

光電子分光を用いたBiAg表面の電子状態研究

今村真幸、遠藤修平、畝岡慶、高橋和敏、山本勇、東純平、鎌田雅夫
佐賀大学シンクロトン光応用研究センター

非磁性の固体表面において、スピン軌道相互作用と空間反転対称性の破れによりエネルギーバンドが波数空間においてスピン分裂するラシュバ効果は、次世代スピントロニクスへの応用が期待されており、現在盛んに研究が行われている。中でもAg薄膜上に作製したBiAg表面では他の系と比較して非常に大きなスピン軌道分裂が報告されている。ラシュバ効果について、角度分解光電子分光およびスピン分解光電子分光を用いてその占有電子状態が精力的に調べられている一方で[1-3]、電荷輸送現象や電気伝導などに大きく寄与するであろう非占有電子状態について実験的に明らかにした例は非常に少ないのが現状である。そこで本研究ではBiAg表面に対し、放射光とパルスレーザーを励起光源として組み合わせた光電子分光測定を行うことにより、フェルミレベルより上の非占有領域におけるエネルギー分散についてエネルギー分解、波数分解して明らかにすることを目的とした。

実験は全て佐賀県立九州シンクロトンセンターに設置してある佐賀大学ビームラインBL13において行った。測定対象として用いたBiAg表面は、Si(111)7x7再構成表面上に作成した膜厚15MLのAg薄膜に対し、Biを0.33ML蒸着して作成した。放射光励起による角度分解光電子分光測定は励起光のエネルギーを21eVとして行った。また、角度分解2光子光電子分光測定は超短パルスレーザーの励起エネルギーを3.9から4.3eVの範囲で変化させながら行った。測定は全て35Kにて行った。

放射光を励起光とした角度分解1光子光電子スペクトルにおいて、下地として用いたAg薄膜の量子井戸状態に加え、ラシュバ効果によりスピン分裂した sp_z 軌道および p_x, p_y 軌道に由来する表面状態を観測した。励起エネルギーを変化させながら測定を行った角度分解2光子光電子スペクトルにおいて、励起エネルギーに依存したスペクトル構造を観測した。これらの2光子光電子スペクトルについて、2光子光電子放出のエネルギー保存則を考慮した詳細な解析を行った、その結果、放射光励起において観測された占有電子状態に加えて、フェルミレベル直上の非占有領域に存在する複数のバンド分散を観測した。Ag薄膜における2光子光電子分光測定の結果および過去に報告されているBiAg表面の理論計算との比較から[3]、今回観測した非占有バンドは鏡像ポテンシャル状態およびラシュバ分裂した p_z 軌道に由来する電子状態であることがわかった。

参考文献

- [1] K. He, T. Hirahara, T. Okuda, S. Hasegawa, A. Kakizaki, and I. Matsuda, Phys. Rev. Lett. 101, 107604 (2008).
- [2] G. Bian, L. Zhang, Y. Liu, T. Miller, and T. C. Chiang, Phys. Rev. Lett. 108, 186403 (2012).
- [3] G. Bihlmayer, S. Blügel, and E. V. Chulkov Phys. Rev. B 75, 195414 (2007).

光電子分光を用いた BiAg表面の電子状態研究

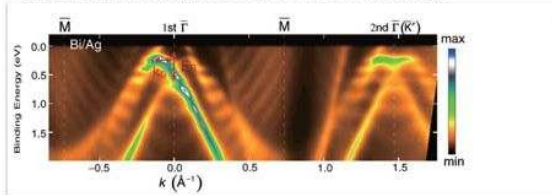
今村真幸、遠藤修平、高橋和敏、山本勇、東純平、鎌田雅夫
佐賀大学シンクロトン光応用研究センター



背景

ラッシュバ効果

非磁性の固体表面の2次元電子ガス系においてスピン軌道相互作用と空間反転対称性の破れによるエネルギーバンドが波数空間においてスピン分裂
→磁性を用いないスピン制御による次世代スピントロニクスへの応用の期待



G. Binn et al., Phys. Rev. Lett. 108, 156403 (2012).

伝導特性や光学特性、電子輸送現象などの基礎的な物性に大きく寄与する非占有電子状態について実験的な報告例がほとんどない

研究目的

Ag(111) 薄膜上に BiAg 表面合金を作成し、シンクロトン光励起による角度分解1光子光電子分光法および角度分解2光子光電子分光法により、フェルミレベル近傍の非占有領域におけるエネルギー分散について明らかにする

実験

- BiAg表面の作成

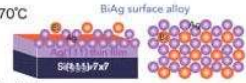
Si(111)-7x7再構成表面上に作成したAg薄膜上に0.33MLのBiを蒸着することで最表面にBiAg表面合金を作成

