研究課題別中間評価結果

1．　研究課題名：バルク敏感スピン分解超高分解能光電子分光装置の開発

2．　研究代表者：高橋　隆（東北大学原子分子材料科学高等研究機構　教授）

3．　研究概要

材料科学や物性科学の分野で広く使われている高分解能光電子分光法には、表面敏感性とスピン分解測定の困難さという2つの大きな難点がある。本研究では、これらを解決するために、(1)新たな高輝度プラズマ放電管を開発して、10eV 近傍の励起光による長い脱出深さを持つ光電子を用いて、光電子分光のバルク成分を高い感度で検出するとともに、(2)光電子のスピン分解測定を行う小型モットスピン検出器を開発して、光電子のスピン検出を行うことを目的としている。

本研究では、これまでに、光電子分光装置の主要部分(電子エネルギー分析器、キセノンプラズマ放電管、モット検出器、装置排気系)の製作と調整、および周辺装置(極低温マニピュレータ、超高真空測定槽、排気系、試料準備・作成槽)の設計・製作および調整を行ってきた。新型の高輝度キセノンプラズマ放電管の開発はほぼ完成し、1000 時間以上の実用上十分長い寿命を実現している。超高分解能光電子分光装置に関しては、これらの各要素装置のマッチング調整により、当初の目的の分解能である1meVを超える900μeVを既に到達しており、装置は順調に稼動している。角度分解光電子検出システムもほぼ完成していて、一度に測定できる角度は±7 度で、ブリューアンゾンの 1/3 程度カバーできる。

モット検出器については、市販品では効率が低いとの判断のもと、散乱電子の取り込み角度を増やした新型モット検出器を設計製作した。試作した偏向器の透過効率がほぼ 1 に近いこと、収束性能が設計通りであること、モット検出器が稼動していることを確認している一方で、バックグラウンドノイズなどの対策を行うなど、検出効率を上げるための改良を行いつつある。

これらの装置の製作・調整と並行して、この装置を用いて、Yb および $CoSe_2$ 試料についてバルク敏感性を検証した。キセノン放電管の開発を中心とするこれらの成果は、Nature Physics 誌をはじめとする 37 件の論文、および 13 件の国内外会議の招待講演において発表された。現在、米国やドイツなど世界各地からの研究者の見学や問い合わせが相次いでおり、世界的に極めて高い評価を得つつある。また、国内の新聞7件に報道されている。

4．　中間報告結果

4－1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

本研究グループは、これまでの研究成果により、角度分解光電子分光測定、特に独自に開発した優れた装置で定評のあるグループである。研究開始時の最大の課題はキセノンプラズマ放電管の開発であった。途中かなり困難な課題もあったが、結果的にはそれらを克服して高強度、長寿命（＞1000 時間）でキセノンプラズマ放電管を実現し、十分に実用に耐える光源が完成した。そのため計画全体もスムーズに進捗し、バルク敏感光電子分光が安定して可能になった。また電子分光器に関しても当初の目標分解能を達成しており、あとは小型モット検出器の開発のみが残されているが、これに関しても順調に進んでいると評価できる。研究計画は順調に進捗していて、部分的には当初の目標・計画以上に進捗していると判断できる。

当初の研究計画においては、かなり難度が高い研究課題と考えられたキセノンプラズマ放電管に関して、当初計画では想定されていなかったほど高度な技術開発がなされ、光電子分光の分野で世界をリードするキセノン光源の開発に成功した。新たな展開があり、好ましい展開になったと判断する。

本研究で開発されたキセノンプラズマ放電管はきわめて優れた特性を持ち、高分解能電子分光器と組み合わせた高強度、長寿命キセノン光源を開発したことは科学的、技術的に大きなインパクトを与えた。このバルク敏感高分解能電子分光装置は、世界の光電子分光研究において、このプロジェクトだけで立ち上がっているきわめてユニークでポテンシャルの高い重要な装置と位置づけられる。外国からも光源について問い合わせがある

