



博士課程と量子細線

森 伸也*

私は、大阪大学工学部を卒業後、大阪大学大学院修士課程に進み、そのあと、後期課程を修了し、現在、大阪大学工学部で助手をしています。簡単に考えますと、修士課程から博士課程へと進む道が素直なように思えるのですが、よく知られていますように、実際はそうではなく、博士課程へと進む人は(少なくとも、大阪大学工学部の電子工学科では)ほとんどいません。大学を卒業した人の大部分は修士課程に進むのですが、そのほとんどの人は修士課程修了後に就職してしまいます。

なぜ、修士課程を修了したあと就職してしまうのでしょうか。研究室の技官の人に聞いて見ました、そのとき返ってきた答は、

- ①普通、経済的に苦しくて博士課程に進めないのではないか。
- ②課程を修了したあと就職できないのではないか。また、将来、生活できないのではないか。企業が若い人材を欲しがらるからではないか。
- ③博士を持っていても、特に有利な点はないと思われる、また、博士に魅力がないように思える。

などの意見が返ってきました。①に関しては、たしかにそうだと思います。私の場合も、普通にもらえる奨学金だけでは苦しかった記憶があります。研究したくても、経済的な理由で、それを断念するということがほとんどつまらないことはないと思います。せめて学生が、博士課程のあ

いだぐらいは不自由なく生活ができるぐらいの環境を整えばよいと思うのですが、ここで、私がなにを言っても大勢に影響はないように思いますので、この点に関してはおいておくことにしまして。②の点ですが、この辺りの誤解がまだ世間一般にあるようで、先日も、視聴率が40%を越えようかという朝のドラマを見てみますと、主人公の弟が、大学の修士課程を終えようとしているとき、「大学の研究室に残れと誘われているが、そんなことをしたら家族を養っていくことができない」というような主旨の台詞を言っている場面がありました。たしかに、博士課程のあいだの生活は苦しいかもしれませんが、その後は、そんな生活できないほど悲惨な状況にならないことは明らかで、最近では、就職先に困ることも少ないと思います。しかし、この辺のことは、世間一般の人とはともかく、少なくとも修士課程の学生の間には誤解はなく、あまり問題はないと思われまます。残った最後の③の点ですが、たしかに博士を持っているからといって目にみえて有利な点、というのは存在しないような気がしますが、—以前、東京大学のある先生が、「博士というものは、足の裏にひっついた名刺のようなものだ、取っても食べられないが、取らないと気持ちわるい」とおっしゃっていましたが—博士に魅力がない、という点に関しては若干異論があります。なるほど、博士そのものの魅力は薄いかもしれませんが、修士課程を終えようとしていた頃の私にとって、博士課程(博士課程へ進んで研究を続けるということ)は、たいへん魅力的でした。というのも、その頃、研究が丁度面白く感じるようになっており、もっと好きな研究をしてみたいと思っていたからです。修士の学生が、自分のおこなっている研究を面白いと感じたなら、た



*Nobuya MORI
1963年4月20日生
平成3年大阪大学大学院・工学研究科・電子工学専攻後期課程修了
現在、大阪大学工学部電子工学科、
浜口研究室、助手、工学博士、半
導体物性
TEL 06-877-5111(内線5013)

ぶん、もっと博士課程に進みたいと思うようになるのではないかと思います。というわけで、いかに研究が面白いかを以下で書いてみたいと思うのですが、一般的な研究の面白さを書くことは私にはできませんので、自分の研究について書いてみたいと思います。

前おきが長くなりましたが、以下で、私が最近おこなった研究の紹介を、どの辺りが面白く感じたのか、という感想を交えながら簡単に紹介したいと思います。言い忘れていましたが、私が学部生のときからお世話になっている研究室は電子工学科の浜口研究室で、おもに半導体素子の研究をおこなっている研究室です。

最近、私が興味を持って研究していることは、高温における量子細線中の電気伝導現象です。量子細線というのは、簡単には細い線のことなのですが、どれぐらい細いか、ということ「量子」という単語が表しています。この場合の「量子」という単語の表す意味は、電子のド・ブロイ波長と同程度の細さの線という意味であり、良く研究されているひ化ガリウム (GaAs) で、その幅が100ナノメートル程度以下のものを主に考えています。このような細い線をどのようにして作製するのか、という研究も盛んにおこなわれていますが、私はそのような細線ができたとして、その中で電子の移動度がどうなるのか、ということに主に関心があります。少し前なら、そのような細い線のなかの電気伝導を考えも机上の空論にすぎなかったかもしれませんが、今では、半導体の微細加工技術の進歩にともない、そのような細線も実際に作られるようになりました。このように、現代の最先端技術と密接に関係した研究ができる、という点が半導体の研究の面白さの一つであると思います。半導体の研究は、トランジスタの発明以来、実際のビジネスと研究とが密に関係しあい発展してきており、常に最先端技術の結果を取り入れたような研究ができるところに大きな魅力があると思います。話をもとにもどしまして、なぜ、私が細線中の電子の移動度に興味を持ったかと言いますと、それは、細線中での電子の移動度は、ヘリウム温度程度の極低温で非常に大きくなる可能性がある、ということが早くか

