

Stuttgart の半導体表面の研究

牧田 雄之助

電子技術総合研究所 〒305 茨城県新治郡桜村梅園 1-1-4

(1981年6月23日受理)

Semiconductor Surface Research at Stuttgart

Yunosuke Makita

Electrotechnical Laboratory 1-1-4 Umezono, Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaraki, Japan 305

(Received June, 23, 1981)

Research activity at the Max-Planck-Institute für Festkörperforschung (MPI FKF, Stuttgart, Federal Republic of Germany) is reviewed. This is to mainly related surface physics, molecular-beam epitaxy (MBE). Fundamental solid state problems are investigated at MPI FKF, applicational work, such as device fabrication and process technology, is performed through collaboration with other MP institutes, universities, and neighbouring industries. A unique alternative thin-layer structure (nipi), also classified as one of the superlattices has been proposed and theoretical and experimental investigations are now being extensively carried out. To have a better understanding of a-Si: H, photoelectron spectroscopy are being analysed along with data from conventional optical measurements (IR absorption, Raman scattering and emission).

1979年12月初めから1981年1月末まで、西ドイツ・マックスプランク固体研究所において在外研究を行う機会を与えられた。私のそこでの経験は極めて限定されたものであり、また情報も大変偏ったものであるが、読者が海外事情を探る場合に、あるいは僅かな手助けとなる可能性もあると考え、報告させていただく。

風が吹くと桶屋が儲かる式ではないが、海豚が志岐沖や、宇佐美沖で殺されるとデータレコーダーや、周辺機器が、国有備品として搬入されるという国立研究所で働くわれわれは、研究所の新設や統合、設置場所や、新規テーマの提案とその受け入れ体制に関して、大学研究機関で働く人以上に敏感でなくてはならない。その理由は大袈裟に言えば国家間の産業政策の違いと、その向う10年程度の流れを常に頭に入れておかないと、自分の研究費は疎か、自分の属する研究室の存在さえ怪しくなってくるからである。そこで、私は機会あるごとに、このマックスプランク固体研の設立の経緯を問い質したところ、判を押したように次のような答えが返ってきた。「第2次大戦後、従来から伝統のある産業（鉄鋼、化学、

機械、重電機、自動車）においては、その復興の速度は極めて速かったが、新しい産業分野、特に半導体エレクトロニクス産業においては、国際的視野と将来像の適確な把握を欠いていたために官民一体の対応策がなく、結果的に西ドイツは後進国になってしまった。半導体の分野で競合し、技術開発を行うためには、その基盤となる固体物理学への研究投資が不可避である。このような祖国の状態を愁いた在米ドイツ人半導体研究者が、1960年代後半に西ドイツ政府に強く働きかけ、『アメリカだけではなく、あの（後進国と見做してきた）日本にまで遅れをとってしまった』という殺し文句を武器に、この固体研究所を設立した』というのである。マックスプランク研究所は、実際には、同じ名前の財団に属する下部機関であり、その研究費（含人件費）の大部分は、国の機関（省や庁）や州政府から出ているが、飽くまで、民間の研究機関である。この財団はドイツ本土、ベルリンその他周辺隣接国に、50近くの研究所とその付属施設および支所を有しており、医学・生物学・化学・物理天文学に渉る幅広い基礎的学問分野をその研究守備範囲として

