

# ランダム系の電子伝導、イオン伝導 - メカニズムとデバイス応用 -

大阪府立大学大学院工学研究科 内藤裕義

ランダム系材料は、古くは感光体に応用され、今日では、薄膜トランジスタ、太陽電池、発光素子、全固体二次電池などへの応用が進展している。物質横断的に、ランダム系材料としての視点から電荷輸送やデバイス物理、デバイス応用に関する理解を深めることを目的に、ランダム系フォトエレクトロニクス研究会では、表記のテーマでシンポジウムを開催した。たくさんの参加者に恵まれ、ピーク時には 120 名を超える盛況であった。

ランダム系の電子伝導には未解決の問題が数多い。嶋川は、ランダム系の電子伝導現象として知られている Meyer-Neldel 則、バンド端エネルギーの空間的揺らぎ、variable-range hopping における前指数項、Hall 係数

Seebeck 係数の pn anomaly などについて自身の解釈も含めて解説した。特に、variable-range hopping については、温度依存性のみ議論される場合が多いが、前指数項の大きさについての吟味も重要であることが示された。このような本質的な問題の理解なくしてはランダム系の電子伝導が解明されたとは言い難い言いであろう。解明に向けての継続的な努力が肝要である。

多結晶シリコン薄膜トランジスタは高性能の液晶ディスプレイや有機 EL ディスプレイのバックプレーンとして用いられる。そのため、ガラスやフレキシブル基板の上で動作し、しかも、低温成膜されるため、界面や結晶粒界で多数のトラップが存在する。木村は、多結晶シリコン薄膜トランジスタの back insulator がある場合、grain boundary がある場合について解析解を導出、さらにデバイスシミュレーション手法を確立し、多結晶トランジスタのデバイス物理を着実に進展させていた。また、電界効果法、デバイスシミュレーションを用いたフィッティング法、C-V 法により界面、裏面、粒界のトラップ分布を算出するデバイス評価の手法を明らかにしていた。実際に酸化物、有機物トランジスタにもこのような評価法を適用しており、トラップの存在を考慮したデバイス設計が可能になっている。物質横断的なデバイス評価がここではすでに実を結んでいるようであった。

最近、神谷、細野のバイオニア的研究により明らかになった酸化物半導体の機能性に関心が高まっている。特に、透明エレクトロニクスという新しい電子工学の一分野を築いたことは特筆に値する。発光素子、薄膜トランジスタとしての特性のみならず、C12A7 による有機 EL 用陰極、さらにパーコレーション伝導、弱局在、ポラロン伝導についての基礎的な話題提供もあった。Si と酸化物のバンド構造の違いから（酸化物では伝導体の底が s 軌道より成り方向性がない）、InGaZnO な

どでは結晶(80 cm<sup>2</sup>/Vs)とアモルファス(30 cm<sup>2</sup>/Vs)で、移動度に Si ほどに大きな差が出ないという興味深い結果が示されていた。

ランダム系材料であるガラス系イオン伝導体は安全な全固体二次電池への応用の観点から注目を集めている。ランダム系材料はイオン伝導性が高く、固体電池開発には不可欠である。ガラス系固体電解質には、1) 高いイオン伝導度、2) シングルイオン伝導、3) 広い電位窓、4) 超イオン伝導結晶の析出が容易などの特長がある。この観点から辰巳砂らが見出した Li<sub>2</sub>S-P<sub>2</sub>S<sub>5</sub> 系ガラスセラミックスの有用性を示された。また、今後の二次電池開発には、電極活物質、固体電解質などの成膜に応用物理的手法が重要であることが指摘された。あまり電池に縁がなかった我々も関心を払っていくべき分野である。

分子性固体である有機物の電子伝導は無機物とは異なったものとなる。西沢は、small polaron hopping によって、ランダム系有機物質で観測される 1) 移動度の温度依存性、2) FET 移動度のゲート絶縁膜誘電率依存性、3) 移動度の永久双極子依存性、4) 移動度の電界依存性、5) 移動度と拡散係数の関係がすべてうまく説明できることを示した。有機物のデバイス設計には貴重な知見となると考えられる。

有機トランジスタの開発が盛んになっているが、代表的な有機半導体は蒸着法で成膜したペンタセン多結晶である。中村は AFM ポテンショメトリーを駆使し、ペンタセン有機トランジスタの動作時の様子を直接観察している。様々な興味深い結果が示されていたが、なかでも、ドメイン間の障壁が 150 meV であること、単結晶であるはずのドメイン内の HOMO のエネルギー揺らぎの振幅が 12 meV あること、ドメイン内の移動度が 1 cm<sup>2</sup>/Vs であることはトランジスタのデバイス物理を明らかにしていく上で重要な知見となるであろう。

現状で上述の知見を整理することにより、ランダム系材料の電子物性の理解やデバイス応用が進展し、さらには、新規な応用展開が生まれることを期待したい。