水溶液中に希薄に分散した CNT を電極間に滴下

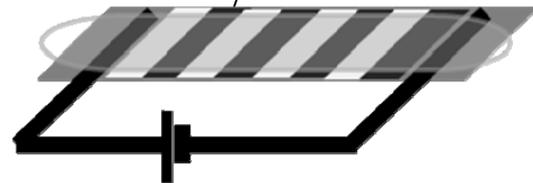


図 1 電極間へのカーボンナノチューブの配列方法：溶液中に分散

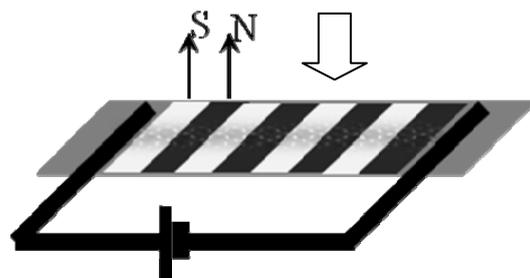


図 2 電極間に電圧を印加：静電吸着によるカーボンナノチューブが配列

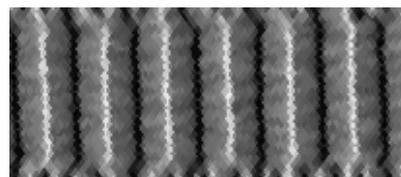


図 3 垂直磁化膜を用いた磁界印加法

3-2.. 磁界印加手法

加速された電子に対して、その軌道を曲げることによって制動放射によりレーザー発光が行われるが、この軌道を曲げるためには、磁界が必要である。ナノメートルスケールのCNT内の電子軌道に対して電磁石のようなスケールの大きなものは適用できない。申請者等は高密度磁気記録媒体の開発を目的とした垂直磁化膜の開発を行っており、この磁区配列を利用した。これを図3に示す。

4. 研究成果

図4に電極間に配列したカーボンナノチューブ(CNT)の一例を示す。CNTが一本のみ電極間に配列していることがわかる。これを用いて図5に示すように、カーボンナノチューブの室温での電圧・電流特性を評価し、電気伝導率の測定による平均自由行程の評価を行った。自由電子によるレーザー発振には規則正しい周期磁界が必要であり、その実現のための検討を行った。図6は、軟磁性薄膜と硬磁薄膜間の交換結合作用を利用した周期的磁区構造を実現したものである。

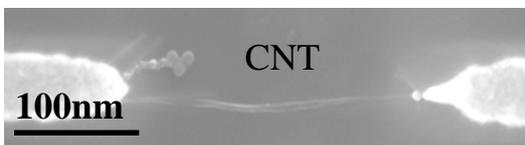


図4 電極間に配列した一本のカーボンナノチューブ

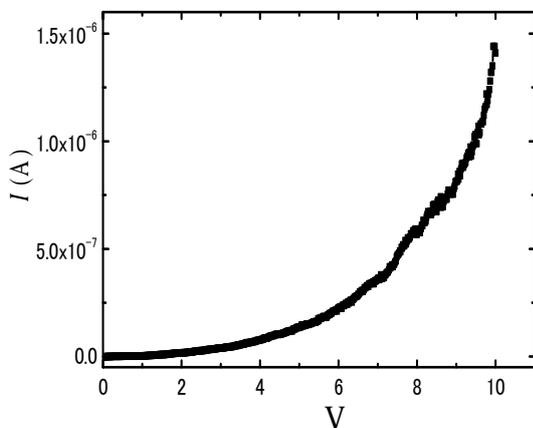


図5 カーボンナノチューブの電圧/電流特性.

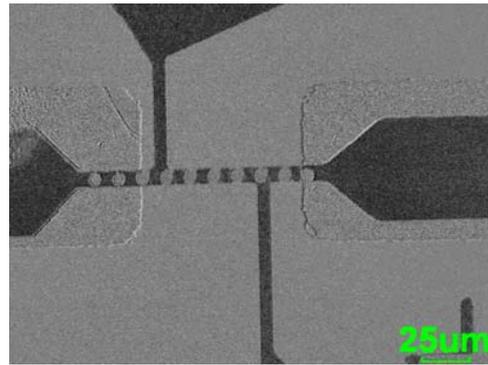


図6 軟磁性薄膜と硬磁性薄膜間の交換結合作用を利用した周期的磁区構造の実現 (磁気光学顕微鏡像)

この垂直周期磁界発生のための軟磁性・硬磁性積層薄膜の細線化にはフォトリソグラフィを用いた。同図は軸構造を磁気光学顕微鏡で観察したものであり白黒(磁気スピンの向きが上下)の領域が規則正しく観察されている。これによって、規則的な周期化磁界を提供できるマイクロスケールの縞状磁区を持つ電極の形成が可能となった。しかしながら、実際の発光に関する検討では、カーボンナノチューブと電極間の接触抵抗が非常に大きいことも明らかになっており、より良好なコンタクトをとる手法を開発しなければならないことが明らかになった。

本研究の成果を要約すると、電気伝導率の測定による電子の平均自由行程を評価したところ、電気伝導率と周期化磁界の強さ、すなわち、垂直磁化膜の残留磁化間の関係、周期化磁界の周期の長さとの関係を明らかにした。さらに、カーボンナノチューブの種類及びこれらの性質の基板材料への依存性を検討した。しかしながら、実際の発光には至っておらず、今後、カーボンナノチューブと電極間の接触抵抗の低減、基板材料の最適化ならびに強い空間磁界を提供できる垂直磁化膜の材料に関する検討によって、コヒーレント電磁波の発生効率を高めていく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森迫 昭光 (MORISAKO AKIMITSU)
信州大学・工学部・教授
研究者番号：20115380

(2) 研究分担者

劉 小晰 (LIU XIOXI)
信州大学・工学部・准教授
研究者番号：10372509

安川 雪子 (YASUKAWA YUKIKO)
信州大学・工学部・特任助教
研究者番号：10458995