



研究室紹介

産業科学研究所 量子機能科学研究部門 半導体量子科学研究分野

中 島 尚 男*

Department of Semiconductor Electronics, Division of
Quantum Engineering, The Institute of Scientific
and Industrial Research

Key Words : Quantum Wire, Molecular Beam Epitaxy, Surfaces and Interfaces,
STM, Photoluminescence

1. 研究室の概要

昨年4月に産業科学研究所が改組される前は、当研究室は超高周波電子装置部門と呼ばれていた。文化勲章を受賞された岡部金治郎先生の当時は無線通信部門と呼ばれていた。時代の流れとともに名称だけでなく、研究内容もマイクロ波電子管の研究から固体マイクロ波素子の研究へ、さらに光エレクトロニクスの研究へ移り、現在では半導体量子構造の研究を行っている。わかり易く云えば、真空管から固体へ、マイクロ波から光へ、電子から量子へと移ってきたことになる。現在行っている半導体量子構造の研究は、文部省に出した内容では“半導体中に原子的尺度で量子構造を形成し、その原子的、電子的構造を解明し物性機能を評価し、新しい概念の半導体素子の創出を目指す”になっている。

この研究に従事する当研究室のスタッフは、私に井上恒一助教授、長谷川繁彦助手および前橋兼三助手である。これに秘書の綱島裕貴子嬢

と大学院生11名(博士課程3名、修士課程8名)および卒論生3名である。私は9年半前に(株)日立製作所中央研究所から移ってきており、他のスタッフもその後この研究室に所属するようになった。したがって、研究室はほとんど過去のことにはとらわれていず(実際、最初はドライバー1本もなかった)、新しくできた研究室という感があった。今、やっと立ち上ってきたところである(なのに私はあと5年で停年になる)。以下に簡単に研究を紹介する

2. 研究紹介

物質の量子的性質を利用した電子素子あるいは光素子は、次世代の超高速素子として期待されている。当研究室では、これ等の素子の実現を目的として、その作製技術、半導体物性、材料等の基礎的な研究を行っている。新しい素子の開発には、新しい作製技術と高度な物性評価技術が必要である。現在、当研究室では分子線成長法、光電子分光法、電子線回折法、走査型トンネル顕微鏡、フォトルミネセンス法およびフォトルミネセンス励起法を中心技術としている。これ等の技術を用い、新しいアイデアのもとに(1) GaAs 量子細線構造の形成と評価、(2) Si 上の分子線成長、(3) 半導体表面および界面の原子的および電子的構造の解明、(4) Zn-Se の分子線成長等の挑戦的な課題の研究を行っており多くの新しい成果が得られている。

* Hisao NAKASHIMA
1938年7月19日生
1967年東京大学大学院工学系研究
科博士課程修了
現在、大阪大学産業科学研究所、
教授、工学博士、半導体物性
TEL 06-879-8410
FAX 06-879-8414
E-Mail nakashima@sanken.
osaka-u.ac.jp



(1) GaAs 量子細線構造の形成と評価

我々は分子線成長法で微傾斜 (110) 面上に 2 種類の AlGaAs と GaAs 量子細線を自然に形成することに成功した。これ等の量子細線の形成は、比較的低温で AlGaAs を微傾斜 GaAs (110) 面上に分子線成長すると巨大成長ステップが形成されること、およびこの巨大ステップ端での組成変化あるいは膜厚変化によっている。反射高速電子線回折法と走査型原子間力顕微鏡でこの巨大ステップの形成条件等を調べた。また、断面透過電子顕微鏡および電子線プローブ微小分析法でステップ端の組成変化および膜厚変化を確認した。いずれの量子細線のフォトルミネセンスも量子細線方向に強く偏光しており、キャリアが一次元構造の量子細線に閉じ込められているのが分かる。云い忘れたがこの研究はドイツのマグデブルグ・オット・フォン・ゲーリケ大学の J. Christen 教授のグループ (現在、前橋助手が日本学術振興会の海外特別研究員としてこのグループのところに留学している。) とベルリン工科大学の D. Bimberg 教授のグループとの共同研究である。このドイツのグループによって、これ等の量子細線のカソードルミネセンス像が撮れており、その像を図 1 に示す。