など、装置開発に関して国際的に高い評価を受けている。科学的成果に関しても、世界に先んじた高品質のデータも出ていて、注目論文を発表するなど、国際的に非常に高い評価を受けつつある。

研究実施体制については、装置開発に必要なリソースとしては研究代表者のグループと外部装置業者だけで構成しているため、研究遂行のリーダーシップを十分に発揮している。研究チームがコンパクトであり、全体に高いチームワークの下に研究が進められていると判断する。

研究費の執行状況については、装置への投資、消耗品費、人件費の配分が良く、妥当であると判断する。

4－2. 今後の研究に向けて

研究の方向性、実施体制、研究費など、今後の研究の進め方に関しては、今後、残された課題である高効率のモット検出器の開発を継続する。スピン分解モット検知器は過去に多くの人が手掛けたが、効率を上げることは困難であったので、モット検出器が動けば装置のインパクトはさらに高くなる。高効率モット検出器の開発については、放電などの特性改善についていくつかの工夫を予定していて、成功裡に研究の仕上げができると期待される。一方で、市販品の性能を大きく上回るためには根本的に新しい方式の考案も必要となると考えられる。その他の点については順調なので物性測定で成果を上げてほしい。全般的な研究推進の方向は妥当である。

今後見込まれる成果については、小型モット検出器もキセノンプラズマ光源同様にうまく稼働することにより、世界に唯一の装置として様々なハイレベル物性測定への貢献が期待できる。出てくる成果のインパクトはかなり高いものになると期待される。キセノンプラズマ放電管は光電子分光法の光源として優れた性質を持ち、他の手法では計測不可能なデータを期待できる。研究者のこれまでの実績から判断して、優れた成果が期待できる。

戦略目標に向けての貢献、および、成果の社会的なインパクトの見通しに関しては、バルク敏感光電子分光装置の開発に成功したことにより、専門分野での科学的、技術的貢献は非常に大きく、戦略目標に向けての貢献は年次計画に沿って十分果たされている。本研究で開発された装置は、本戦略目標に十分に合致するものであり、またこの開発は光電子分光研究に多くのインパクトを与えるとともに、バルクの物性研究全体にもインパクトを与えると考えられる。一方で、戦略目標を考えると、特許の提出、企業とタイアップしての完成した装置の商品化の可能性を検討することは今後の課題である。バルク敏感であることとスピン情報が取得できる特性により、将来のスピントロニクス材料、デバイスなどへの応用が期待され、社会的なインパクトが期待される。

4－3. 総合評価

本研究は、キセノンプラズマ放電管を開発して、バルク敏感の高分解能光電子分光装置を開発し、さらに、その光電子をスピン分解して計測しようとするプロジェクトである。心配された新型のキセノンプラズマ放電管の開発が順調に進み、8-10eV の範囲で非常に高強度、長寿命（1000 時間以上）の光源を実現し、表面から数 nm 領域までのバルクの測定を可能とした。超高分解能光電子分光装置については、当初の分解能の目標である 1meV を超える 900μeV を既に到達した。本研究はきわめて順調に進んでおり、バルク電子状態に関して、これまで得られた成果も非常に質の高いものであり、今後も、高いインパクトのある成果が見込まれる。今後、モット検出器の感度向上などにより一層の進展が期待できる。キセノン放電管の開発を中心とするこれらの成果は、Nature Physics 誌をはじめとする論文、国内外会議の招待講演において発表され、米国やドイツなど世界各地からの研究者の見学や問い合わせが相次いでおり、世界的に極めて高い評価を得つつある。また、国内の新聞に報道されるなど、積極的に成果の発信がおこなわれている。一方で、戦略目標の実現に向けて特許の出願、および、装置全体、または、キセノンプラズマ放電管など個別部品の商品化は今後の重要検討課題である。