

磁気微小重力空間において作製したカーボンナノチューブ
磁気配向薄膜の光学特性の解析
(広大院理) °越宗佑亮, 藤原昌夫

Analysis of optical properties for magnetically-oriented carbon nanotube
thin films prepared in magnetic microgravity space
(Hiroshima University) °Yusuke Koshimune, Masao Fujiwara

1. はじめに

カーボンナノチューブ (CNT) は、グラファイトシートを同心円状に丸めた炭素分子であり、半導体や構造材料などへ様々な応用が期待されている。また、CNT は磁気異方性を持ち、強磁場中で長軸 (主軸) を磁場方向と平行に配向することが知られている [1]。一方、超伝導磁石の磁場勾配を利用することで、反磁性体に重力と拮抗する磁気力を働かせ、微小重力空間を作り出すことができる。このことを利用して、我々は CNT が膜面に対して任意の方向に配向した薄膜を作製することに成功している [2]。

本研究では、強磁場中で作製した CNT 配向薄膜の分光測定を行い、光学特性の検討を目的とした。これまでに、CNT が吸収異方性 (偏光吸収) を示すことが報告されているため [3-5]、今回は、屈折異方性 (複屈折) の解析を試みた。

2. 実験

強磁場の発生には、超伝導磁石 (ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー JMTD-LH15T40, 鉛直ボア, 磁場 15 T, 磁気力場 1,500 T²/m) を用いた。薄膜試料は、銅製のリングを鉛直磁場中で鉛直に設置し、試料溶液に浸して、磁場下の微小重力空間で溶媒を蒸発させることにより作製した。膜作製時の試料溶液は、ポリビニルアルコール (PVA, Wako, 重合度 1,500) 水溶液中に、多層カーボンナノチューブ (昭和電工 VGCF-S, 直径 80 nm, 長さ 10 μm) を超音波照射で分散させたものを用いた。

紫外可視分光光度計 (日本分光 V-570) のセルホルダーを取り外し、光学素子設置用のレールを取り付け、入射光側から、水晶偏光解消子、偏光子、薄膜試料、偏光子、水晶偏光解消子の順に設置した。2枚の偏光子の偏光方向は直交させた。また、薄膜試料は穴が開いたプラスチック板2枚に挟んで固定した。その際、膜作製時の磁場方向が分光器の光路 (水平面) に対して垂直 (鉛直) になるように取り付けた。2枚の偏光子を直交させたまま 0° (鉛直) から 90° (水平) まで 15° ごとに回転させ、波長範囲 300-800 nm において吸収測定を行った。

3. 結果と考察

CNT 磁気配向薄膜の複屈折透過スペクトルを図 1(a) に示す。偏光子、水晶偏光解消子の吸収は差し引いてある。CNT が面内に配向した薄膜の透過率は、偏光子の角度が 0° と 90° 付近のとき最小、45° 付近のとき最大となり、90° 周期で透過率が変化していた。無配向 (磁場外) 薄膜と透過率変化を比較すると、その違いは明らかである (図 1(b))。この測定結果から、CNT 磁気配向薄膜は、CNT の長軸方向と短軸方向の偏光で、光の位相伝播速度に差を生じていることが分かった。

次に、測定結果を定量的に解析して、複屈折により生じる透過光の位相遅れ (リタデーション) を計算した。この測定では、偏光吸収によっても偏光方向に依存した透過率変化が観測されるので、解析では、偏光吸収と複屈折の両方を考慮に入れた。

