

MERIT 長期海外派遣報告書

MERIT 2 期生
理学系研究科物理学専攻
松田巖研究室 博士課程 3 年 山本 真吾

1. 概要

MERIT 長期海外派遣プログラムにより、7 月 8 日から 10 月 3 日までの期間、イタリアのトリエスタにある放射光施設 ELETTRA、自由電子レーザー施設 FERMI で、ビームラインサイエンティスト藤井純博士、Claudio Masciovecchio 博士の指導のもと研究を行った。時間、スピン分解光電子分光装置の開発、FERMI での実験における要素技術の習得、放射光を用いた超薄膜 Fe/Graphene 系の角度分解光電子分光測定をした。

2. 研究内容

1) 時間、スピン分解光電子分光装置の開発

ELETTRA の APE ビームラインのオフラインにて電子の 3 次元スピン偏極を検出可能なスピン分解光電子分光装置の開発に参加した。スピン検出ではスピン軌道相互作用誘起のスピン依存の電子散乱の非対称性を利用した Mott 型検出器を 2 つ使用している(図 1)。今回私は、Visiting Professor で同時期に滞在していた Vladimir Petrov 教授に助言をいただきながら特に、この装置のエネルギー分析部分である飛行時間型検出器の部分の開発に携わった。私が所属する松田巖研究室では SPring-8 BL07LSU にて時間分解光電子分光装置を開発してきてその検出器に飛行時間型検出器を用いている。キャリアダイナミクスを追跡するための実験で所属研究室では使用しているがそのエネルギー分析器の回路部分を実際に設計、組み立てる貴重な機会が得られた。この装置は今後自由電子レーザーを用いた時間分解測定への展望を視野に入れているため今後もこのプロジェクトに継続的に携わるために連絡を取り合うことを考えている。

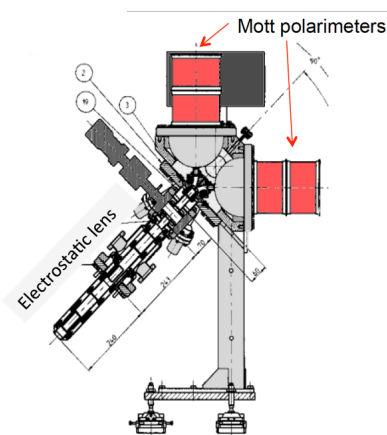


図 1 直角に配置された Mott 型検出器による 3 次元スピン検出

2) FERMI@ELETTRA での時間分解実験への参加

X 線領域のレーザーとして近年新しく登場した光源である自由電子レーザー施設は現在(2016 年 4 月)、アメリカ(LCLS)、日本(SACLA)、ドイツ(FLASH)、イタリア(FERMI、図 2)の 4 カ所のみで稼働している。このうちジッターフリーで空間のみでなく時間的コヒーレンスを有しているタイプのシード型自由電子レーザーは、イタリアの FERMI のみである。この施設は滞在当時、特に時間分解測定のための要素技術を実験によって確立しようとしていた時期であった。私は、ここで時間分解に必要な時間的、空間的なポンプ光とプローブ光の間の重ね合わせの技術を習得した。実際の実験では Si_3N_4 や GaAs を用いて FEL をポンプ光、IR レーザーをプローブ光として用いて、数十フェムト秒のオーダーで両者のパルスの遅延ゼロを決定した。また FEL 施設では取得データの量が膨大であるためデータは HPC 上に蓄積され、ユーザーがそこにアクセスして必要な情報を引き出して解析していくという文化にもここで触れることができた。これは日本の FEL においても同様のシステムであるため、汎用的なデータ集録、読み込み技術が取得できたと思う。渡航後の 2014 年 3 月に FERMI の DiProI ビームラインにて時間分解共鳴時期光学効果測定のためのビームタイムが控えていたため、本滞在で習得した技術を用いてその後に測定ソフトウェアの設計や実験装置の設計を行った。実際に帰国後改めてイタリアに行き 2014 年 3 月に FERMI で行った実験ではフェリ磁性体 GdFeCo の超高速磁化反転現象の観測に成功した[1]。