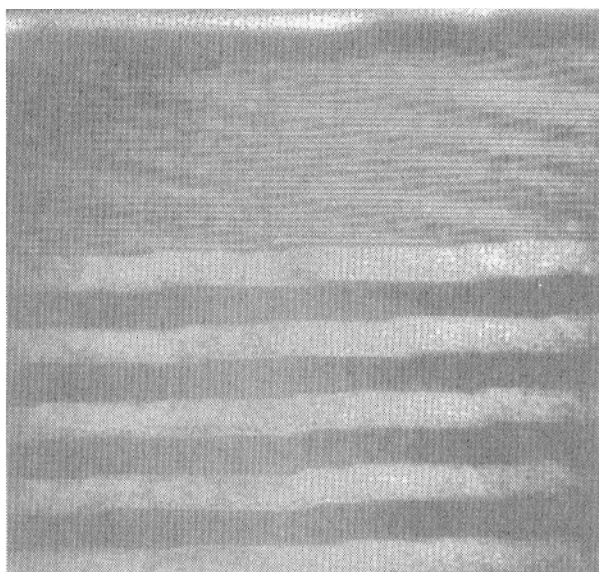


図2 積層型 GaAs 量子細線の断面 TEM 写真。暗い部分が GaAs, 明るい部分が $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 。下部の $\text{GaAs}(300\text{\AA})/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 超格子成長中に巨大ステップが形成されているのが分かる。上部, GaAs 層がステップ端で厚くなっており量子細線となっている。

