

3 佐賀大学ナノスケール表面界面ダイナミクスビームライン (BL13)

鎌田雅夫、高橋和敏、東純平、杉山陽榮、小川浩二

佐賀大学シンクロtron光応用研究センター

佐賀大学ナノスケール表面界面ダイナミクスビームラインは、県有ビームラインが共用の産業利用を目的に掲げているのに対して、教育研究と最先端の科学技術開発・学術研究を目指した専用利用である。2002 年度の文部科学省の補正予算を頂戴して、2003 年度末に実験ホールの分析ゾーン内の BL13 に設置され、2006 年の開業とともに利用が開始された。本ビームラインは世界的な最先端の不等刻線間隔平面回折格子型分光器を利用する VLS 実験ステーションと平面回折格子型分光器を利用する PGM 実験ステーションから構成されており、2006 年は主に後者での利用が先行して行われた。

図 1 は、PGM 実験ステーションの写真と光学配置を示したものである。偏向電磁石からのシンクロtron光を、トロイダル鏡、平面鏡、平面鏡を経て平面回折格子に導き、分光した光を円筒鏡で集光した後、スリット、平面鏡、トロイダル鏡を経て、エンドステーションに在る光電子分析槽に導いている。

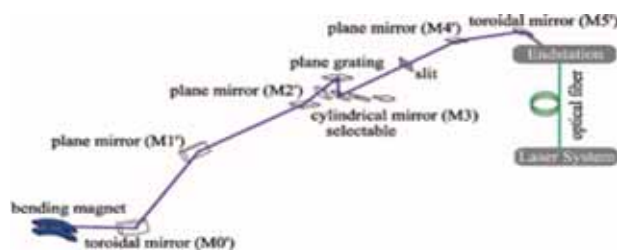
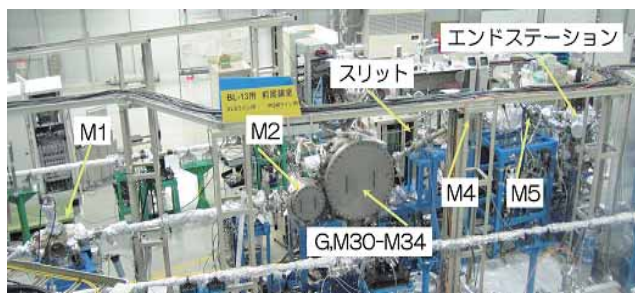


図1 PGMステーションの写真(上)と光学配置(下)

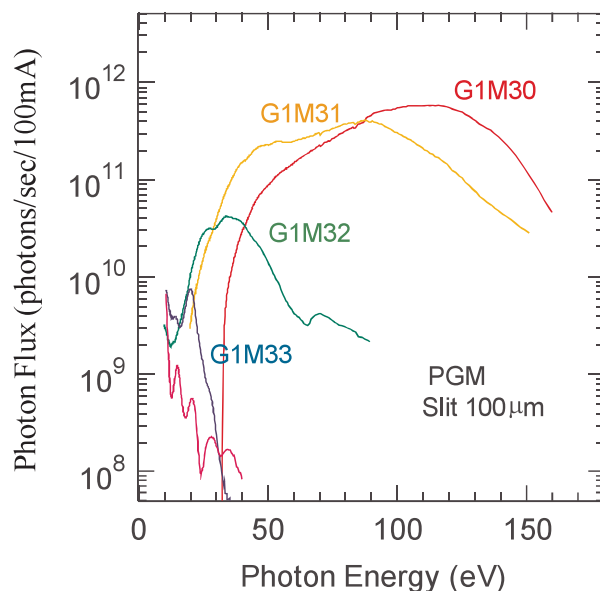


図2 試料位置での光束スペクトル

図 2 には、試料位置で電子収量法で測定した光束スペクトルが示されており、2・150eV のエネルギー範囲での利用が可能である。この実験ステーションでは、通常の光電子分光測定が可能であり、試料交換を容易にするためのロードロック室と表面処理を行うための試料準備槽が付随している(図3 参照)。

