

## PREFACE

# 表面、界面、低次元電導と電子デバイス

犬石嘉雄

第二次大戦後の工業技術の最も特徴的な事件は、新しい半導体工学の急激な発展とそれに伴う情報化、電子化社会への移行であろう。Slater の下で表面準位 (dangling bond) を研究した理論家、Shockley は (i) 物性物理に立脚した各分野の専門家の真の学際的協力によってニーズをにらみながら基礎から理論実験のからみ合いで積み上げる新しい物性工学のパターンを確立し、(ii) それまでの天然材料 (非晶質、多結晶) を捨てて純化した人工単結晶と価電子制御によって再現性のよい精密なデバイス製造技術を築いた。今日でも半導体工業は Shockley の発見した小数キャリア注入、電界効果の 2 大原理に頼っており、IC→LSI→VLSI に至る最近の急激な発展は製造技術の進歩によってもたらされたものである。前世代の真空管と同様半導体デバイスでも能動素子の根本原理である非熱平衡電子分布を実現するために内部界面 (PN 接合) や表面 (MOS・FET) を用いている。Shockley は当時制御のできなかった表面や dangling bond を逃げて、内部界面 (PN 接合) を選んだ。この影響から半導体物性の研究の主力は“泥沼的表面”を捨てて“単結晶バルク”に集中し、半導体中の電子現象は理論、実験の両面で徹底的に精密に解明された。一方工業界では電界効果トランジスタ (FET) 実用化のニーズから  $\text{SiO}_2$ -Si 界面の問題が追求され、 $\text{Na}^+$  イオンの移動や窒化膜などで一応の成果を得た。しかし最近超 LSI などの開発過程で Si-金属界面などの問題がクローズアップされ、表面の重要性が再認識されている。幸い、超高真空や SIMS, REED, ESCA, AES などのマイクロな実験的解析技術の発展と d 金属や Si 表面の電子状態や原子再配列の理論計算の集積によって漸くバルクと同じ精度で表面の問題が解明されようとしている。一方、基礎研究の面でもバルクの知見の上になつて Shockley のたどった道を逆行し、結晶→非晶質、三次元→二次元→一次元へと向かう大きな流れが世界的に定着しつつある。たとえば化合物半導体の分子線エピタキシー (MBE) 技術によって可能になった二次元の電子輸送の問題が注目を集めており、HEMT (High Electron Mobility Transistor) などの応用が考えられている。1964 年 Little によって提案された共役 2 重結合炭素主鎖と色素側鎖による常温高分子超電導体は、その実現には失敗したが、多くの研究者の関心を一次元電子輸送にひきつけ、TTF-TCNQ ポリアセチレンなどの一次元金属の理論と実験が行われた。その結果、peierls 転移や電荷密度波 (CDW) などの新しい電子輸送現象が見出され、将来の高転移温度超電導物質研究への糸口を与えるものとして注目されている。また最近安価な大面積の太陽電池用材料として dangling bond に水素を結合させ不活性化した水素化アモルファスシリコン膜 (GD-a-SiH:H) が注目されている。アモルファス中の電子輸送は多数の分布した局在準位 (dangling bond, band tail) のため dispersive transport と称する特異な特性を示すことが実験・理論の両面から次第に明らかにされつつある。ただアモルファス状態は準安定状態でその制御が難しいため色々なモルフォロジーの試料で得られたデータを一様にアモルファスの名のもとに比較しようとするために混迷している面がある。しかしこの方面でも dangling bond や再配列の問題に関しては、結晶表面の研究成果からの貢献が大きいことを指摘しておきたい。

以上筆者の現在関心を持っている事柄について思いつくまま書いたが、半導体デバイスにとって表面は今後の研究対象として実用上重要であると共に極めて魅力と夢に富んだ新天地であり、さらに多くの若い研究者が戦線に参加することを望んでいる。