

# ナノスケール物性研究部門

## 「現状のまとめと将来の可能性」

ナノスケール物性研究部門主任 大谷 義近

### はじめに

物性研究所は 1957 年に共同利用研究所として発足し、その後 55 年間、我が国の中核的物性研究機関としての役割を果たしてきた。昨年 12 月には、先端分光研究部門と軌道放射物性研究施設が再編された極限コヒーレント光科学研究センター(LASOR センター)が発足した。これにより国際超強磁場科学・中性子科学等の大型共同利用研究施設や計算物質科学研究センターなどが、共同利用施設としてだけでなく新しい科学の発信拠点として、物性科学コミュニティに今後与えていく意義はより大きくなっている。これらと比較してナノスケール物性研究部門をはじめとする部門研究は、個人研究を尊重したボトムアップ研究を基本としている。研究者個人の卓越した発想が独創的成果を挙げるうえで重要なことは言うまでもない。しかしながら、将来的に物性研の研究活動がこれまで以上に国内外に広く認知され高く評価されるためには、部門内あるいは部門・施設間の有機的な連携、あるいはダイナミックな国内外の研究機関との共同研究を通じて新しい物性研究領域を開拓し、従来の枠組みを超える物性研究を展開することも重要である。本稿では、現在遂行あるいは参画している研究テーマやプロジェクト、部門内あるいは国内外の研究機関との共同研究に着目して、ナノスケール物性研究部門内の研究活動の現状をまとめ、将来に向けた更なる発展への可能性を探る一助としたい。

### ナノスケール物性研究部門の現状

ナノスケール物性研究部門(平成 16 年先端領域物性部門より名称変更)として平成 8 年度の全面的な研究組織の改組にともなって発足した。その背景には、エピタキシャル成長技術、極微細加工技術、各種の表面評価手法などの発達がある。ナノスケール物性研究部門では、これらの技術を利用して、表面・界面および人工物質や人工構造を対象とするナノスケールサイエンスに取り組んでいる。例えば、ナノスケール人工物質・表面・界面の物性構成原子の種類と並び方を高度に制御した人工低次元系、ナノスケールの周期構造、原子レベルで制御された様々な固体表面や界面では、その特殊な構造のために、興味深い電氣的磁氣的性質や化学反応性が現れてくる。そこで、最新の超高真空技術、微細加工技術、顕微鏡技術などを駆使して、金属、半導体、酸化物からなる新奇な物質を創成し、それが生成される機構やそこに現れる物性の起源をミクロに解明することを目標に研究を行っている。また、そのような研究を推進するための新しい実験手法や観測された物性を利用し役立つための素子作製方法などの技術開発も行っている。

### 現在の構成員と研究テーマ

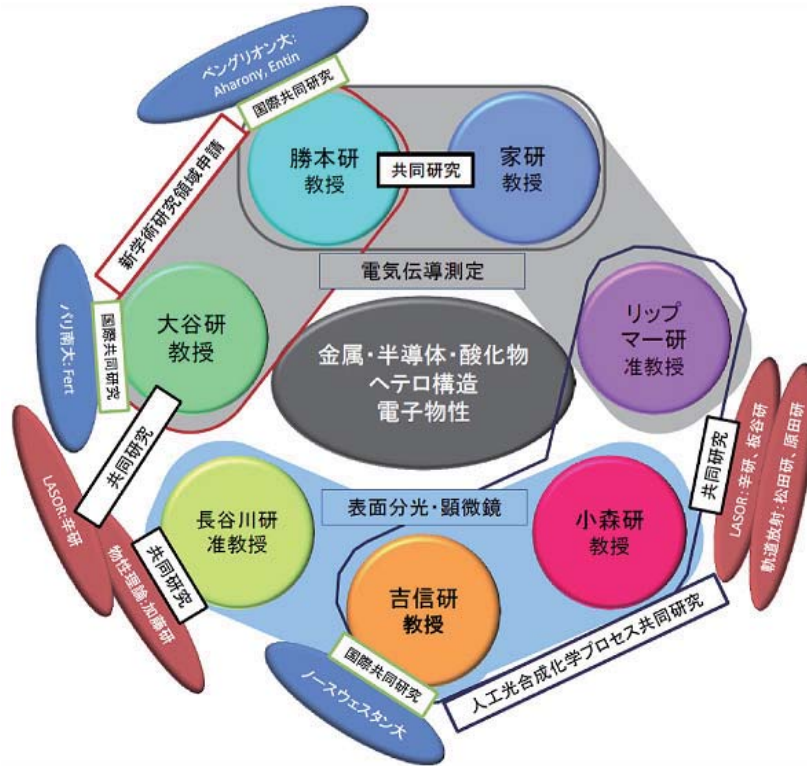
図に示すように、現在ナノスケール物性研究部門は 7 名の所員(教授 5 名、准教授 2 名)の主催する研究室で構成されている。全研究室の中心的な研究テーマをまとめると、金属、半導体、酸化物、有機分子やそれらのナノ構造やヘテロ構造界面や清浄表面の超伝導・磁性に関わる低次元電子物性研究となる。一方で、物性研究手法に着目すると、電気伝導測定に重きを置いた 4 つのグループ(家、勝本、大谷、リップマー研究室)と走査プローブ顕微鏡(SPM)や表面状態に敏感な分光法を用いた表面物性研究に力点を置いた 3 つのグループ(小森、吉信、長谷川研究室)となる。具体的にそれぞれの研究グループの活動を以下にまとめる。