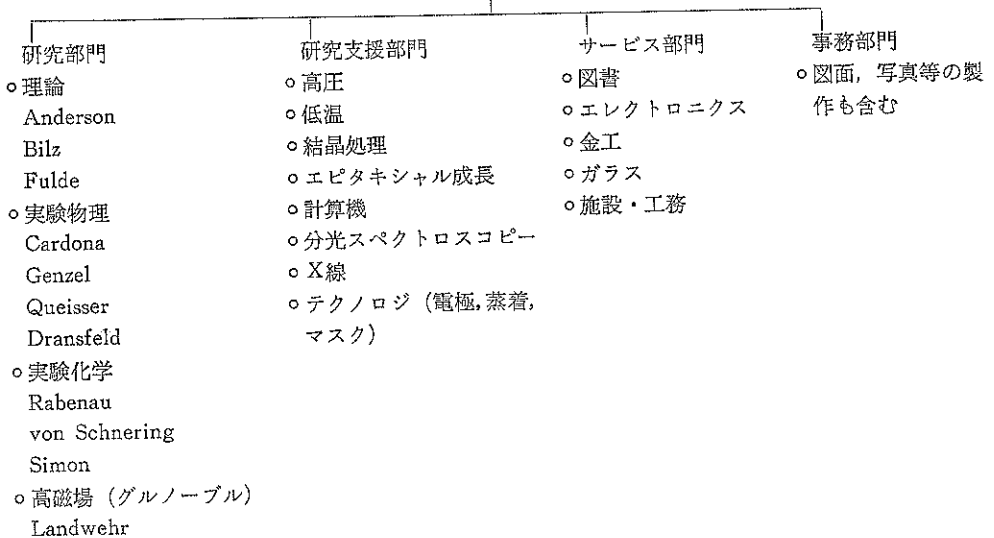
いる。先に述べた伝統的なドイツの産業がドイツ中部以北に位置し栄えたのと対象的に、急進的な技術革新が必要であった、弱電機産業や自動車産業は、ドイツの中部南部にほとんど分布している。これは、この地方にドイツの多くの偉大な発明家達、例えばダイムラー、ベンツ、ポッシュ、ツェッペリンらが輩出したこととあるいは関係しているのかも知れない。本固体研究所が、テレフンケン、SEL (ITT の子会社) ポッシュ等の弱重電機の研究所や工場が、さらにこれに密接に結びついた自動車工場群 (ボルシェ、ベンツ)、さらにアメリカの計算機エレクトロニクス会社 (IBM 研究所、ヒューレットパカード研究所) 等密集して存在する Stuttgart に設立されたのも、以上の歴史的、経済、地理的状况を背景にしているものと思われる。なお当固体研には、同じ建屋の中に、金属研究所が併設され、組織的には、全く独立に運営されているが研究の交流は、非常に活発に行なわれている。当所研究所の組織図を下に表で示す。これから解るように、比較的新しい研究所 (約 10 年) であるため、研究支援部隊が組織的にしっかりしている。研究支援部門は、必ずしも、研究上のサービスのみに徹している訳ではなく、その各部門の長は、殆んど全て博士号を持っており、研究部門と独立した独自の研究も行っている部門もある (低温、エピタキシャル成長)。なおテクノロジーとは、電極、マスク技術、ビーム加工、プラズマエッチ等を含む表面処理作業の技術部門であるが今のところその人員は少ない。

当研究所では、表面物理や半導体エピタキシャル成長

だけを集約的に行っている研究部門はない。理論部門の研究室で行っている表面関係の仕事は、私にはあまりなじみがないので割愛させて頂く。

実験物理部門では、Cardona 研において表面に関係した仕事が行なわれている。まず光電分光のグループで半導体 II-V 族, III-V 族の ESCA 関係の仕事をしており、既に発売停止になった(?) HP の装置に独自の表面処理装置を取り付け、表面の構造と電子構造の関係を探っている。最近のテーマとしては、種々の方法で製作した、a-Si:H とその不純物ドーブ、および熱処理をした試料に対して、ESCA の測定を行っている。この研究には、Cardona 研の従来からの主流のテーマであるラーマン散乱や超音波吸収のデータも当然、相補的に検討されており、独自の a-Si の世界を展開していた。Cardona 研でも、ラーマン散乱の伝統的課題 (誘導、共鳴ラーマン散乱、ポーラリトン、プラズモン、マグノン圧力下のラーマン散乱等) を行う人は次第に少くなり、むしろ応用サイドの研究や、新しい格子、電子系に果敢に取り組む傾向が強いように見受けられた。例えば MBE 法で製作したバルクエピタキシャル膜の評価手段として (Abstreiter ら)、残留不純物の格子への影響、混晶比の決定、プラズモン周波数を用いた自由キャリアー数の決定、そのエネルギー幅を用いたキャリアー移動度の決定等の研究が行なわれていた。また、同じ方法を用いた製作された、急峻なヘテロ接合界面に形成される 2次元電子ガス (2DG) に関するラーマン散乱とドファース・ファンアルフェン効果の実験も行なわれており、これは我

