

# 大阪大学・基礎工学部

## 電気工学科第4講座“半導体研究室”



研究室紹介

浜川圭弘\*

### 1. はしがき—概要と背景

本講座は、昭和37年基礎工学部創設以来、山口次郎名誉教授の担当して来られた半導体電子工学研究室を昭和43年(1968年)4月同名誉教授のご退官の後引き継がれた研究室である。当講座の発足当所からの名称は電力工学担当と云う事になっているが、現在この名称にふさわしい研究課題はクリーンエネルギー発電をめざした太陽光発電に関する研究ぐらいで、本来“半導体の電子物性とその機能素子への応用”を主流とした研究に取り組んできている。こうした研究分野の進展による名実の違いや他の講座も同じで、本学部電気工学科は各講座とも講座名改称を申請中で、近く各講座とも実態にふさわしい担当講座名に改まる予定である。こうした事情から表記の研究室名をあえて従来からの通称である半導体研究室とした。

職員は、浜川圭弘教授、奥山雅則教授、岡本博明助教授、服部公則助手、馬 雯助手、佐田千年長技官、事務の補佐員 林 敬子さんと澤木直子さんの合計8名で構成されている。このほかに、客員として高倉秀行富山県立大学助教授、S.C.De博士(国連UNDO派遣研究員)など他研究機関からの客員ならびに企業からの

委託研究員が数名、そして、大学院生が前後期課程合わせて10数名、さらに大学院に入学予定の外国人研究生が毎年2名程度滞在するので研究室総員は35名程度にもものぼる大世帯で、云わば大講座制に近い規模の活動をしている。

当研究室では山口次郎名誉教授ご在任当時から、シリコン及びゲルマニウム等IV族半導体ならびにGaAs等の化合物半導体の結晶成長とその電子物性とその応用デバイスをめぐる一連の研究が実施されてきた。その研究課題の変遷をふり返ってみると、まさに我が国の半導体エレクトロニクスの進歩を支えてきた様々な先駆的な研究課題が多く、また、現在半導体工業界の第一線で活躍中の多くの研究者技術者を世に送り出してきている。昭和43年、浜川研究室に引き継がれて24年、材料としては山口研究室当時の結晶シリコン中心時代から化合物半導体ならびにアモルファス半導体など新素材の創製へと新しい展開がみられた。一方、物性研究の面でも電子帯構造から、オプトエレクトロニクスを旨とした光電物性ならびに異種半導体を含む界面物性に重点を置いた基礎研究とその機能デバイスへの応用へと発展してきた。以下に各研究グループのサブプロジェクトとその内容を御紹介する。

### 2. 研究プロジェクトとその研究内容

#### (A) 固体の電子帯構造と光学的性質

エレクトロレフレクタンス、エレクトロアブソープション、変調光電流分光法、ホトルミネセンス分光法、定常および過度グレーティング分光法など様々な微分変調分光法を駆使して各種新半導体の電子帯構造、不純物準位、欠陥準

\*Yoshihiro HAMAKAWA

1932年7月12日生

昭和33年大阪大学大学院工学研究科電気修了、現在、大阪大学基礎工学部電気工学科、教授、大阪大学極限物質研究センター・センター長、工学博士、半導体電子工学

TEL 06-844-1151(内線4585)



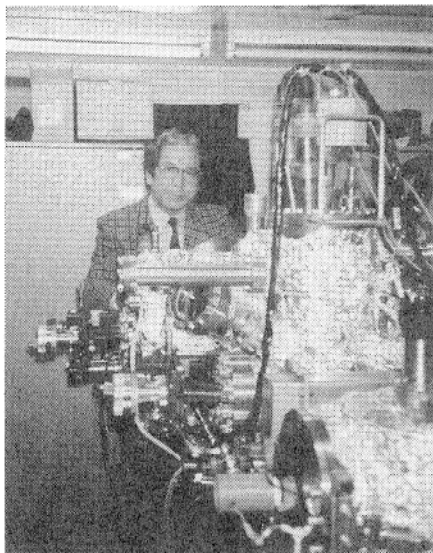


写真1 バルク結晶時代から多層化薄膜時代へのイノベーションをめざす武器の一つと云えるMBE(分子線エピタキシー)装置と筆者(浜川教授)

位の同定を行なっている。また、FTIRならびに各種分光分析によって、それら新素材の光吸収係数、屈折率、複素誘電率のエネルギースペクトルを精密に測定し、電子状態密度、光伝導度などの基礎物性をしらべている。