**家研究室**では、GaAs/AlGaAs ヘテロ界面を舞台とした 2 次元電子系やグラファイトの電子正孔系の量子輸送現象に取り組んでいる。具体的には、微細加工法を用いて周期的な変調構造を系に付加することにより特徴的に表れる伝導現象に関して精力的に研究を進めている。

**勝本研究室**では、超伝導、量子構造物性、スピントロニクス、バンドのトポロジカルな性質や量子情報に絡む量子物性に着目して研究を進めている。

大谷研究室では、ナノスケールの強磁性中のスピンドYNAMIX、また、それらを用いたスピン注入によって生成するスピン流を道具立てとしてスピン角運動量移行やスピンホール効果などの金属・半導体・超伝導体やそれらの複合構造におけるスピントロニクス物性の研究を進めている。

リップマー研究室では、局所空間に閉じ込められた酸化物における相転移現象に着目して研究を進めている。具体的には、電界効果型トランジスタや強誘電体材料を用いた電界効果または薄膜結晶の歪みによって誘起される金属-絶縁体転移が挙げられる。



ナノスケール物性研究部門 7 所員研究体制と共同研究の状況

小森研究室では、固体表面に形成されるナノスケール物質の電気的磁気的性質を明らかにすることを目標に、超高真空中で走査トンネル顕微鏡 (STM)、光電子分光、磁気カー効果 (MOKE)・第二高調波発生 (SHG) 測定を用いて研究を行なっている。

吉信研究室では、固体表面を新しい物質を構築するための「反応場」として利用した表面ダイナミクスの研究を遂行している。具体的には、赤外から軟 X 領域にわたる各種の分光法や局所プローブ顕微鏡法などを用いて、分子の吸着構造と電子状態、基板と分子とのエネルギー準位接続、吸着超構造、表面反応キネティクスなどを研究している。

長谷川研究室では、STM によるナノスケールでの可視化技術を駆使し、表面電子状態に関する新奇な物性を探索するとともに、超伝導・スピンおよびそれらの伝導に関連した微視的現象の解明を目指して、研究を進めている。

### 現在進行中あるいは申請中の研究費(プロジェクト)の状況

以上の 7 研究室が研究を遂行するために獲得している研究費は文科省の科学研究費補助金(科研費)が主なもので、それぞれの研究室で規模的には基盤研究 S から C まで幅広く獲得している。それぞれの研究室の若手助教も着任時には科研費・若手スタートアップなどを獲得している。その他の科研費については、新学術領域研究には「革新的エネルギーハーベスティングを目指したスピン変換物理の創成」(H25-29; 総額約 14.5 億円)を大谷所員が代表者として申請中であり、勝本所員は、その中の計画研究班「界面状態とスピン変換機能」の分担研究者として参画している。また、小森所員と吉信所員は、松本吉泰教授(京都大学)代表が申請中の新学術領域「界面域でのオペランド分子科学」の計画研究代表者として参画している。

その他、現在走っている大型プロジェクトとして、振興調整費によるナノ量子情報エレクトロニクス連携研究拠点(分担：勝本研)、科学技術振興機構戦略的創造推進事業研究領域「低エネルギー、低環境負荷で持続可能なものづくりのための先導的な物質変換技術の創出(ACT-C)」(分担：吉信)や経済産業省の「人工光合成化学プロセス技術研究組合(ARPCHEM)」(分担：リップマー、小森、吉信)がある。

