

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

マテリアル工学科 横井裕之

1. 緒言

光技術は通信やコンピューティングの分野などで、今後ますます重要になっていくと予想される。そのような社会情勢に対応するために、マテリアル工学科の学生が光材料に対する素養を身につけておくことはたいへん有益であると考えられる。そこで、本カリキュラム拡充プロジェクトでは従来のマテリアル工学科の学生実験カリキュラムに含まれていなかった光学材料の基礎物性測定実験を材料工学系の学生に適した形式で拡充することを目指した。

学生実験では実験技術が基礎的であるほど学生にとって無味乾燥なものに映ってしまいがちである。その原因の一つとしてお膳立てされたなじみのない試料を用いて実験を行うことが考えられる。また、将来役に立つという具体的なイメージに結びつきにくいという点も考えられる。そこで、近年、学生の関心が高まっているカーボンナノチューブなどのナノテク材料を用いた光学材料を1年次の学生実験で作製し、それを2年次の光学測定実験で試料として用いるという連携方式を考えた。1年次にナノテクノロジー技術を駆使した光学材料づくりは困難であるので、単層カーボンナノチューブの偏光特性を利用した偏光膜を作製することにした。偏光膜ならば分光光度計を用いなくても偏光板があれば肉眼で偏光特性の観察が可能であり、学生にとってのものづくりの成果を理解しやすい。また、そのような直感的な体験をもとに2年次に分光器をもちいた偏光吸収スペクトル測定を行えば、定量的に実験結果を得ることが有意義に映ると期待される。

偏光膜の作製において、単層カーボンナノチューブを配向させる方法として、磁場配向法を用いた。他の手法として延伸配向法が知られているが、技術的に難易度が高くて1年生向けの学生実験には不向きであると考えた。磁場配向法では、単層カーボンナノチューブの強い磁気異方性を利用しており、10テスラクラスの定常強磁場中に分散させた単層カーボンナノチューブを置くだけで有意な配向度が得られる。本プロジェクトにおいて10テスラヘリウムフリー超伝導磁石を外部研究機関から移設することにより、磁場配向法を採用して1年生の学生実験レベルでも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が可能とな

った。

以上のように、材料工学系の学生がものづくりを通じてステップアップ形式で基礎光学測定技術を修得できるようにカリキュラムを拡充した。

2. 実施概要

1年次実験科目「体験する物理学A(実践!ものづくり)」に、磁場配向単層カーボンナノチューブ膜の作製実験を組み込んだ。単層カーボンナノチューブの分散と遠心分離には数時間の時間を要するため、単層カーボンナノチューブの分散液はあらかじめ調製しておいた。実験は分散液とゼラチンゾルを混合する工程からスタートすることとした。混合液を磁場中でゲル化し、膜化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。セルに混合液を分け取って、本プロジェクトで導入した10テスラヘリウムフリー超伝導磁石の磁場中心に挿入し(図1)、磁場を印加したまま温度を下げてゲル状態にした。完全にゲル状態になった試料を磁石から取り出し、偏光板を用いてゲルの偏光特性を肉眼で観察した。さらにゼラチンゲルを常温常圧下で乾燥させるとゼツカン膜となるが、こ



図1 10テスラヘリウムフリー超伝導磁石のボア内に単層カーボンナノチューブ分散ゼラチンゾル試料を挿入している様子

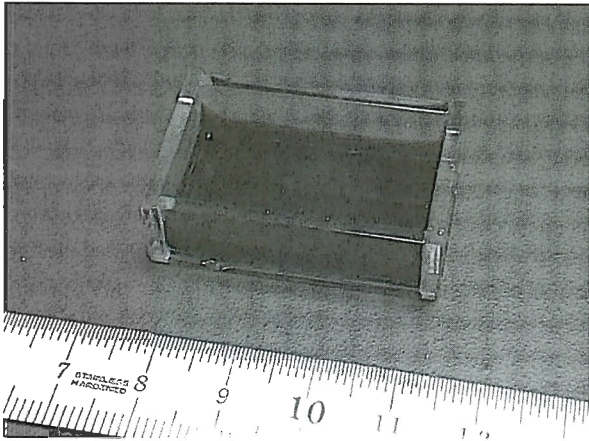


図2 手作り光学セルに作製した単層カーボンナノチューブ分散ゼラチンゼッカ膜。

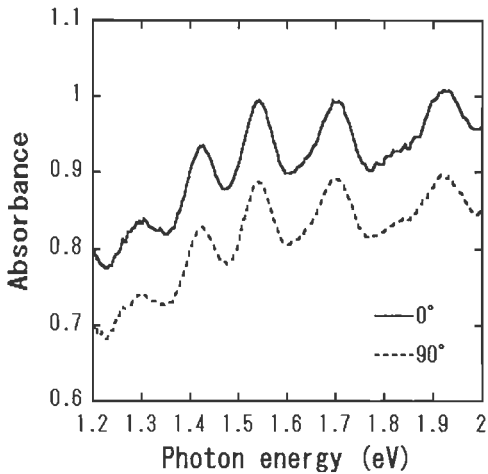


図3 7テスラで磁場配向させた単層カーボンナノチューブ分散ゼラチンゼッカ膜の偏光吸収スペクトル。角度はゲル化時の磁場印加方向と偏光方向のなす角度を表す。

の処理には数日を要するので、実験後に試料を回収してゼッカ膜とした(図2)。

2年次実験科目「マテリアル工学実験(基礎編)」では、分光測定の実験に関する講義と、上記のように作製したゼッカ膜を試料とする分光器を用いた偏光吸収スペクトル測定実験を導入した。7テスラで磁場配向させた試料では、図3に示すような偏光吸収スペクトルが得られた。ゼラチンゾルをゲル化する際に磁場

を印加した方向と偏光板の偏光方向を合わせた場合(図中0°)に、スペクトル全体で吸収強度が最も大きくなり、直交させた場合(図中90°)に最も小さくなることを確認できた。これらのスペクトルデータから二色比を算出し、肉眼で観察した膜の偏光特性の「実感」と比較してもらった。7テスラの磁場では、単層カーボンナノチューブを完全に配向させることはできないが、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。また、吸収スペクトルにはいくつかの吸収ピークが観測される。これらの吸収ピークはそれぞれカイラリティーの異なる単層カーボンナノチューブのバンドギャップ間電子遷移に対応している。そこで、これらの実験結果をもとに単層カーボンナノチューブの電子状態について講義を行った。マテリアルの電子状態を解明するために基礎光学測定がたいへん強力な手段になることを、新しいナノテク材料を題材にして学んでもらうことができたという点においても、有意義な実験科目の拡充になったと思われる。

現状では、ゲル試料からゼッカ膜を作製するプロセスが学生の手から離れた形になっている。そのため、光学測定で用いるゼッカ膜試料のイメージと自分たちの作ったゲル試料のイメージの間にはギャップが生じてしまう。この点は、試料を陳列棚などに置いてゼッカさせることにより、学生実験時間後も学生たちに毎日観察してもらうような方式が取れるように改善していきたい。また、Lambert-Beerの法則を確認するなど、光学実験の内容をさらに充実させて、1年次開講の「物性物理学基礎」や2年次開講の「物性物理学」、3年次開講の「固体物理学」との連携もさらに深めていく予定である。