ここ2~3年取扱っている具体的な研究テーマを例示すると次のようである。すなわち

- a-1) ホトレフレクタンス法による  
InGaAsP/GaAs 界面の研究
- a-2) ホトルミネセンス法によるGaAs中の3d遷移金属の同定
- a-3) MBE法によるSi基板上へのGaAs薄膜のグラフォエピタキシー成長とデバイス応用
- a-4) アモルファスシリコン超格子の量子井戸効果とそのサブバンドステップの観測

#### (B) 半導体ヘテロ接合の界面物性とその応用

半導体界面の電子物性とその応用をめぐる研究は、山口研究室時代から40年にわたって継続して取組まれてきた研究課題である。その間、1960年代の世界最初のヘテロ接合広帯域光センサの開発、1980年のa-Si/a-SiCヘテロ接合太陽電池の発明、つづく、スタック型太陽電池の提案など、アモルファス化合物半導体時代

を切り開いた草分け的業績がこのグループから出た。また、最近ではAeGaP/GaAs界面の二次元量子井戸効果に関する研究、多結晶シリコンと微結晶シリコンカーバイト(play-Si/ $\mu$ C-SiC)界面とその光電プロセスに関する研究、ならびにグラフォエピタキシー法による半導体薄膜単結晶の成長に関する提案などアイデアに富んだイノベティブな課題を生み出してきた。現在行なっている課題を例示すると次のようである。

- b-1) グラフォエピタキシー法によるSiO<sub>2</sub>基板上へのSi薄膜結晶の成長
- b-2) Si/SiO<sub>2</sub>界面のフォトレフレクタンス分光法による評価
- b-3) アモルファスSi/多結晶Siヘテロタンデム型高効率太陽電池の研究

#### (C) アモルファス半導体の物性と応用

このグループでカルコゲナイドアモルファスの仕事をはじめたのは1960年代の後半以来で、吾が国はもちろん、世界でも、この材料系の電子物性に取組んだ研究グループとしては、草分け的な多くの研究業績を誇っている。半導体の研究者にとって、禁止帯幅エネルギー $\epsilon_g$ を任意に制御することができ、さらにそうした半導体の任意の位置に任意の密度で不純物をドーピングすることが出来れば、何色でも望みの発光色を持つ発光ダイオードやレーザーを作ることができる。一方この事は望みのままの波長感度を持つ光センサーや高効率太陽電池の製作も可能となる。こうした夢の半導体の実施をめざしてガラス化領域が最も広いSi-As-Teカルコゲナイド半導体の試作に取り組んでいる。これには各元素の蒸気圧の差、比重の差ならびに融点の差が大きいため地上での製作はすこぶる困難で宇宙の無重力場を利用した実験が進んでいる。すでにTT500-Aロケットによる予備実験が終わり、本年9月に予定されている宇宙シャトルを用いたNASA/NASUDA(宇宙開発事業団)科学技術協力によるFMPT(宇宙における第一次材料実験)に参加し、実験が計画されている。そしてこのテーマの最初のデータは“ふわっと92”の成果としてこの秋に公表さ

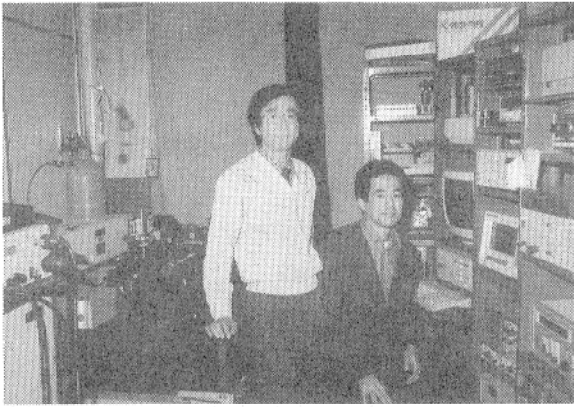


写真2 アモルファユシリコン薄膜の量子井戸効果を“光吸収ステップ”として直接観測に成功した岡本助教授と服部助手

れる予定である。

このグループの今一つの研究課題にアモルファスシリコン系合金の製作とその基礎物性ならびに光電素子への応用がある。1975年以來わが国で最初のアモルファスシリコン(a-Si)の製膜とその価電子制御の成功、それに続く太陽電池の試作、更にアモルファスシリコンカーバイド(a-SiC)製造とヘテロ接合太陽電池の発明等、数多くの世界的な業績を生んできている。現在はこうした一連の研究からアモルファスシリコン系合金ならびにそれらの微結晶の試作とその基礎物性と応用素子への研究が進みつつある。このグループの現在取り組んでいる研究課題の実例を挙げると次のようである。

