The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Optical Manipulation of Carbon Nanotubes
Author(s)	Thomas, Cameron Rodgers
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/49558
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【36】

氏　　名	Thomas Cameron Rodgers（トーマス キャメロン ロジャース）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２２９２７　号
学位授与年月日	平成 21 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科精密科学・応用物理学専攻
学　位　論　文　名	Optical Manipulation of Carbon Nanotubes （カーボンナノチューブの光操作）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　河田　　聡 （副査） 教　授　菅原　康弘　　教　授　井上　康志　　准教授　Verma, Prabhat ライス大学准教授　河野淳一郎

論　文　内　容　の　要　旨

Single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) are cylindrical molecules consisting of a single layer of carbon atoms, and have unique physical properties arising from their low-dimensional structure. These properties vary significantly with the diameter and wrapping angle of the graphene sheet, known as the 'chirality' of the nanotube. There is currently no method for the selective fabrication of arbitrary chiralities of nanotube, nor is there a scalable method for sorting tubes after production.

I discuss a novel technique of using light to selectively manipulate chiralities of nanotube. The mechanical force of light is well understood in the context of optical trapping and is attributed primarily to unbalanced dipole induction by an electrical field gradient. As the optical gradient force is directly proportional to the polarizability of the object in the trapping field, it varies with wavelength and shows wavelength dependent enhancement of the trapping force for materials with electronic resonances at optical frequencies. The electronic properties of carbon nanotubes have unique and distinctive characteristics which are characterised by sharp peaks in their electronic density of states known as 'van-Hove singularities'. These electronic resonances occur at optical frequencies, and the position and strength of the resonances varies with the chirality of nanotube.

Experimentally, I show the design and construction of a laser trapping system with Raman scattering detection, and use this setup to observe the aggregation of SWCNTs at the focal volume of the laser trap. The preliminary results of these experiments show a chiral selectivity of trapping forces when using a single laser line for trapping and Raman detection. An extension of this experiment to using a tunable laser is discussed and initial findings with this setup are shown.

This work presents a proof of concept, both theoretically and experimentally that optical gradient forces can arbitrarily select and manipulate chiralities of SWCNTs in solution. With the development of techniques to correctly apply these forces, this concept may have a significant impact on the field of carbon nanotube research.

論　文　審　査　の　結　果　の　要　旨

本論文は、単層カーボンナノチューブの特性・機能を決定する径および螺旋度の分光学的考察、およびそれに基づくカーボンナノチューブの分析および選択の手法の提案、レーザー光を用いた選別の実験的検証などに関する一連の研究成果をまとめたもので、その主な成果を要約すると次の通りである。

（1）本論文では、集光レーザービームの放射電場によって特定のカイラリティをもつカーボンナノチューブのみが選択的に焦点位置に捕捉されることを初めて理論提案し、計算によってその可能性を示している。Tight Binding Model をもとにカーボンナノチューブの複素誘電率を算出し、カーボンナノチューブの擬１次元構造に起因する van Hove 特異性からそれぞれのカイラリティが特異的な共鳴波長を有することを理論的に示している。レーザー光照射によってカーボンナノチューブに発生する電磁気学的な勾配力（Lorentz 力）はカーボンナノチューブの誘電率に比例し、入射光の波長を意図的に選択すると、その波長に共鳴するカイラリティだけが特異的に焦点位置に引き寄せられることを電磁気学的考察によって説明している。

（2）カーボンナノチューブのレーザー捕捉およびそれを検出するためのラマン散乱測定装置を考案し作製している。開発した装置では、共焦点光学系によって３次元的に焦点内からのみのラマン散乱光を検出することができ、カーボンナノチューブの G-band（1600cm^{-1}付近：グラファイト結晶の振動）と radial breathing mode（150-300 cm^{-1}：カイラリティ（直径）を反映）を１スペクトル／秒で高速に分光検出することができる。同時にフォトルミネッセンススペクトルも得ることができる。開発した装置によって得たカーボンナノチューブのラマンスペクトルおよびフォトルミネッセンススペクトルは理論計算とのよい比較を得ている。さらに、作製した実験装置を用い、実際に放射圧下におけるカーボンナノチューブの捕捉実験を行っている。

（3）溶液中におけるカーボンナノチューブの分散技術およびスペクトルシフトおよび凝集現象について検討を行っている。１種光重合性モノマーを含む５種のイオン性／非イオン性両親媒性分子およびについて、分散効率の特性と、吸収／ラマン／フォトルミネッセンスのスペクトル変化を実験的に検証している。理論との比較からカーボンナノチューブの分散／凝集の状態や各種両親媒性分子との吸着が与える光学特性への影響について考察している。

（4）ヘリウムネオンレーザーを用いて時間的にカーボンナノチューブが焦点近傍に集中していく様子をラマン分光法により確認している。焦点内からの radial breathing mode を経時測定し、波長 632.8nm に共鳴なカイラリティ（13, 4）の半導体性ナノチューブだけが選択的に補足されていく様子をリアルタイムに観察している。この実験結果は、Tight Binding Model による理論解析とよい一致を得ている。

以上のように、本論文は液中における単層カーボンナノチューブの分光学的研究、とくに放射圧を用いたカーボンナノチューブの選択および分析手法について初めて提案し、実験的に検証している。本手法は、従来のカーボンナノチューブの選択技術と全く異なる概念であり、ナノサイエンス・ナノマテリアルとレーザー及び分光学の融合による新たな科学技術の可能性を見出しており、応用物理学、とくにナノ分光学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。