

(様式 2)

議事録番号

提出 2018 年 1 月 5 日

会合議事録

研究会名：軟 X 線スピン分解 ARPES 検討会

主催：固体分光研究会

共催：顕微ナノ材料科学研究会，機能磁性材料分光研究会，

原子分解能ホログラフイー研究会，光・磁性新素材産学連携研究会

日時：2017 年 9 月 3 日（日）13:30～18:00

場所：広島大学 東千田キャンパス 東千田未来創生センター M203

出席者：(議事録記載者に下線) 順不同、敬称略

曾田一雄 (名大院工)、奥田太一 (広大放射光)、中村哲也 (JASRI)、

菅滋正 (ユーリッヒ研)、大河内拓雄 (JASRI)、木下豊彦 (JASRI)、竹田幸治 (JAEA)、

保井晃 (JASRI)、門野利治 (立命館大)、小谷佳範 (JASRI)、武田さくら (NAIST)、

Xin Liang Tan (NAIST)、今田真 (立命館大学)、木村昭夫 (広島大学)、

室隆桂之 (JASRI)、山口大 ((株)東京インスツルメンツ)、

Thorsten Kampen (SPECS)、藤森伸一 (JAEA)、角田一樹 (広島大学)、

松田旭央 (広島大学)、町田雅武 (シエンタオミクロン(株))、池本夕佳 (JASRI)

計 22 名

趣旨・議題：

SPring-8 で稼働している軟 X 線角度分解光電子分光 (ARPES) の更なる高性能化として、スピン分解測定を検討する。軟 X 線領域の ARPES は真空紫外領域の ARPES と比べて検出深さが深いため、例えばスピントロニクスデバイス内のヘテロ界面におけるスピン偏極電子状態の観測等への適用が期待できる。しかし、軟 X 線スピン分解 ARPES の実現には、マルチチャンネルスピン検出などの高度な技術開発が求められる。本検討会では、主に真空紫外領域のスピン分解 ARPES に携わる研究者から計測技術の最先端をご紹介いただくとともに、軟 X 線スピン分解 ARPES の実現に向けた開発方針や予算獲得について議論する。

議事内容：

以下のプログラムに沿って、講演・議論が行われた。

座長：今田 真（立命館大学、固体分光研究会副代表）

13:30-13:40：挨拶

曾田 一雄（名古屋大学、固体分光研究会代表）

13:40-13:55：趣旨説明と第4回 JASRI-WS（2017年2月22日）の報告

室 隆桂之（JASRI）

13:55-14:20：

VLEED スピン検出器によるバルク敏感スピン分解光電子分光の可能性

Possibility of bulk sensitive spin-resolved photoelectron spectroscopy by using VLEED spin detector

奥田 太一（広島大学）

14:20-15:10：

Toward complete 3D analyses of spin and momenta of solids up to hard X-rays with extremely high (>10⁶) sensitivity: Spin momentum microscopy by combining PEEM, double HDAs (or TOF) and a 2D Au/Ir(001) spin detector
菅 滋正^{1,2}, C. Tusche², C. M. Schneider²（¹ 大阪大学産業科学研究所、²Forschungszentrum Juelich）

15:10-15:30：休憩

15:30-16:10：Soft X-ray Spectro-Microscopy on the Nanometer Scale

Thorsten Kampen（SPECS Surface Nano Analysis GmbH）

16:10-17:20：総合討論

17:20-17:30：総括

（以下、敬称略）

主催研究会である SPRUC 固体分光研究会代表の曾田による開催挨拶につづき、室より趣旨説明、および、第4回 JASRI-WS の議論内容について報告した。2017年2月22日に行われた JASRI-WS「軟 X 線光電子分光における角度分解測定の実状とスピン分解測定への展開」では、SPring-8 の軟 X 線を用いたスピン分解角

度分解光電子分光 (Spin- and Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy: SARPEs) の実現可能性と、計画を推進すべきかどうかが議論された。その結果、実現にはマルチチャンネルスピンの検出器などの技術開発が求められるものの、早急に計画を推進すべきという結論が得られ、今回の会合につながったことを報告した。

奥田の講演では、軟 X 線 SARPEs で用いる検出器の候補の一つと期待される VLEED スピン検出器の動作原理に関する説明、および、現在進行中の開発と利用成果が示された。VLEED 検出器は現状ではシングルチャンネルであるが、マルチチャンネル化のプロジェクトを推進しているとのことであった。このプロジェクトに関連し、VLEED 型マルチチャンネル検出器の動作原理と、マルチチャンネル化に向けた電子軌道計算によるシミュレーション結果が紹介された。特に、軟 X 線領域で使用される高いパルスエネルギー (50eV) に対する計算結果が示された。まだパラメータの最適化が十分ではないとのことであったが、許容できるエネルギー分解能および波数分解能が予測されることが示された。

