

表面科学と真空技術のシナジー効果による次世代科学技術の推進

① ビジョンの概要

社会基盤を支える材料の複合化とデバイスの微細化に伴い、表面・界面の研究とそのため不可欠な真空技術の開発が特に重要となり、そのシナジー効果が我が国の科学技術の国際競争力強化に不可欠である。

② ビジョンの内容

Society 5.0 の実現、環境・エネルギー問題の解決や超高齢社会への適応のために、国際力の高い先端材料やデバイス開発が求められている。材料が無機・有機・バイオなど多岐にわたり複合化しさらにデバイスが微細化する中、それぞれの物質の境界に存在する「表面・界面」の果たす役割が極めて大きくなっている。「表面科学」による表面や界面での原子・電子構造の解明を通して、新たな材料発見や、半導体デバイス、センサーなどの IoT デバイス、高性能電池などのエネルギー材料やバイオ材料の開発に繋がる。これら材料合成とデバイス開発を支える重要な基盤技術が「真空技術」であり、高度な表面・界面解析の環境を提供する一方、新規材料合成とデバイス構築には欠かせない技術となっている。すなわち、表面・界面および真空を両輪とするシナジー効果こそが、我が国のサイエンスと技術の基盤として重要であり、その発展が国際競争に不可欠である(図1)。

今回提案する未来の学術振興のビジョンは、(1)高度な表面界面観測技術による表面・界面の精密理解、(2)(1)の知見に基づいた新規環境・エネルギー・バイオデバイスの開発、(3)次世代真空技術の先導、(4)表面科学者や真空技術者の育成とネットワーク形成、を柱とする。(1)は表面界面科学の根幹をなし、(2)の新規デバイスの開発に直結する。そして今後はデータ科学を用いたこれら実験・解析法のハイスループット化や革新的技術開発などが急務となる。また、(3)の真空技術は、(1)及び(2)の基盤を支えると同時に、(1)及び(2)で培った知見を応用して技術を高度化する。具体的には、より小さなエネルギーで、より真空度が高く、より清浄な真空環境を、より素早く安定に実現する方法や、ロバスト環境でも適切に動作する真空技術を開発する。こうした次世代真空技術と表面界面科学は、物理、化学、電気、機械、生体などの学術から、宇宙開発や高速輸送、量子技術、非破壊分析、材料や文化財の劣化制御といった現在と近未来で必要となる実用的な技術にまで、幅広い分野の発展に貢献する(図2)。(4)で、このような総合的知力を持つ人材を育成するとともに、学会の利点を活かしてグランドビジョンに向かった推進力を生み出すネットワーク形成に大きく貢献する。そこで研究計画として、日本の研究者が独自に開発した装置の共有化による表面科学の発展、真空関連装置の共同評価システムの構築を通じた産業力の強化、講演会・国際会議・産学連携活動による20～30年先に活躍できる研究者や真空技術者の育成を行う。

③ 学術研究構想の名称

表面科学と真空技術のシナジー効果による次世代科学技術の推進

④ 学術研究構想の概要

今回提案する未来の学術振興のビジョンを柱とする。高度な表面・界面解析技術としては、(陽)電子線や光など量子ビーム等を用いた顕微分光・回折法が挙げられる。表面・界面の精密理解にはこれらの性能や信頼性の向上に加え新たな観測技術の開発の推進が肝要である。多くの表面・界面観察技術は測定技術の習得に時間がかかり汎用測定技術にならないという問題があった。これらを克服し将来の新規環境・エネルギー・バイオデバイスの開発に資するために、AI技術を導入し、また種々の解析技術を自動化した表面・界面解析