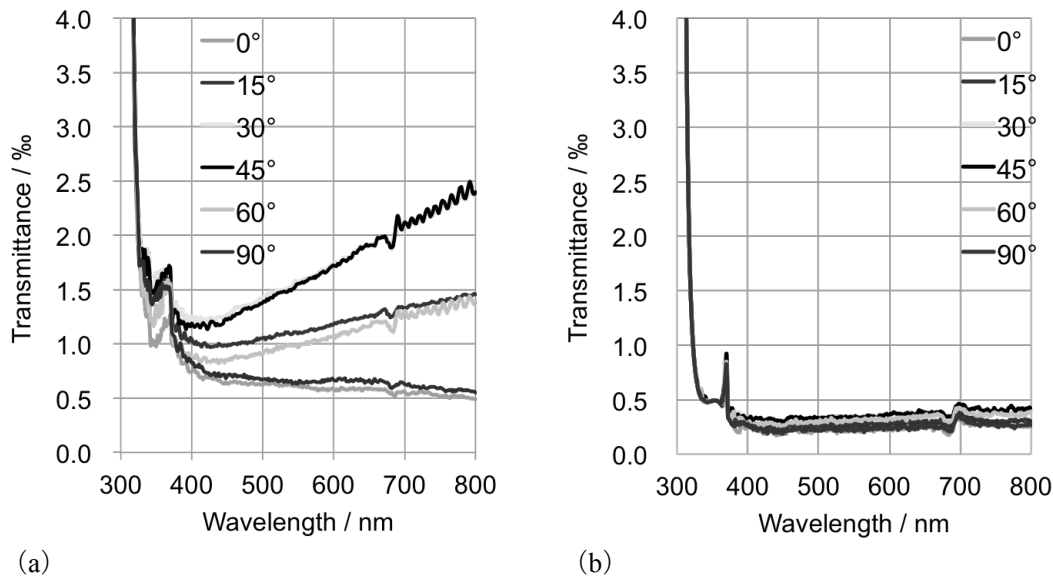


図 1. カーボンナノチューブ薄膜の複屈折透過スペクトル. (a) 磁気配向薄膜, (b) 無配向薄膜.

すなわち、屈折が等方的である（透過光の位相遅れがない）と仮定して、偏光吸収のみに起因する透過スペクトルを計算し、それと実測の複屈折透過スペクトルとの差から、透過光の位相遅れ δ とリタデーション Re を求めた（図 2）。

CNT の複屈折 Δn , 体積分率 c , 薄膜の膜厚 d を用いて、リタデーション Re は次式で表される。

$$Re = cd\Delta n \quad (1)$$

リタデーション Re の実験結果を縦軸に、体積分率と膜厚の積 cd を横軸にプロットすると、実験値はほぼ直線上に並び、リタデーションは体積分率と膜厚の積に比例していることが確認された。この直線の傾きから、複屈折 Δn は、波長 600 nm において $\Delta n = 0.15$ と求めることができた。

4. まとめ

CNT を磁気配向させた薄膜では、偏光吸収のみでなく複屈折も観測することができ、その値を定量的に評価することができた。現在は、近赤外領域において偏光吸収と複屈折の測定と解析を行っている。

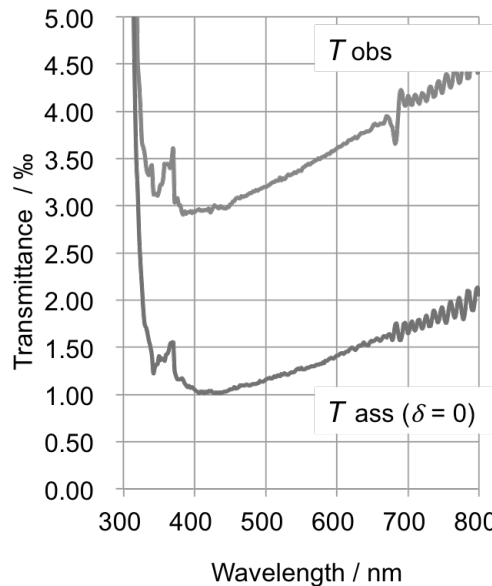


図 2. 磁気配向薄膜に対する実測の複屈折透過スペクトル（上）と偏光吸収のみを仮定して計算した透過スペクトル（下）。

参考文献

[1] M. Fujiwara, E. Oki, M. Hamada, Y. Tanimoto, I. Mukouda, Y. Shimomura, *J. Phys. Chem. A*, **105**, 4383 (2001).
 [2] 竹内晴留香, 勝木明夫, 藤原好恒, 藤原昌夫, 日本磁気科学会第 4 回年会, 10-10 (2009).
 [3] Y. Murakami, E. Einarsson, T. Edamura, S. Maruyama, *Phys. Rev. Lett.*, **94**, 087402 (2005).
 [4] C. Ni, P. R. Bandaru, *Carbon*, **47**, 2898 (2009).
 [5] 竹内晴留香, 藤原昌夫, 藤原好恒, 勝木明夫, 日本磁気科学会第 5 回年会, 10-08 (2010).