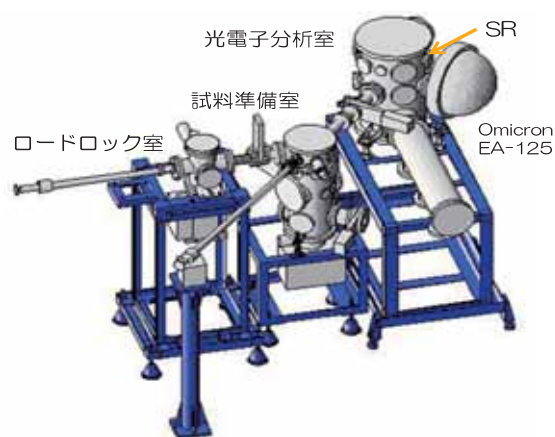


図3 分析槽、準備槽とロードロック室の模式図

この試料準備槽や光電子分析槽には、イオンスパッター装置やオージェ装置、ガス導入装置や蒸着源などが標準装備されており、またLEED装置も用意されているので、表面処理や表面確認を行うとともに、極端紫外光領域の光励起による価電子光電子の脱出深度が少ないことを利用したナノ表面の分析や運動エネルギーの小さい領域でのパルク敏感光電子分析などが可能である。

この実験ステーションには、レーザー光が導入可能であり、シンクロトロン光とレーザーを組み合わせた光機能材料の光電子分析実験も行うことができるという特徴を有している。

図4は、この組み合わせ実験による光誘起現象を調べる原理図を示したものである。可視のレーザー光で励起された電子状態の変化によって、物質の状態が変化したり、相転移を起こしたりする。この電子遷移に誘起された物質の変化は、電荷移動あるいは電子状態の変化を引き起こし、それが電子に対するポテンシャルの変化として、シンクロトロン光を用いた光電子分析において観測される。

このような実験が可能なシンクロトロン光ビーム

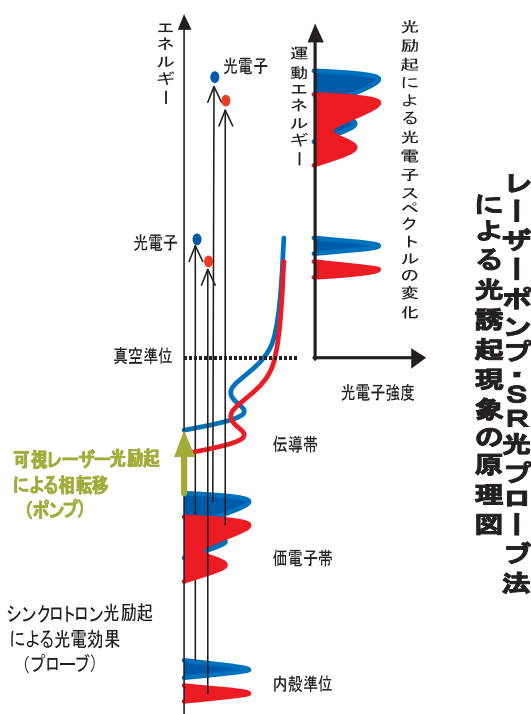


図4 シンクロトロン光とレーザーの組み合わせ実験による光誘起現象測定の原理

ラインは世界的にも数少ない。佐賀大学のグループはこのような新しい分析法の開発を長年行っており、^{1, 2)} 佐賀大学ビームラインでも、この特徴ある組み合わせ実験に向けた整備を行ってきた。2006年に九州シンクロトロン光センターの開所セレモニーが開かれる直前には、まだ蓄積電流が少ない中で、組み合わせ実験の可能性を確認するための実験をおこなった。

図5は、GaAs 半導体における光誘起起電力効果を測定した結果を示している。励起光のエネルギーは80 eVであり、横軸は運動エネルギーで、3d 内殻光電子スペクトルである。色の違いは、レーザー光による光励起の有無を示しており、レーザー光によってGaAsの表面におけるポテンシャルが変化していることを示している。この実験結果は、太陽電池の基となる光起電力効果が半導体のナノ表面でも生じていることを如実に観測できるという点で興味深い。

佐賀大学では、2005・2007年の3年間、この特徴あるビームラインならびに大学での試料作成装置を活かして、文部科学省特別教育研究経費による連携融合事業「シンクロトロン光を利用した佐賀県等との一体化による先導的工学的基盤研究」を推進した。また、文部科学省科学研究費補助金基盤研究として、2005・2007年の3年間、「軟X線とレーザーの組み合わせによる新しい励起状態分析法の開発」などの研究を行った。