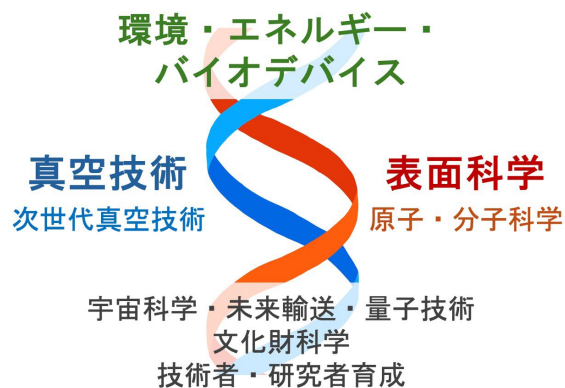


図1 表面科学と真空技術のシナジー効果

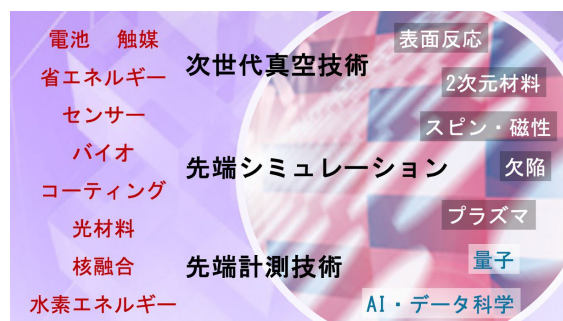


図2 真空技術と表面科学が貢献する分野

プラットフォームを構築する。さらに試料作製プロセスと計測を組み合わせ自動化することにより、物性の理解と機能性欠陥の設計指針を構築し、欠陥をうまく利用した環境・エネルギー材料、量子科学の進展に寄与する測定手法、デザイン指針の普遍化に貢献する。一方、デバイス開発のためには実デバイス表面・界面でのその場解析技術の開発を進める。実デバイス作製ではプラズマや量子ビームを用いた薄膜形成、表面加工技術の高効率化、高度化も必要となる。これらの解析・デバイス作製技術の根幹をなすのが真空技術であり、試料室を低環境負荷で高真空化できる技術を実現する。これに伴い、真空ポンプの省エネルギー化技術が発展し、2030 年までに 2020 年比にて消費電力の 50%以上の削減が期待される。日本表面真空学会は表面科学と真空科学を包括する総合的組織である。本構想では、この学際的環境をさらに産官学・国家の垣根を排したプラットフォームへ拡張する。そして学会主導による超実践的教育により全ての若手を総合的知力人材へ育て上げる。

⑤ 学術的な意義

今回の提案に基づき得られる知見はいずれも学術的重要性の高いものとなる。プラズマ・表面反応の解明は宇宙空間における宇宙機と宇宙環境の相互作用の理解や、エネルギー問題に直結する制御核融合におけるプラズマ・炉壁相互作用の理解にもつながる。新規薄膜材料開発は、新たな半導体素子作製に役立つのみならず、抗菌・抗ウイルス、窓ガラスの紫外線ないしは赤外線反射膜など生活に直結する各種材料の開発にも直接結びつくと考えられる。また、バイオ反応においては、細胞膜に存在する膜タンパク質は、様々な刺激に最前線で対峙する分子であり（新型コロナウイルスの受容体 ACE2 も細胞膜中に存在）、生体機構解明の観点からも医療・創薬の観点からも、その構造・機能の計測・解析への関心は高い。したがって、細胞膜およびそのモデル系である人工細胞膜のオペランド計測技術や観察技術の開発は、これからの成長分野である。電池における精密な反応解析は、材料負荷が小さく、かつ性能の高い次世代電池開発のためには必須である。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

単原子分子レベルの分光測定分野は現在日本が世界をリードしている計測技術である。また、機械学習を取り入れた材料設計は世界的な材料設計の標準となってきた。しかし、単原子分子レベルの計測と材料設計を組み合わせ、自動化による大規模解析技術へと進む動きはない。本提案は、この分野で世界をリードする技術をさらに昇華させ、広範な材料設計に組み込める計測技術に発展させる独自のものである。

⑦ 社会的価値

材料表面は触媒、IoT デバイス、パワー半導体、量子ビットといった基礎材料の全てに関わる。即ち、本提案はエネルギー、気候変動対策、インフラ構築などの SDGs 実現に貢献するための基礎研究であると言え、国民の生活水準・幸福の継続的な維持に欠かせない科学技術であると言える。成膜機構解明によるプロセスの最適化は、半導体製造・光学薄膜形成などにおける製品開発・製造の効率化・高度化を実現する。地方での拠点形成により、国内各地域における研究開発の活性化が促進される。省エネポンプの開発を通じて、高性能半導体製造に対する省エネルギー化に貢献できる。

⑧ 実施計画等について

＜実施計画・スケジュール＞

◎AI 技術と組み合わせた表面・界面解析プラットフォーム構築

ハード開発・装置利用環境の整備に 2 年、自動化のソフト開発に 2 年間。データ解析法の開発に 2 年。

◎AI 技術と組み合わせた新規デバイス作製プラットフォーム構築

プラズマ・電子ビーム成膜、リソグラフィー装置の導入と習得に 2 年、AI 学習による自動化に 2 年。

◎人材育成

1 年間で共同研究締結プラットフォームを作成する。

＜実施機関と実施体制＞

日本表面真空学会内に設置されている研究部会・技術部会がテーマ毎に参加研究者を束ね、連携した研究を推進する。本会若手部会メンバーを中心に広いダイバーシティを包含する研究体制を検討している。

＜総経費＞ 105 億円

⑨ 連絡先 佐久間 恵子（日本表面真空学会事務局）