

Title	Carbon Nanotube/Polymer Composite Devices Fabricated by Two-Photon Polymerization
Author(s)	牛場, 翔太
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/52159">https://hdl.handle.net/11094/52159</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 ( 牛場 翔太 )

## 論文題名

Carbon Nanotube/Polymer Composite Devices Fabricated by Two-Photon Polymerization  
(2光子重合法によるカーボンナノチューブ・ポリマー複合材料デバイス)

## 論文内容の要旨

本論文では、2光子重合法によるカーボンナノチューブ・ポリマー複合材料デバイスの作製に関してまとめた。

第1章では、カーボンナノチューブ (CNT) の発見に関する歴史をまとめ、CNTが1次元のカーボンナノ構造と1 TPaのヤング率・10 GPaを上回る強度を併せもつことを示した。CNTをポリマーに添加した複合材料の力学特性向上のメカニズムについて述べ、複合材料の従来の作製方法をまとめた。最後に、複合材料の立体微細成型に向けた課題をまとめた。

第2章では、CNT同士間に働く分子間力を越えてCNTを孤立分散する方法を述べた。本研究では、非共有結合力を利用してCNTを光硬化性樹脂中へ分散した。CNTの分散性の濃度依存性および時間安定性を吸収スペクトルおよび明視野顕微鏡画像の結果から議論し、濃度0.01wt%でCNTが安定的に分散することを見出した。

第3章では、2光子重合法によりCNT/ポリマー複合材料デバイスを作製した結果を示した。2光子重合法によるポリマーの立体微細成形の原理について述べた。CNTを分散した光硬化性樹脂に近赤外フェムト秒パルスレーザーを集光照射し、2光子吸収光重合反応で硬化したナノサイズの樹脂中にCNTを固定して複合材料を作製した。本手法により、200 nmの空間分解能で、CNT/ポリマー複合材料を3次元成形することが可能であることを実証した。レーザーアブレーションおよび顕微ラマン分光イメージングの結果から、CNTがマイクロ/ナノサイズの構造中に均一に埋め込まれていることを見出した。本手法の加工分解能の波長依存性・CNTの種類依存性・CNTの濃度依存性の実験結果を示し、CNTが2光子重合法に及ぼす影響について考察した。

第4章では、CNTの配向方向を自在に制御する技術に関して述べた。CNTは高異方性を有するために、配向制御がデバイス開発において重要であることを述べ、CNTの配向制御に関する技術をまとめた。配向技術の一例として、CNT分散液から作製した泡を用いてCNTの配向制御が可能であることを顕微偏光ラマン分光の結果から示した。2光子重合法により作製したワイヤー中で、CNTがワイヤー軸方向に沿って配向することを見出した。ワイヤー中のCNTの配向度は、ワイヤー径が小さくなるにつれて増加した。ナノワイヤーアレイからなる立体構造を作製した結果、CNTは構造中のワイヤー軸方向に沿って配向することが分かった。立体構造中のCNTの配向方向は、レーザーの走査方向で制御可能であることを実証した。配向メカニズムに関して、空間閉じ込め効果/洗浄・乾燥時の構造体の収縮効果/レーザー光の光勾配力/樹脂の流動の観点から議論した。

第5章では、作製した複合材料の力学特性に関して議論した。サブミクロンスケールのポリマーはバルク状態とは異なる熱力学特性を示すことを述べた。2光子重合法で作製したナノワイヤーから成るコイルバネのバネ定数を測定し、ナノワイヤーの剛性率を算出した結果、ワイヤー径が小さくなるにつれて剛性率が指数関数的に上昇することを見出した。複合材料とポリマーのヤング率を原子間力顕微鏡により測定し、CNTの複合が力学特性に及ぼす影響について考察した。CNTの配向およびコンポジットのサイズと力学特性の相関に関して議論した。

総括では、本論文で得られた結果をまとめて考察し、本論文の結論および今後の展望について述べた。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 牛 場 翔 太 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	河 田 聡
	副 査	教 授	Prabhat Verma
	副 査	教 授	小 林 慶 裕
	副 査	教 授	丸 尾 昭 二 ( 横 浜 国 立 大 学 理 工 学 部 )

## 論文審査の結果の要旨

本学位論文は、2光子重合法によるカーボンナノチューブ・ポリマー複合材料デバイスの作製に関する研究をまとめたものである。その成果は以下の通りである。

- ・ 単層カーボンナノチューブ（平均直径 1nm・長さ 170nm）を、紫外線硬化性樹脂とのファンデルワールス力を介して樹脂中に単分散している。顕微ラマン分光法の結果から、単層カーボンナノチューブの樹脂中での分散性を評価している。
- ・ 近赤外フェムト秒パルスレーザーを光源とし、カーボンナノチューブの光吸収を抑制しつつ樹脂の2光子吸収を誘起することで、任意の3次元微細構造を作製する方法を確立している。レーザーアブレーションおよび顕微ラマン分光法の結果から、カーボンナノチューブがナノワイヤー構造も含めた立体構造全体に渡って均一に分布していることを見出している。
- ・ 構造体中の単層カーボンナノチューブの配向方向は、加工レーザーの走査方向と平行であることを偏光顕微ラマン分光法の結果から見出している。配向のメカニズムは、加工中の樹脂の流動と構造による空間的閉じ込め効果が寄与していると結論づけている。このメカニズムに基づき、単層カーボンナノチューブを3次元構造中で任意の方向に配向制御可能であることを実証している。
- ・ 単層カーボンナノチューブ・ポリマー複合材料のヤング率を原子間力顕微鏡を用いて測定した結果、0.025wt%のカーボンナノチューブの添加によりヤング率がポリマーと比較して約4倍向上することを見出している。ナノチューブがナノサイズの構造体の強化剤として働くことを示している。

以上のように、本論文は2光子重合法による単層カーボンナノチューブ・ポリマー複合材料の作製法を確立している。そのため、本論文は、応用物理学、特にレーザー加工技術・ナノコンポジットの発展に寄与するところが大い。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。