ら東京大学の榊先生によって理論的に指摘されているからです¹⁾。これは、低温での主な散乱要因である不純物原子による後方散乱が細線中では抑制される可能性があるためです。しかし、室温程度の高温(半導体の電気伝導の研究分野では室温程度を高温領域と呼ぶ場合が多い)になりますと、電子のおもな散乱要因は格子振動に変わります。そのような状況下での電子の移動度がどのような値になるかは自明ではありません。学部生のときに初めに与えられた研究テーマが、半導体ヘテロ構造素子における電子-格子相互作用であったという関係で、以来、電子-格子相互作用に関する研究を主におこなってきましたが、そのなかで、常に気に止めているのは、いかにして電子-格子相互作用を抑制するか、ということです。これは、私の夢の一つで、修士の学生の頃から考えてきました。電子-格子相互作用を抑制することができれば、高温でも高速に動作する素子を作製することができ、可能性が生じます。たびたび話はそれますが、このような観点から、電子-格子相互作用を抑制しようとする理論的な予想もいくつかおこなわれてきています。薄い半導体中²⁾や量子井戸中³⁾では格子振動が変調され、電子-格子相互作用が抑制されるのではないかと、いう予測や、量子細線の細線方向にさらに周期的な変調を加えると良い⁴⁾とか、超格子を用いて電子状態を変調すれば移動度が上がる可能性がある⁵⁾というような予想がなされています。というわけで、いかに電子-格子相互作用を抑制するか、という点を頭のすみにおいて、細線の高温における電子移動度の計算をおこなってみました。はじめは、まず、半導体の中に電氣的に細線状に閉じこめた電子の移動度を求めてみました。その結果、そのような細線中での低電界での電子の移動度は、母体の半導体中での電子の移動度より高くないという結果を得ました。しかし、米国のイリノイ大学のグループの人達が、100V/cm程度の電界をそのような量子細線に印加すると移動度が増加する可能性がある、ということを発表しました⁶⁾。彼らは、電界が弱い場合、電界の増加と共に、電子の温度が格子の温度より低くなり、100V/cm程度で極小

となり、その値より電界が高くなると、電子の温度が上昇する、という結果を報告しています。電子の温度が低い状態というのは、電子が秩序だって運動している状態であると考えられますので、そのため、電子の移動度が上昇するのだ、と彼らは説明しています。普通、半導体結晶に電界を印加しますと、電界のエネルギーは、まず電子に与えられ、その後、電子と格子とが相互作用をし、エネルギーは格子へと渡っていきます。そのため、電界とともに、まず、電子の温度が上昇する、という現象がおこるのが普通であると考えられます。したがって、なぜ、彼らの計算のように電子温度極小の領域が生じるのかは、非常に不思議です。不思議に思ったときに、じゃあ自分でも同じような計算（もしくは実験）をやってみよう、ということが可能な点が、まだ、半導体の研究分野にはたくさんあります。その辺も半導体の研究の面白さの一つで、こじんまりした計算や実験でも重要な仕事ができるチャンスがあると思います。というわけで、彼らと同じような計算をおこなってみました。ただし、同じ方法で計算したのでは同じ結果しか得られませんので、少し計算方法を変えておこなってみました。その結果を図1に示します。図は細線中での電子の平均エネルギー ϵ_e を平均の熱エネルギー ϵ_0 で割ったものの印加電界 E 依存性です。図より電子温度は印加電界とともに単調に増加していく様子を読み取れます。すなわち、イリノイ大学のグループと異なる結果を得ました。なぜ異なる結果を得たのか、という点に関しては、文献⁷⁾に譲るとして、図の計算をしてみて、はじめて、彼らの計算の方法の誤っていた点に気がついた、ということを書いておきます。結局、我々の計算では電子温度の減少がみられず、移動度の改善も望めない、というあまり面白くない結果が得られまし

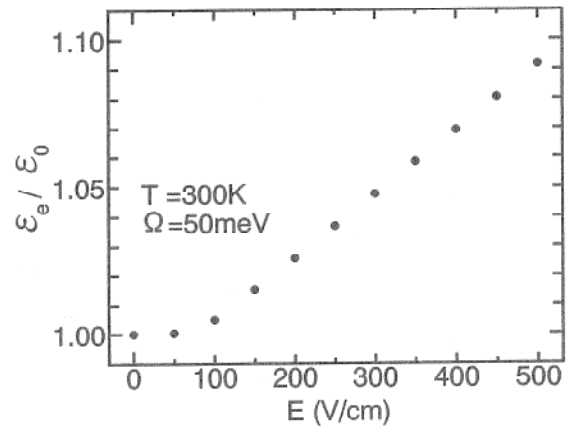


図1 量子細線における電子の平均エネルギーの印加電界依存性

た。

以上、取り留めのない文章で恐縮ですが、最近の私の研究内容の簡単な紹介を終わります。最後に本稿の執筆を助めていただいた大阪大学工学部電気工学科白藤純嗣教授に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) H. Sakaki, Jpn. J. Appl. Phys. 19 (1980) L735.
- 2) F. F. Riddoch and B. K. Ridley, Physica B134(1985) 342.
- 3) N. Sawaki, J. Phys. C19(1986) 4965.
- 4) H. Sakaki, Jpn. J. Appl. Phys. 28 (1989) L361.
- 5) 土屋琢磨, 安藤恒也, 物理学会1992年秋の分科会予稿集 28a-ZH-11
- 6) J. P. Leburton and D. Jovanovic, Semicond. Sci. Technol. 7(1992) B202.
- 7) N. Mori and C. Hamaguchi, in Proceedings of the Second International Symposium on New Phenomena in Mesoscopic Structures.