

カーボンナノチューブと強力磁場を使った ナノテクものづくりでステップアップ光学実験

Design of a Cascade of Optical Experiments Combined with a Nanotechnology-Oriented Fabrication Using Carbon Nanotubes and a High Field Magnet

横井 裕之^{※1}

Hiroyuki YOKOI

キーワード：学生実験，光学測定，実験科目の連携，ナノテクノロジー材料，偏光板

Keywords: Undergraduate laboratory experiment, Optical experiment, Liaison in experimental courses, Nanotechnology material, Polarizer

1. はじめに

材料工学系の学生は、3年生までの学生実験において、材料の各種基礎物性測定技術について学ぶ。基礎物性測定技術は技術者・研究者として身につけておくべき基本的事項である。しかしながら、学生にとってそれらの測定技術やデータ整理法の修得が将来に繋がるという具体的なイメージは抱きにくくて、興味が希薄となってしまいがちである。われわれは、本学マテリアル工学科の1～2年次学生実験カリキュラムに光学材料の光学測定実験を新設するにあたり、そのような状況の改善を試みた。その方策として、①光学実験に用いる試料を1年次に自分たちで作る；②1年次には肉眼で確認できる光学的特性を評価して、成果を実感する；③2年次に分光装置を用いた光吸収測定実験を行い、自分たちの作成した試料の光学的特性を定量的に調べる、という実験の進め方を考えた。初学年では、ものづくりへの興味を深めてもらうとともに、次学年での実験と連携させることにより、次のステップをイメージしやすくすることをねらった。また、用意された試料ではなくて、自分で作製した光材料の特性や機能を明らかにする方が、より意欲的に実験に取り組むことができるであろうと期待した。

試料としては、近年のマテリアル工学科入学生の多くがたいへん興味を持っているカーボンナノチューブなどのナノテクノロジー材料が用いることにした。ただ、1年生でも作製可能な難易度のものが望ましいので、ナノテクノロジー技術を直接扱わずに単層カーボンナノチューブの光学異方性を利用した偏光膜を作製することにした。偏光膜ならば、試料を作製すればその場で偏光特性を肉眼で確認できるので、試料作製に成功したかどうかが目瞭然である。

偏光膜を作製するには、単層カーボンナノチューブ

^{※1} 熊本大学大学院自然科学研究科マテリアル工学専攻

をゼラチンなどのマトリクス中に分散させた上で配向させる必要がある。単層カーボンナノチューブの配向膜を作製する方法として延伸法が知られている[1]が、技術的に難易度が高いため、1年生の学生実験には不向きであると考えられる。そこで我々は、単層カーボンナノチューブに磁場を印加することにより、磁場配向させる方法を採用することにした。単層カーボンナノチューブはグラフェンシートを丸めた構造をしていて磁気異方性があるために、磁場を印加することによって磁場の方向にチューブの軸をそろえることが可能である[2]。我々は単層カーボンナノチューブを分散させたゼラチンを磁場中で温度制御によりゾルからゲル化しすることで、磁場配向させた単層カーボンナノチューブの配向性をゼラチンゲル中に固定できることを確認した。さらに、ゼラチンを膜にするために常温常圧乾燥させる、いわゆるゼツカン処理を行う際、無磁場で処理を行ってもほとんど配向性が劣化しないことを見いだした[3]。ゼツカン処理には通常数日を要するが、無磁場ゼツカン処理を利用すれば学生実験時間のうちに磁場配向処理を終えることができる。

2年次の学生実験では分光装置を用いた偏光吸収スペクトル測定を行い、偏光方向による吸収係数の違いを定量的に調べる。偏光特性は肉眼でも観察できるので、スペクトルデータを自分の感覚に結びつけて理解しやすいと期待される。また、吸収スペクトルには単層カーボンナノチューブの電子エネルギー構造に由来する吸収ピークが観測されるので、精密な光学測定が物質・材料の電子物性の理解に役立つことを学ぶことができる。

以上のように、複数の学生実験を連携させることにより、ものづくりに対する興味の深化と基礎物性測定技術の効果的な修得を目指した取り組みについて報告する。

2. 方法

1年次の磁場配向試料作りは、単層カーボンナノチューブ分散水溶液の調製、ゼラチン液との混合、セルへの分け取り、磁場中でのゲル化、ゲルの偏光特性の観察、ゼッカン膜化の各工程からなる。単層カーボンナノチューブには、Carbon Nanotechnologies社でHiPco(High Pressure CO reaction)法により合成されたものを使用した。単層カーボンナノチューブ 6.0mgを1.0wt%コール酸ナトリウム水溶液 3.0 gに加え、超音波ホモジナイザー(エスエムテー社製, UH-50, 50 W)で単層カーボンナノチューブの分散を行った。分散液は遠心分離機にかけたのち上澄み液を5.0wt%ゼラチン液と1:1の体積比で混合した。

