

# 強磁場中走査型顕微分光システムの製作

物質創成先端科学専攻

野村 晋太郎

## 1. はじめに

ナノメートル構造の中に電子をいれて、その状態を思いのままに制御しよう、というのが私の研究室の中心テーマである。20 nmから400 nm程度の構造をもった試料を作っている。少なくとも私の頭の中ではナノメートル構造の中の電子の振る舞いが思い描かれ、日頃学生には見てきたようなことを語っている。しかし、卒論生として研究室に配属されたばかりの学生には、電子の振る舞いなど、「見えないものは見えない」のであり、私の述べる言葉は空をきってばかりいる。そこで卒論生にはなるべく手で触れられて実際に自分の眼で見ることのできる、多少ナノメートル構造からは離れるかもしれないが、身近に感じられるテーマに取り組んでもらうようにしている。

## 2. 一年目

最初に学生に2枚の単レンズからなる簡単な顕微鏡の製作をテーマとして取り組んでもらった。単レンズといってもDVDプレーヤーでディスクの情報を読み取るために使われるような優れた非球面レンズが手に入るため、きちんと作ればそれなりの解像度になるはずである。CCDカメラで直接画像を確認でき、共焦点にしてレーザー光も試料上に焦点を結ぶようにして、それを走査することによって高い解像度が得られるものを作るように学生に指示した。学生は幾何光学の復習をしつつ、顕微鏡の設計にとりかかった。何度も図面を書き直し、工作部門の方のお世話になって製作した。試料ステージは、私の欲がでて、 piezo素子を使った微動ステージとした。顕微鏡をのぞいて piezo素子に電圧をかけると、素子が伸び縮みする。学生は「先生、動いた動いた」と大騒ぎである。DAコンバータのボードをパソコンに挿してパソコンから piezo素子にかける電圧を制御できるようにした。卒研では基本的に私は手を出さずになるべく学生に自由にやらせてもらうようにしている。この時の学生は piezo素子を使った微動機構の構造にいろいろと凝って何度も作り直しをし、また、部品に使う特殊鋼の種類にこだわったりして、とても頑張った。しかし、 piezo素子をコントロールするソフト作りまでは手が回らずに X-Y スキャンを自動化する前に卒業論文の発表の週を迎えてしまった。彼は、徹夜をして 30×30 のマトリックスをコンピュータに座標を手で入力することによって手動で取りきって、無事、卒業研究の発表会を終えた。たいへんな忍耐力である。

## 3. 二年目

次の年、研究室に入ってきた学生の一人にも同様のテーマを与えた。一年目の学生は丸い筒状の鏡筒を作ったが、今度の学生は四角い鏡筒を設計した。実験室のデシケータに保管していた対物レンズをこの学生は見つけてそれを四角い箱の先に取り付けた。入射するレーザー光をはねるミラーホルダーを顕微鏡に対してきっちり固定する機構を彼は工夫した。取り付け方がしっかりしていないと、すこし触れただけで大きくレーザー光の位置が動くのが観察された。微動ステージはステップモーターを使用し、そのコントローラも彼が主体となって製作した。この学生は、先輩の苦

労を伝え聞いたのか、自力でステッピングモーターを制御するソフトを書き上げて、自動化して画像を取り込んだ。

#### 4. 三年目

三年目になると、そろそろDVDの溝や電子線露光装置で作成した構造を観察するだけではなくて電子の振る舞いを観察するようにしないと、私が言っていることが羊頭狗肉であると学生が思うのではないかと私は恐れた。そこで、二年目の学生が製作した顕微鏡を移設して、超伝導磁石の中心に置かれた4 Kに冷却された試料を観察できるように改造することとした。院生もいよいよ学会発表に使えるようなデーターがでそうだということで、本腰をいれてくれた。二年目の設計では、顕微鏡の鏡筒は径が50mmの真鍮の棒でしっかりと光学台に固定され、光学台上にボルトでしっかりと固定されたステッピングモーターステージ上の試料を観察するように作られていた。防震には気を使って作られていたので顕微鏡像の揺れは少なかった。しかし、今度は、試料を冷やすクライオスタット、超伝導磁石がそれぞれ独立に高さ500 mm位のところに支持されており、その位置にどうやって顕微鏡を固定するかが問題となった。また、超伝導磁石の直径が300mmと大きいため、それをまたぐ形で支柱から断面が40mm × 80 mmのアームを出して鏡筒を支える必要があった。このような改良を行うと、どうしても全体が重く大きくなり、二年目に使っていたアルミ製のz軸ステージでは強度が不足するのは明らかであった。ところが、非磁性で安価で耐加重の大きいz軸ステージはなかなか見つからなかった。入手しやすいスチール製では、超伝導磁石を励磁した際に、漏れ磁場で引っ張られることが懸念された。これらの課題に取り組んでいた院生は試料面の高さにz軸ステージを設置するのではなく、ひとまわり大きいz軸ステージをそれより約500 mm下の光学台上に設置することで超伝導磁石から離すことにより解決した。支柱から張り出して鏡筒を支えるアームの長さをぎりぎりの150 mmまで切り詰め、要所要所に自分で削ってきた部品を固定して強度を増すような工夫をし、この院生は顕微鏡像の揺れを少しずつ小さくなるように改良を施していった。最初は顕微鏡像を見ているだけで乗り物酔いを起こしそうだったものが、液体ヘリウムで冷やして測定ができそうだと思うところまで、振動を押さえることに成功した。さらに、偏光子、波長板、干渉フィルター等設置するための治具を製作した。そして、クライオスタットのメーカーの人が、わざわざ見学にやってくるような出来映えとなった。この年の卒論生は電子線リソグラフィーを使った試料をかなり苦労して作りあげた後、遂にこの装置を使って低温で電子の物性を測定し、卒論発表の日を迎えることとなった。

#### 5. おわりに

三年間かかってようやくここまで到達した手作りの顕微鏡も、まだまだ性能向上のための改良が続いている。学生が考えついたアイデアをすぐに部品を削って試してみることができる環境はとてもありがたいものである。日頃から工作部門の方々にはさまざまなご助言をいただきお世話になっており、さらにこのような記事を寄稿させていただく機会をいただいたことを深く感謝して拙稿を締めくくらせていただきたいと思います。