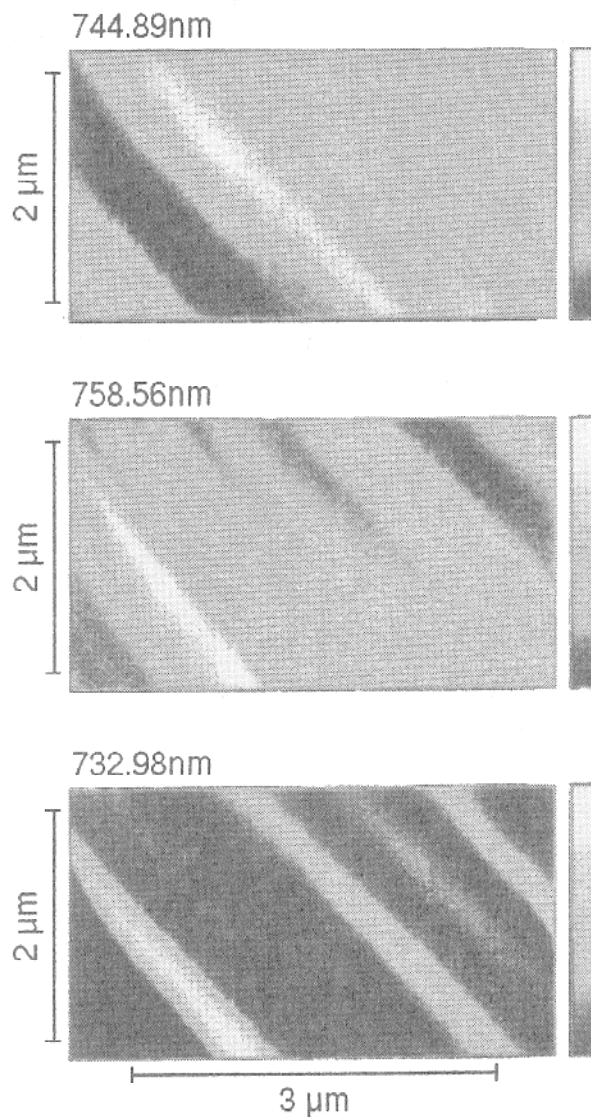


図1 量子細線のカソードルミネセンス像, 各々の量子細線は異った波長で発光している。

この図から分かる様に、一本の量子細線が分離されて明確に見える。最近では、この量子細線を積み上げを試みている。図2に積層した量子細線の断面透過電子顕微鏡写真を示す。この写真で暗く見える層が GaAs で明るく見えるのが $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ である。この試料は最初 $\text{GaAs}(300\text{\AA})/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}(300\text{\AA})$ 超格子を 5 周期成長している。この超格子を成長する間に巨大ステップが形成される。この様子は図2ではっきり分かる。この巨大ステップがある面上に、 $\text{GaAs}(30\text{\AA})/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}(30\text{\AA})$ 超格子を 30 周期成長している。この GaAs 層がステップ端で厚くなっており、斜めに積み重って

いるのが見える。この様に積層型にすると量子細線の密度が高くなり、半導体レーザの活性層に用いるのに有利になる。近々、半導体レーザを試作してみるつもりである。

(2) Si上の分子線成長

Si上に格子定数の異なるGaAsあるいはGeを欠陥なく成長させることができると、新しい素子の可能性が大きく広がる。Si上にGaAsを成長する場合、格子定数の差以外にも熱膨張係数の差および界面の電荷不均衡が大きな問題となる。我々は多孔質Si上への成長、 $1\mu\text{m}$ 位の薄いSi上への成長およびSi-GaAs界面へのII族元素導入などでこれ等の問題の解決を試みており、かなり良好な結果が得られている。

Si上のGeの成長ではAs surfactantの役割を光電子分光法、電子線回折法で明らかにしてきた。現在は、分子線成長装置と走査型トンネル顕微鏡を結合して、原子的尺度でその役割を明らかにしようとしている。

(3) 半導体表面および界面の原子的および電子的構造の解明

Si(111)(7×7)表面上にAlを室温で成長させると表面は荒れて、良好な単結晶膜は得られない。ところがこの上に $1/3\text{ML}$ Al蒸着して作ったSi(111)($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$)-Al表面上ではAlは室温できれいな単結晶膜になる。これを電子線回折法および走査型トンネル顕微鏡で詳細に調べ、最初の($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$)-Al表面構造が重要であり、Al膜が成長した後でも($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$)構造が界面に残っていることを明らかにした。さらに、Si(111)($\sqrt{7}\times\sqrt{7}$)-Alに対してその走査型ト

ンネル顕微鏡像から、新しい原子構造モデルを提案している。また、最近ではLiによって誘起された新しい表面相Si(100)c(2×16)を見出している。現在、この表面相の原子構造を検討している。

ZnSeの分子線成長については、面白い結果も得られているが、始ったばかりであるのでここでは割愛する。

3. おわりに

どんなことを研究しても、そこに注ぎ込む、マン・パワー、お金等を考えるとたいへんである。しかし、どんな研究をしても、うまくいったとして、同じインパクトを与えるとは限らない。研究がうまくいってもあまりインパクトを与えないのでは研究者の志気があがらない、ということはないに研究するかは非常に大切になる。これを考えるのが私達の務めだと思う。まだまだやりたいことは沢山あるが、このことを考えるとなかなかやる決心がつかないこともある。

産業科学研究所を改組する時に外部の先生等からコメントを頂いた。その中で印象に残ったのが次のことである。産業科学研究所はあまりにも先端的な研究に集中している。先端的な研究は海兵隊と同じで生き残る率が低い。海兵隊は一度敵前上陸すると50%以上死ぬ。先端的な仕事でない、じっくりとした研究をやらないと後続がないことになる。これは研究所全体のことだけでなく、一研究室にも当てはまることだと思わる。このことを肝に銘じてこれから残り少ない年数を研究に従事していこうと思ってる。