ゼラチン液を磁場中でゲル化し、膜化ののち光透過測定をするため、セルの底面と側面にそれぞれスライドガラスとアクリル板を利用した光学セルを自作した(図1参照)。セルに混合液を入れて、無冷媒型超伝導磁石で発生した水平方向の磁場7テスラ中にセルを静置した。試料温度をゲル化温度以下に下げてゲル化が完了したのちに試料を取り出して、偏光板を用いて試料の偏光特性を確認した。試料は実験後に学生から回収して、常温常圧下でゼッカンさせた。

2年次の偏光吸収測定実験では、測定原理を学んだ上で、1年次に自分たちで作製した試料を用いて、まず肉眼で膜の偏光特性を観察した。そののちに試料の可視域偏光吸収スペクトルを測定した。

3. 結果および考察

試料作製作業のうち、超音波分散と遠心分離については数時間の時間を要したため、事前に準備しておくこととし、学生にはゼラチン液の調製以降の作業を学生実験時間内で実施してもらうことになった。それでも試料を手作りする実感は十分得られたと考えられる。磁場印加後のゲル試料について偏光板を用いた肉眼チェックを行ったところ、ある程度の偏光特性を持っていることが確認できた。ゼッカン処理により図1に示すような膜が得られた。

膜の偏光吸収測定では、図2に示すようなスペクトルが得られた。ゲル化の際に磁場を印加した方向の偏光(図中0°)の方が磁場に垂直な偏光(図中90°)より測定波長域全般で吸収強度が高くなっていることが確認できた。これらのスペクトルデータから二色比を求めて、肉眼で観察したコントラストと比較した。7テスラの磁場では単層カーボンナノチューブを十分配向させることができなかつたが、磁場配向の効果を確認できるだけの有意な差は得られた。そのため、ナノテクノロジー材料を用いて偏光膜という光学機能材料を作製できたという達成感と基礎光学測定技術を身に

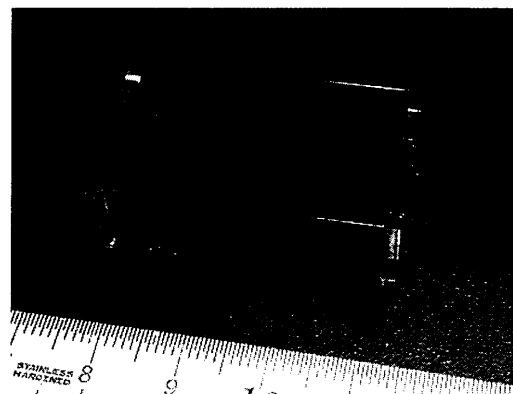


図1 自作光学セルと単層カーボンナノチューブ分散ゼラチンゼッカン膜

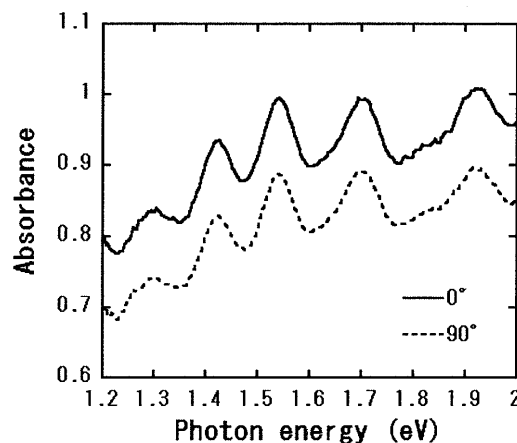


図2 7テスラで磁場配向させた単層カーボンナノチューブ分散ゼラチンゼッカン膜の偏光吸収スペクトル

つける意義をより効果的に学生に伝えることができたと考えられる。

4. おわりに

学生実験における基礎物性測定技術の修得により意欲的に取り組めるように、1年次の学生実験で手作りの試料を2年次の光学測定実験に用いるという実験科目の連携を図った。単層カーボンナノチューブを用いた偏光膜を作製することにより、ナノテクノロジー材料に対する学生の関心の高まりに対応した。

(問い合わせ先: yokoihr@kumamoto-u.ac.jp)

参考文献

- [1] Y. Kim et al., *Appl. Phys. Lett.* **86**, 73103 (2005).
- [2] D.A. Walters et al., *Chem. Phys. Lett.* **338**, 14 (2001).
- [3] H. Yokoi et al., unpublished.