ナノ界面制御技術の現状と将来

Present conditions and the future of control technology of nanointerface

兵庫県立大院工
Univ. of Hyogo,小野田 光 宣
Mitsuyoshi OnodaEmail: onoda@eng.u-hvogo.ac.jpor ss-svu02@eng.u-hvogo.ac.jp

1. 背景

21 世紀に入り、環境・エネルギー・ライフサイエンス・バイオ・通信・ナノテクノロジーの時代と言われ、我国でも重点分野と位置づけた政策がとられている。高度映像情報化社会を取り巻く環境はますます複雑となり、多種多様化し、インターネットを中心とした情報化技術の著しい進展に伴って、次世代エレクトロニクス技術の構築が極めて重要であることが指摘されている。また、グローバル化、ボーダーレス化および国際大競争化の時代に入り、産業界は激しい技術・価格競争にさらされているだけでなく世界的規模での組織の改編や構造改革を余儀なくされている。我国では、2000 年に“産業技術力強化法案”を成立させており、産官学連携を積極的に推進し、高度先端技術に基づく産業競争力の強化が図られている。環境、エネルギー、情報、福祉などの分野でより身近で質の高いエレクトロニクス技術に関心が持たれるようになってきた。いわゆるユビキタス社会からアンビエント社会になりつつある。

シリコン半導体の進歩の歴史を振り返ると、1947 年の米国 AT&T Bell 研究所の William Bradford Shockley Jr, Walter Houser Brattain, John Bardeen らの点接触型トランジスタ（最初のトランジスタ）の発明以来、デバイス物理の徹底した解明が発展の大きな支えとなっている。シリコン半導体産業は、リソグラフィ技術の改良による素子の微細化が進展すると、スケール側による高速化、低消費電力化、高集積化が同時に達成され、優れた技術革新を生み出し、情報化社会に運慶を与えている。21 世紀に入り、半導体エレクトロニクスの最先端ドライビングテクノロジーの「物理的」な限界、例えば、薄いゲート絶縁膜のためトンネル電流の抑制が困難、不純物濃度の制御困難による素子特性のばらつき、スケール側が不適用、さらにはリソグラフィの極短波長光源の問題など、これまでの半導体エレクトロニクスの魔法の技術革新の陰りが指摘されているが、プロセス微細化などの限界説がことごとく打ち破られ現在も進展が続いている。

一方、界面とは、気体、液体、固体のいずれか二つの相が互いに接触している境界面のことである。(如何でもよいが、相の一方が気体の場合には通常、表面と呼んでいる。)電極/無機半導体の界面を正しく理解することは古くて新しい問題で、その界面に生ずる Fermi 準位のエネルギー差（真空準位シフト）を見積る議論はいまだに続いている。少し古いと言われるかも知れないが、R.T.Tung は電極と半導体の構成元素の物理定数から一般的に真空準位を導く手法を報告している¹⁾。

有機半導体とは、半導体としての性質を示す有機材料のことで、低分子有機半導体としてペンタセン、アントラセンなど、高分子有機半導体としてポリチオフェン、ポリ(p-フェニレンビニレン)などが知られている。これらは p 型有機半導体あるいは n 型有機半導体と呼ばれることが多々あるが、これは正孔を注入しやすい、電子を注入しやすいという意味であり、無機半導体のように多数キャリアとして正孔や電子を半導体

中に有しているという意味ではない。シリコン半導体デバイスでよく理解されている動作原理を有機半導体デバイス(例えば、最近、有機薄膜材料をデバイスの活性層とする有機電界発光素子(OLED)、有機薄膜トランジスタ(OTFT)、有機薄膜太陽電池(OTPV)など次世代エレクトロニクスの開発競争が活発になされている。)へ適用しようとしたとき、充分理解できないことが多い。例えば、有機電子光機能デバイスの界面における空間電荷の存在が素子特性に大きく影響するため、界面現象の評価、界面の制御など手法の確立が強く望まれる。無機半導体デバイスと同様に、有機半導体においてもデバイス物理は重要であり、特に有機半導体と形成する界面の理解は極めて重要な課題である。

2. 有機ナノ界面制御エレクトロニクス

有機材料を中心とする“有機エレクトロニクス”というパラダイムシフトがいよいよ現実味をおびてきた。有機ナノ界面のデバイス物理の理解がますます重要になってきた。本シンポジウムでは、界面の評価、制御などに関する最新的话题を取り上げて、界面エレクトロニクスに関する課題や問題点を浮き彫りにした。

有機エレクトロニクスの展開には、「ナノ界面現象の理解とナノ界面領域に“からくり”を導入して新しいデバイスを構築し、エレクトロニクス、通信、情報などの立場から研究すること」の重要性が指摘されている。物質・材料研究機構の有賀克彦氏は、このような状況のなか、柔構造膜の表面で形成される動的界面環境を利用する研究を提案し、推進している。すなわち、動的界面では、界面が広がる方向にはマクロスコピックな変位、延伸や収縮が可能であるが、厚さ方向には nm サイズの構造が維持される。このような界面に分子やナノ構造体を置くことによりナノ・分子システムの駆動を実現することを試みている。有賀氏は、この新規な技術を **Hand-Operating Nanotechnology** と呼んで分子の世界を手で制御するナノ/ミクロをマクロで制御する技術開発を行っている。この技術のアイデアは、生体材料を用いる次世代エレクトロニクスの展開には欠くことのできないもので、これまで応用物理学会および関連の研究会では報告されていない。このような新規なアイデアをベースに、関連領域の技術者・研究者を交えて意見交換することは応用物理の発展に資すると考える。特に今回のシンポジウムでは、エレクトロニクスと有機分子との接点に重点を置き、柔構造ナノ材料とエレクトロニクス素子の関連性について議論を深め、将来の方向性を探ることができた。言うまでもなく、このような企画は、応用物理学会会員にとって非常に有益になると考える。また、有機ナノ界面制御研究会としては、“有機分子素子工学”と言う新しい学問体系の確立の礎を築く上で必要である。

- 1) Raymond T. Tung, “Chemical bonding and Fermi level pinning at metal-semiconductor interfaces”, Physical Review Letters, Volume 84, Number 26 (200) pp.6078-6081.