菅の講演では、最先鋭の軟 X 線 SARPEs として菅を主要メンバーとするドイツのグループが開発した、2 台の半球型エネルギー分析器を備えた momentum microscope (MM) と Au/Ir(001) による二次元イメージングスピンのフィルターの特徴と成果が示された。現状の ARPES およびスピン分解 ARPES は非効率的で波数範囲が限定されるという問題を開発課題として、スピンフィルターを組み合わせた MM による超高効率測定がその問題を解決することが説明された。その際、MM では 2π ステラジアンを同時に取り込めるため感度が 100 倍向上するとのことである。また、VLEED (シングルチャンネルの場合) は Mott 検出器の 100 倍の効率であるが、Au/Ir によるマルチチャンネル検出を行えばさらに 10000 倍の効率を得られるとのこと。MM で得られた結果として、2 台の半球分析器による収差フリーの ARPES によって測定されたフェルミ面や、2D スピンフィルターを用いて高効率にスピン分解したフェルミ面の結果が紹介された。また、MM を用いて広い波数空間、広いエネルギー範囲で測定したスピン偏極電子状態を

1 ステップモデルによる計算と比較して議論することの重要性が強調された。最後に、TOF 型の MM を用いたスピン分解測定についても紹介された。これは次の Kampen 氏の講演にもつながる。

Kampen の講演では、SPECS 社で既に製品化されている MM と 2D スピンフィルターに関して紹介された。まず、従来の ARPES 測定に用いられてきた光電子分析器および電子レンズに関し、取り込み角度が運動エネルギー対パスイエネギーの比に依存するなどの説明があった。また、電源の電圧に制限があるため、大きな取り込み角度の場合は運動エネルギーが制限されるとのことであった。次に、従来の光電子分析器に対して MM が持つ特徴について説明された。試料とレンズの間に高電圧を印加することにより $\pm 90^\circ$ の取込角を実現し、マイクロビームを用いずとも PEEM レンズによって微小領域を選択した測定が可能とのことである。また、従来の分析器と異なり、運動エネルギーが高くなっても波数分解能は低下しないという説明があった。また、SPECS 社では半球分析器 (× 1 台) を持つ MM と、TOF 型分析器を持つ MM を製品化しているとのこと、それらの特徴が説明された。なお、スピン検出器に関しては、既に 2D スピンフィルターも製品化されているとのことであった。

総合討論では、主に、どのタイプの分析器および検出器を選択すべきであるかという点と、資金獲得の戦略について議論された。検出器については、マルチチャンネル検出器が必須であるというのが参加者の共通した意見であった。以下、参加者から出た意見等を箇条書きにする。

- ・ TOF 型はカウントレートが非常に高い場合には不向きかもしれない。
- ・ どの様な物質 (あるいは試料形状) を測定するユーザーが想定されるか?
→ どの様な物質でも全ての偏光で、スピンも角度も分解して測定する必要がある。角度分解をし、ある方向から偏光を入れる限り、カイラリティーは必ず生ずる。
- ・ アナライザーの選び方は二者択一ではなく、まずはどこから始めるかという視点で考えてはどうか?

- ・微小な試料や、凹凸のある試料はマウントを工夫することでMMでも測定できるかもしれない。
- ・MMでもおそらくは数 μm のラフネスは許容できるだろう。
- ・Double hemispherical は日本が特許を取ったコンセプト。できれば double hemispherical が望ましい。
- ・MMはHe光源でもフルブリルアンゾーンが取れるので、企業にとっても有用である。
- ・予算が許せば半球型MMがよいのでは？TOF型の場合、SPring-8-IIのフィリングパターンを考慮する必要がある。
- ・Double hemisphericalを想定した予算獲得を計画してはどうか？
- ・予算規模は新学術領域などの大型予算相当になるため、融合領域となるようにしっかりと組織化が重要。
- ・今日の講演で示されたようなデータセット（広い波数空間、スピン分解）がないと、今後、日本は遅れをとるということを示せば、話は進みやすいだろう。
- ・説明するためのパンフレットとなるものを作らなければならない。
- ・今後もコアメンバーでの継続的な議論を進める。