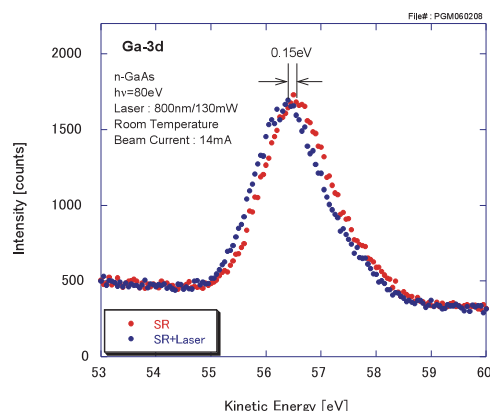


図5 レーザー励起によるGaAsのGa 3d 光電子の運動エネルギー変化

2007年は、PGMステーションでの利用研究を進めるとともにアンジュレーターの導入を行った。BL13 は本来、アンジュレーターからの高輝度光を利用するビームラインとして設計されていたので、挿入光源の設置が当初よりの強い希望で有った。佐賀シンクロトロン光源では電子エネルギーが1.4GeV であることから、アンジュレーター光のエネルギー範囲は、真空紫外線から軟X線領域となり、軽元素の内殻励起に最適の光が得られると期待される。アンジュレーターは分子科学研究所UVSOR施設から頂戴した平面型アンジュレーターであり、周期長84mm、周期数24である。図6は、期待されるアンジュレーター光の光束と輝度を表したものである。偏向電磁石からのシンクロトロン光に比べて、2桁以上も強力な光となる。

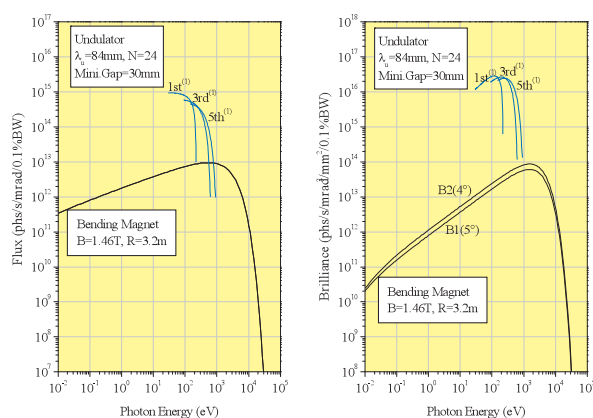


図6 期待されるアンジュレーター光の光束と輝度スペクトル

また、図7には、スリット $10\mu\text{m}$ 時に期待される分解能と光量の計算値である。図8は、アンジュレーターの真空ダクトならびにアンジュレーター架台と本体磁石の設置作業の様子を示した。まだ光源が立ちあがって間もない時期にアンジュレーターの設置のお願いをした訳であり、関係各位にはご苦勞とご迷惑をおかけしたが、九州シンクロトロン光施設にとって初めての挿入光源がシンクロトロンの直線部に収まった。

図9は、アンジュレーター光を不等刻線間隔平面回折格子型分光器 (VLS) に通した後の試料位置での光量を実測したものである。計算が300mAの電流値でされていることを考慮すると、ほぼ鏡の反射ロスによる違いと思われる。なお、おおむね90-800 eVの光が得られている。