## 部門内・部門間および国際的な共同研究の現状

家研究室と勝本研究室は、量子ドット系の伝導や量子ホール系の熱電効果などに関して継続的に共同研究を行い共著の論文を発表している。また、上述の「人工光合成化学プロセス」プロジェクトに関連した「半導体光触媒 Rh ドープ SrTiO<sub>3</sub> 表面の電子状態と反応」について、放射光分光や実験室的な光電子分光を用いて小森研究室、リップマー研究室、吉信研究室が共同研究を行っており、昨年度 2 本の論文を共同執筆し発表した。小森研究室は、家研究室とナノ構造グラフェンの電子物性に関する共同研究を行っている。

他部門との共同研究については、大谷研究室と物性理論研究部門の加藤研究室が金属ナノ細線中のスピン拡散長の解析手法に関する研究を行い、論文を 1 報発表している。長谷川研究室も同様に加藤研究室と鉛のナノ構造における超伝導近接効果に関する共同研究を行っている。吉信、小森、リップマーの 3 研究室は、LASOR センターの軌道放射研究施設の松田研究室および原田研究室と共同研究を行っており、「半導体光触媒 Rh ドープ SrTiO<sub>3</sub> 表面の電子状態」について、昨年論文を 1 報出版している。また、小森研究室は、辛研究室・板谷研究室とグラフェンの電子状態に関してレーザー光電子分光を用いた共同研究を行い、現在論文をまとめているところである。その他、末元研究室・辛研究室と共同でグラフェンの時間分解分光測定を行うなど精力的に共同研究を展開している。大谷研究室も辛研究室と共同で FeRh 合金におけるスピン注入誘起反強磁性強磁性磁気相転移に関するドメイン形成過程の研究を上述のレーザー光電子顕微鏡観察を行っている。

その他、国内外の他組織(大学・研究所等)との共同研究も遂行されている。例えば勝本研究室では、イスラエル、ベン・グリオン大学の Aharony, Entin 両教授のグループと量子輸送を中心に共同研究を展開しており、年 1 報ペースで論文発表している。大谷研究室は、仏パリ南大の Fert 教授のグループと不純物誘起スピンホール効果の研究を行っており、銅細線に Bi を微量不純物として添加することにより巨大スピンホール効果が発現することを発見し、昨年 PRL に 1 報発表している。吉信研究室ではグラフェンの可逆的酸化について、群馬大学やノースウェスタン大学と共同研究を行い、昨年論文を Nature Chem. に 1 報発表した。

## 将来の可能性について

以上のナノスケール物性研究部門の研究活動状況のまとめから、本部門のボトムアップ的な個人研究は活発に機能していると思われる。しかしながら拙稿の最初にも述べたように、大局的な研究目標や社会的に必要性の高いテーマを設定し、それに向かって異なる研究者間、異なる分野間、そして異なる組織間でそれぞれに特色のある概念、手法、設備を戦略的に組織化して最大限の相乗効果を発揮させることも、部門にとって必要不可欠になりつつある。

「人工光合成化学プロセス」プロジェクトの中で吉信、小森、リップマー研究室が LASOR センター・放射光施設などの他部門と行っている共同研究は、物性研究所内において相乗効果を発現させた一例とみなせるであろう。吉信、小森、リップマー研究室の表面グループの共同研究は表面あるいは界面を反応場として活用する光触媒の研究であり、大谷、勝本所員が関係するスピン変換研究も表面または界面における角運動量交換に関する研究である。界面において発現する現象について化学的反応あるいは物理的変換と捉え方の違いはあるものの、どちらも電子移動を通じた電荷あるいはスピンのやり取りで発現する現象である。このように界面物性という一つの共通点に着目して、省エネルギーあるいはエネルギーハーベスティングに資する新たな基礎研究の展開を図るのもナノスケール物性研究部門に時代の要請に合致した新しい融合学術分野を創成するための一つの方法かもしれない。

さらに、上述のような相乗効果をより大規模かつ国際的に発現させるためには、より広いナノスケール物性科学コミュニティにおいても既存の制度である滞在型 ISSP 国際ワークショップや客員所員制度を戦略的に活用することにより国際連携研究体制を築き、それを通してナノスケール物性科学の将来を背負っていく若手研究者を育成し活躍の場を与えるためのプログラムを物性研究所として策定することも必要と考えている。