図 2 自由電子レーザー施設 FERMI の実験ホール。3 本のビームラインがあり、左から LDM、DiProI、TIMEX ビームライン。

3) ELETTRA の VUV Photoemission Beamline での角度分解光電子分光測定

ELETTRA の VUV Photoemission Beamline では超高真空下の測定準備槽において LEED を用いて構造を評価しながら成膜を行い、それを測定チャンバにトランスファして角度分解光電子分光を行うことができる(図 3)。今回の滞在ではグラフェン膜上に Fe を 0.05 原子層から 1 原子層まで極微量蒸着し、その系に対して角度分解光電子分光測定を行った。本研究は、表面磁性原子の時間分解測定の予備実験としてまずは定常状態がどのようなものかを理解する意図を持って行った。グラフェンのディラックコーンを確認しつつ、Fe の遍歴的なバンドがわずかに見え始める状況を観測し、その膜厚では両者のバンドはお互い変化せず、相互作用が小さいことが示唆された。Fe 膜厚をこれよりわずかに増やすとフェルミ近傍で Fe の遍歴的なバンドが非常に強く出て、グラフェンのバンド構造が見えなくなることを確認した。今後は両者のバンドがお互い見える状況下で Fe が実際にどのようにグラフェン上に存在しているのかということ STM など調べる必要があると感じた。

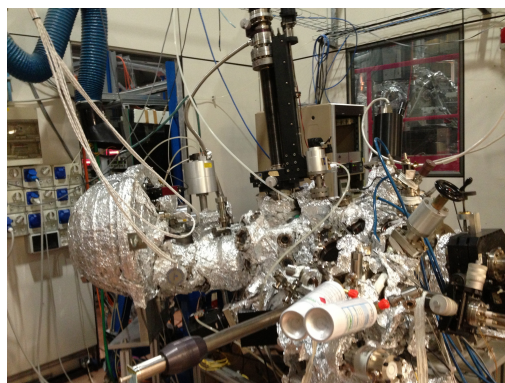


図 3 VUV photoemission ビームラインのエンドステーションで角度分解光電子分光装置

3. 派遣先での生活

平日は他のヨーロッパ圏のライフスタイルと同様に朝は早く夕方には帰るといったメリハリのある生活をしてきた。研究現場におけるディスカッションの熱量や楽しむ姿勢などには学ぶことが多かった。また休日の過ごし方もこちらならではの生活を満喫できたと感じる。トリエステは、イタリア北東部にある都市でアドリア海に面している。夏には地中海性気候で比較的温度は高くても、湿度が低い関係で快適かと始めは思われたが、こちらのアパートには一般的に冷房設備が付いていなかったため休日などに暑く感じられる時が多かった。そんな時はトリエステの中央駅からバスで 15 分ほどの海岸へ行き、研究所の同僚や現地でつながりを持った友人と海で泳いで暑さをしのいでリラックスしていた。また市内にあるジェラテリアのジェラートも美味しく、こちらではそれが夕飯後のシメとしても扱われていたので私もそれにならって様々なジェラテリアのジェラートを食した。さらにトリエステの街には音楽大学もあり、ドラム演奏が趣味だったためその大学生とジャズのセッションも楽しんだ。日本での生活でも研究においてメリハリのある生活を心がけたいと感じた。



図 4 同僚との写真

4. 謝辞

この度、研究面における多大なサポートをしてくださった APE ビームラインの藤井純博士、Giancarlo Panaccione 博士、FERMI の TIMEX ビームラインの Claudio Masciovecchio 博士、Maya Kiskinova 博士に深く感謝の意を表します。また生活面においてお世話いただいた藤井香織様にも感謝いたします。最後に渡航を認めていただいた MERIT プログラム及び関係者の皆様、副指導教員の 高木英典教授、二国間交流事業の一環で私を派遣してくださった指導教員の 松田巖准教授に、実りある経験の機会を与えていただいたことに対してこの場を借りて感謝いたします。

5. 参考文献

[1] Sh. Yamamoto *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **86**, 083901 (2015)