- c-1) 宇宙製造アモルファス半導体 Si-As-Te の物性評価
- c-2) アモルファス Si における局在電子状態の評価
- c-3) アモルファス半導体のキャリアダイナミクスに関する研究
- c-4) ECR プラズマ CVD を用いた高効率アモルファス太陽電池の開発研究

#### (D) 半導体/誘電体界面の物性評価とそのデバイス応用

半導体の禁止帯幅  $e_g$  を次第に大きくしていくと材料は誘電体、つまり絶縁物となる。このグループはワイドギャップ半導体を誘電体薄膜の製造とその基礎物性および応用素子に取り組んでおり主として奥山雅則教授が担当してきて

いる。具体的な材料としては PLZT, PLT,  $PbTiO_3$  ならびに超 LSI の性能向上をめざした高品質  $SiO_2$  膜とその Si との界面物性に関する研究を行ってきている。このグループもこれらの誘電体薄膜の製造では世界でも先駆的な数多くの研究業績を残してきており、例えば、 $PbTiO_3$  薄膜を用いた超音波センサ、IR-OPFET, 光変調器、不揮発性メモリ MFS トランジスタなどがある。現在取り組んでいる研究課題を例示すると次のようである。

- d-1) Si 結晶薄膜の低温成長とその基礎物性
- d-2) 光励起気相成長法による  $SiO_2$  膜の成長とその物性評価に関する研究
- d-3)  $PbTiO_3$  膜のレーザアブレーション成長とその基礎評価に関する研究
- d-4) 室温動作赤外イメージングデバイスに関する研究

#### (E) 薄膜発光素子と OEIC に関する研究

ワイドギャップ材料の中でも半導体性をもつ ZnSe, ZnS, a-SiC,  $\mu c$ -SiC, a-C など発光素子用材料とその大面積表示素子への応用は上記の各グループから分かれてこのサブグループを形成している。ZnSe, ZnS, 薄膜を用いたエレクトロルミネセンス (EL) 素子に関してはもはや十数年の歴史があり最近流行のフラットパネルディスプレイの分野では云わば老舗で

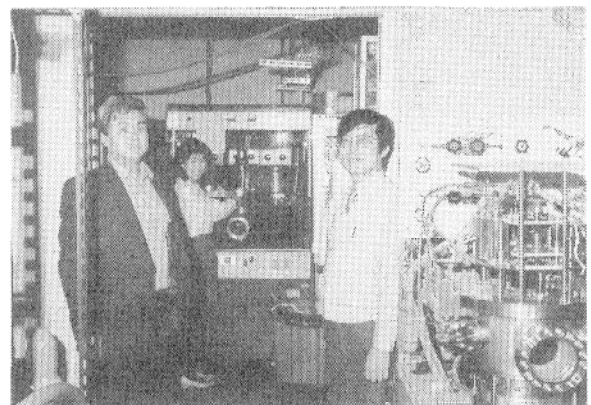


写真3 三次元 IC 開発の手がかりとなる SOI 技術に取り組む奥山教授(右)とクリーンエネルギー発電のチャンピオン高効率 a-Si スタック型太陽電池の基礎研究に挑戦する馬 雯助手(中)と佐田技官(左)

ある。Mnを発光中心とするオレンジ色EL素子は1970年代にすでに実用化に持ち込み、次いでTbを用いた緑色発光、Smによる赤色EL素子などについても1978年に世界に先がけて試作に成功した。その後これらの成果を利用して電圧により発光色が変わるチューナブルEL素子の発明やフルカラーEL素子の開発にも成功した。これらは現在壁かけテレビの実用化をめざしたR&D努力がつづけられている。1985年にa-SiCを用いた薄膜LEDの試作に成功し、現在このフルカラー化ならびに性能改善をめざした研究が進んでいる。具体的な研究テ-

マは次のようである。

- e-1) a-Si<sub>(1-x)</sub>C<sub>x</sub>フルカラーLEDとその応用
- e-2) チューナブルカラー薄膜EL素子に関する研究
- e-3) アモルファス薄膜発光素子とそのOEICへの応用

これらの研究成果は高度情報化社会の各種の高品質フルカラーディスプレイデバイスとして、日増しにニーズが高まるばかりで、文字通り“色の道は険しい”難題ながら、楽しみも多い研究課題である。

