

## 様々な量子ビームを用いた薄膜の光機能の探究

世話人：和達大樹（兵庫県立大）、豊田智史（東北大）

超短パルスレーザーやX線自由電子レーザー(FEL)などの実験手法の急速な発展・拡大により、ピコ秒以下のダイナミクスの研究が汎用的なものとなりつつある。物質科学においては物質の静的な結晶構造や磁気構造だけでなく、その光機能特に非平衡・過渡状態における動的な性質が大いに研究されるようになってきた。発現を期待される光機能には、光誘起による絶縁体-金属転移、磁化制御、超伝導、イオン伝導などがあり、静的な性質では頭打ちの性能指数にブレークスルーを狙うことができる。このような研究の現状を鑑みると、量子ビームどうしや試料作製などの間の連携が急務となっている。本シンポジウムでは、X線、レーザー、電子線、試料作製、理論などをさまざまな形で駆使して、様々な量子ビームを用いた薄膜の光機能研究の現状と課題、将来の方向性について討論を行った。招待講演9件と一般講演1件の合計10件の講演が行われた。

和達大樹（兵庫県立大）は「はじめに」としてイントロダクトリートークを行い、本シンポジウムの目的と意義を説明した。

久保田雄也（理研）は「SACLAにおける物質科学の現状と今後の展開」と題する招待講演を行った。SACLAでの物質科学分野の最近の研究成果として、特にBL1の軟X線FELを用いた走査型磁気光学カー効果測定手法の開発と、BL3における硬X線FELを利用した格子や電子状態秩序の超高速ダイナミクス研究の詳細が示された。また、現在行われている装置開発も含めた今後のSACLAにおける物質科学の展開が議論された。

石井順久（QST）は「レーザー軟X線光源の進展とフェムト秒吸収分光への応用」と題する招待講演を行った。これまでの軟X線光源は大型施設に限られていたが、近年レーザーをベースとした高次高調波発生が進展を見せ、チタン・サファイアレーザーを用いて100-150 eV程度のコヒーレント極紫外光が分光に用いられつつある。最先端の軟X線アト秒光源を用いた一酸化窒素の時間分解分光と、酸素K吸収端へ達する次世代軟X線光源の可能性とその開発が紹介された。

吉田昭二（筑波大）は「時間分解STMによる電子ダイナミクスの実空間イメージング」と題する招待講演を行った。現在フェムト秒の高い時間分解能と、原子~ナノスケールの高い空間分解能を両立する超高速顕微鏡の開発が盛んに進められており、特にTHzパルスと走査トンネル顕微鏡(STM)を組み合わせた時間分解THz-STM大きな注目をされている。時間分解THz-STMを用いた測定例として有機薄膜中の超高速電子ダイナミクスの計測について紹介され、原子レベルの空間分解能とサブピコ秒の空間分解能を組み合わせた測定の威力が示された。

羽田真毅（筑波大）は「時間分解電子回折で見た遷移金属化合物結晶薄膜の光誘起構造ダイナミクス」と題する招待講演を行った。光照射下での電子状態と結晶格子の両方の変化の関連を明らかにする測定手法として、超高速時間分解電子線回折法が紹介された。二重ペロブスカイト型コバルト酸化物の研究では、従来の光誘起電荷秩序融解絶縁体-金属相転移とは大きく異なる、高密度ポーラロン状態を利用した光でのイオンの動きを超高速制御するという新機能が実現することが明らかにされた。

石原純夫（東北大）は「光照射による多電子系非平衡ダイナミクスの理論」と題する招待講演を行った。光照射による多電子系の非平衡ダイナミクスについて、最近の理論研究結果について報告された。特に、これまで典型的な強磁性相互作用として考えられてきた二重交換相互作用が、光による強い非平衡状態では反強磁性相互作用に転換するという驚くべき結果が紹介され、今後の実験的な観測にも大きな期待が示された。

このように午前中の講演により、ピコ秒以下のダイナミクスの研究が、SACLAのような大型実験施設の建設、時間分解分光・回折などの実験手法の確立により、急速に進展していることが生き生きと感じられた。午後前半の講演はそれに対し、様々な物質開発の立場から光機能への展開が示された。

近松彰（東大）は「新規遷移金属酸化物薄膜の作製と光機能」と題する招待講演を行った。光機能研究の例として、二重ペロブスカイトコバルト酸化物薄膜における光誘起強磁性一反強磁性転移の研究結果が紹介された。さらに、遷移金属酸化物の酸素サイトの一部を水素や窒素、フッ素などの異種アニオンをドーブした複合アニオン酸化物の薄膜の物性と、光機能研究への今後の展開についても議論された。

三輪真嗣（東大）は「光でみるスピンドバイス物性」と題する招待講演を行った。スピントロニクス研究においては電気測定が主流であったが、分光学的な手法も急速に用いられ始めるようになった。ここでは特に、デバイスを動作させながら XMCD 分光を行うオペランド XMCD、フェムト秒パルスレーザーを用いた金属反強磁性体の実時間ダイナミクスが紹介され、元素及び軌道選択的な測定や、スピン振動の実時間観測などの重要性が示された。

田中慎一（呉高専）は「光学特性を有する金属ナノ材料を利用したナノ生体計測技術の開発」と題する招待講演を行った。数個から数十個の原子で構成される蛍光性金属ナノ材料である白金ナノクラスターは、分子サイズ（構成原子数）に依存した蛍光特性（量子サイズ効果）を示し、合成条件の最適化により可視光から近赤外領域に蛍光特性を実現できることが示された。従来の蛍光プローブに比べて高輝度でかつ光退色しないので、診断・観察用の生体分子プローブとしての将来性が議論された。

午後後半は量子ビーム間、特に X 線と中性子の複合利用について、2 講演を行った。本田孝志（高エネ研）は「物質科学研究における量子ビーム相補利用の展望」と題する講演において、特に J-PARC における中性子の高強度ビームの実現によりミリグラムオーダーの試料の磁気構造が決定できるようになったことが示され、従来の固定観念を乗り越えた X 線と中性子の相補利用を考える必要性が明らかになった。

桜井健次（物材機構）は「表面に露出していない埋もれた薄膜界面構造の可視化：多面的な量子ビーム計測への期待」と題する招待講演を行った。薄膜・多層膜の特に埋もれた界面にアプローチする X 線や中性子の反射率法によって、KEK や J-PARC における 2 次元や 3 次元のイメージング、その時間的な構造の変化を目指す研究の大きな潮流が紹介された。反射率イメージングは、微小プローブを必要としない微小領域解析法としての今後の発展への期待が示された。

このように一日を通じ、X線、レーザー、電子線、試料作製、理論などの立場から、様々な量子ビームを用いた薄膜の光機能研究の現状と課題、将来の方向性について討論することができ、常に60人程度の出席者による非常に有意義なシンポジウムとなった。その一方で、量子ビーム間の連携については、ミュオンや陽電子などについては講演を設けることができなかつたため、今後のさらなるシンポジウム企画の必要性も感じている。本シンポジウムは、応用物理学会の7.ビーム応用大分科の提案により実施された。同大分科傘下の量子ビーム界面計測セッション(7.4)および今年度より活動している研究会「量子ビームによる表面界面の光機能探究研究会」の関係者がプログラムを立案企画した。今後も、異分野で活動する研究者との交流により、新しい研究テーマが開拓されることを目指したいと感じている。今年度は毎月ミニ研究会をオンラインで開催している。詳しくは、ホームページ(<https://annex.jsap.or.jp/opt/>)をご参照下さい。