図8 アンジュレーター導入時の作業

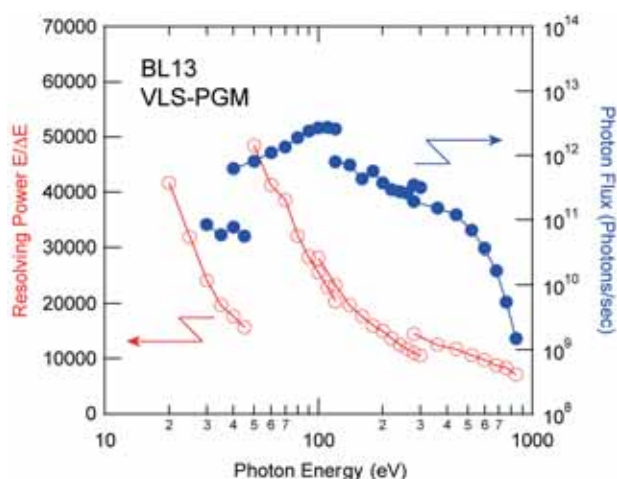


図7 アンジュレーター光利用で期待される分解能と光量

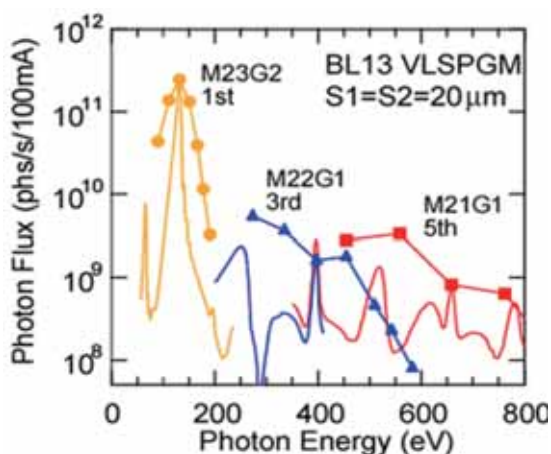


図9 アンジュレーター光のVLS分光器を通した後の試料位置での光量 (実験値)



図 10 BL13 の全体写真。手前がレーザーブースで、
上流（写真の左上）がVLS分光器



図 11 高分解能光電子分析装置

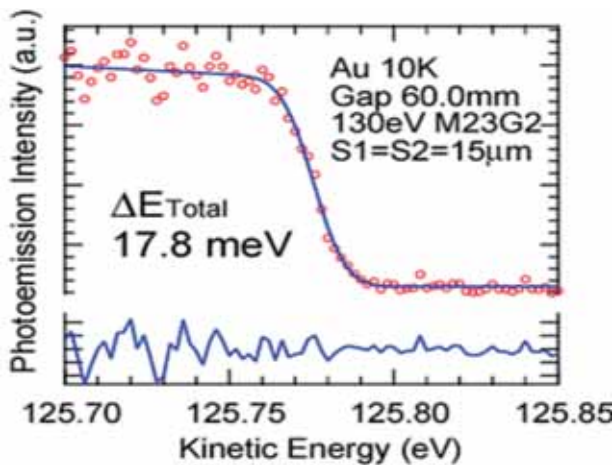


図 12 金の光電子スペクトルからの分解能の
チェック

図 10 と図 11 は、BL13 の全体と、高分解能角度および時間分解光電子分析装置の写真である。また、図 12 に、金試料のフェルミ端を光電子測定

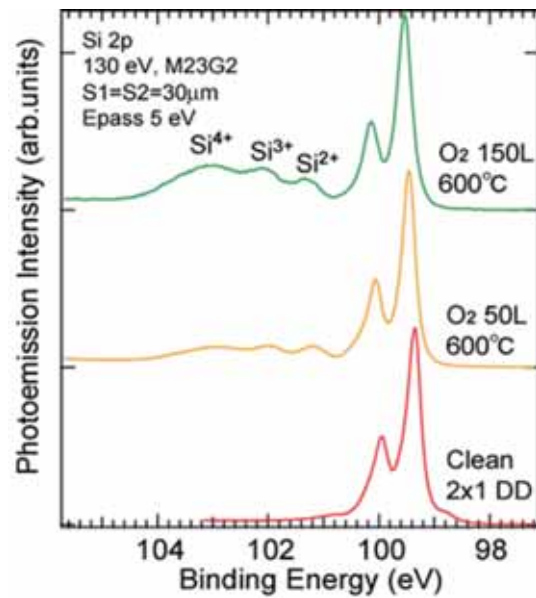


図 13 シリコンの清浄表面、酸化表面の光電子
スペクトル

した結果を示している。測定した分解能が 17.8meV であるが、光電子分光装置の分解能としての装置関数分を差し引くと、分光した光のバンド幅は、15.2 meV と見積もられ、130 eV での分解能は 8670 である。これは、計算値の 8790 にほぼ等しく、調整がうまくいっていることを示している。紙面の都合で、清浄ならびに酸化したシリコン表面の光電子スペクトルのみを図 13 に示したが、その他の研究成果については、佐賀大学シンクロトロン光応用研究センターの Activity Report を参照頂きたい。³⁾

最後に、PGM分光器やアンジュレーターについてご厚意を頂いたUVSOR施設ならびにアンジュレーター導入にご協力頂いたKEK-PFの山本樹先生と SPring-8 の大熊春夫先生はじめ、関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 鎌田、極限状態を見る放射光アナリシス（尾嶋編、日本分光学会、測定法シリーズ 40, pp.49-58, (2002).
- 2) 鎌田、光物性の基礎と応用（光物性研究会編、オプトロニクス社 pp.171-182, (2006).
- 3) Activity Report 2005-2007, Synchrotron Light Application Center, Saga University (2008).