マックスプランク固体研究所組織図
研究諮問委員会——所 長——監 査 委 員 会



国の大型プロジェクト研究の課題となりつつある、いわゆる HEMT (高移動度トランジスタ) の先駆け研究として興味深い。超高真空の技術の進歩とともに、従来の測定を全てもう一度、清浄表面の条件下で見直して見ようという動きは、極く自然の成り行きであり、さらにこれを一歩進めて、結晶成長技術と結合させて成長中あるいは成長終了直後の表面を種々の手段で観測しようという動きは、「金持ち研究所」や「紐付き研究費潤沢研究所」では、当り前の研究方針となりつつある。巧妙な劈開装置と試料冷却機構を備えた、超高真空装置内部でのフォトルミネッセンス (PL) とラーマン散乱の測定を、日本の大学研究所に比べて相当裕福な Cardona 研の一員らが行なっている。不純物の付着や表面格子の再構成の結果、表面の dangling bond が、緩和してしまう以前の表面電子準位を、反映した測定を行っており、空气中で劈開した試料と対比させ、議論しており、おもしろい結論を呈示している。

分子線エピタキシャル成長は、6年程前から実験化学部門の Rabenau 研に属する Ploog のグループで行なわれている。このグループは、ドイツ研究技術省から豊富な研究費を得ており、既述した支援部門の効率のよいサービス、試料製作評価過程のほぼ全自動化、これにもかかわらず技官レベルの人間が多数いることなどの結果、ヨーロッパで多分最大の MBE グループとなっている。研究の中心は、将来デバイスの種子になりそうなテーマであるが、当研究所では、飽くまでも基礎研究が主体であるので、デバイスに直接関係しそうな課題は、他のマックスプランク研 (電波天文学や天文学) やメーカーと試料のやりとりを行うことにより進めている。

現在彼らが行っている主なテーマは、i) nipi 構造の

製作、ii) GaAs への不純物ドーピング実験、iii) レーザ用 AlGaAs ないし InGaAsP 多層膜の製作である。i) は今話題の超格子の 1 つであり、同じ研究所の Döhler が過去 10 年来提唱しているものである。ヘテロ超格子とは違った効果が期待されると考えられているが、易動度がバルクの何倍になるというような世の注目を集める効果はまだ観測されていない。実効的なエネルギーギャップが n 型、p 型各領域の擬フェルミ準位の交互の上下のため、バルクのギャップより狭くなる効果を、光吸収の測定から実証している。またラーマン散乱の測定も、Stuttgart 大学の Pilkuhn 教授の研究室と協同で始めている。その他、de Hass van Alven 効果の測定も開始されているはずである。Döhler の提案した nipi 構造は、nipi を一周期とする多層構造の物理的効果をねらったものであるが、単なる 2 DG の効果を調べるためなら、極く薄い n 型を挟んだ pnp 構造でもかまわない。電極をうまく工夫することにより、この構造を持った 2 DG 系の電流電圧特性について彼らはおもしろい結果を最近発表した。ii) のドーピング実験は、一種類の不純物導入により、p-n 接合を作ろうというアイデアから出たものであり、具体的には Ge を用い As 源として GaAs を使い、基板温度を幅広く変えることにより、これを実現していた。Stuttgart 大学にも、先述した Pilkuhn 教授の下に半導体研究グループがあるが、表面あるいは、分子線エピタキシャル成長等に的を絞った研究は行なわれていない。半導体表面を研究しているグループは西ドイツには、この外 Aachen, München および Berlin にあるが、私の見聞の範囲を越えるのでこれは他の研究者の報告に待ちたいと思う。

日本材料科学会主催、秋期シンポジウム

シンポジウム '81「センサー」

日 時：昭和 56 年 12 月 10 日 10:00~16:00

会 場：蔵前工業会館 5 階ホール (新橋駅下車 3 分)

1. センサー開発は如何にあるべきか
日立家電研 二木 久夫
2. センサーマテリアルデザイン
富士電機中研 矢部 正也
3. センサーとマイコン技術
武蔵工大 村田 裕

4. 電解効果を用いた半導体化学センサー

東北大工 松尾 正之・江刺 正喜

5. ガラスファイバーを用いたセンサー

日立中研 松村 宏善

参加費：¥ 5,000 (予稿集代を含む)

照会先：日本材料科学会 〒227 横浜市緑区長津田町

4259 東京工業大学 内

TEL 045-922-1111 内 2620