-Si(111)-7x7再構成表面: Si(111) (p-type, <math><0.05\Omega</math>)を1200°Cでフラッシング

-Agを蒸着することでAg(111)量子薄膜を作成

蒸着量9, 15, 19ML (3.5ML/min), 基板温度 -70°C

-得られたAg(111)量子薄膜上にBiを0.33ML蒸着



- 放射光励起による角度分解1光子光電子分光

-励起エネルギー: $h\nu=8.5\text{eV}$ (Ag film), 21eV (BiAg/Ag)

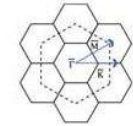
-測定温度: 35K

- レーザー励起による角度分解2光子光電子分光

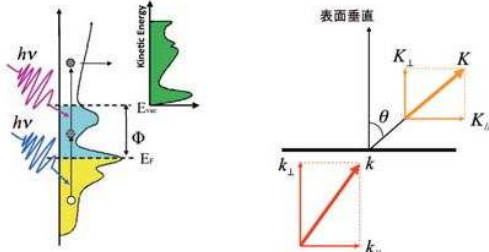
-励起エネルギー: $h\nu=3.9 - 4.3\text{eV}$

-繰り返し周波数: 80 MHz, レーザー強度: $\sim 0.15\text{ nJ}$

-測定温度: 35K

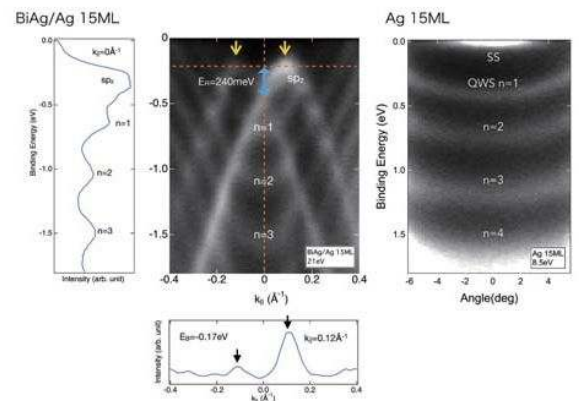


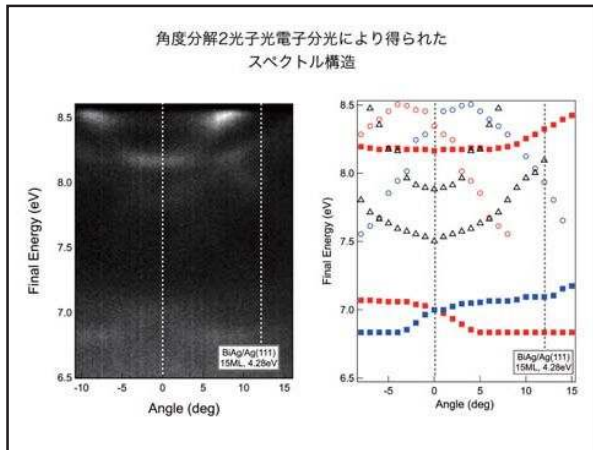
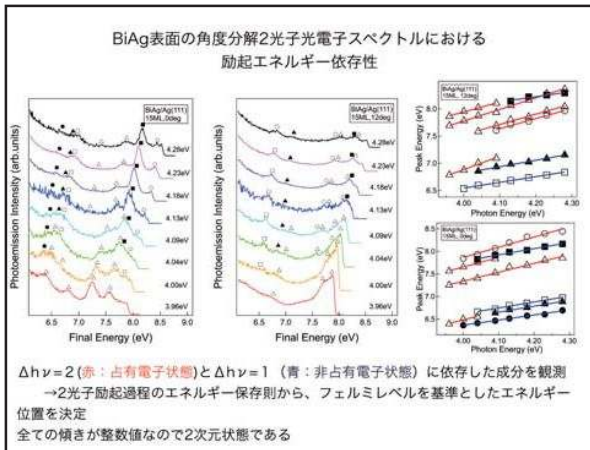
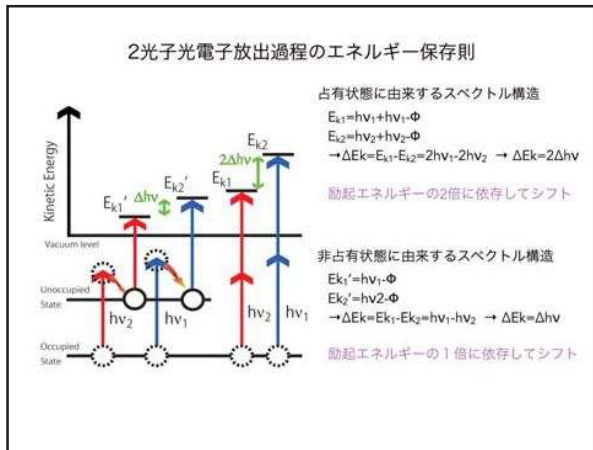
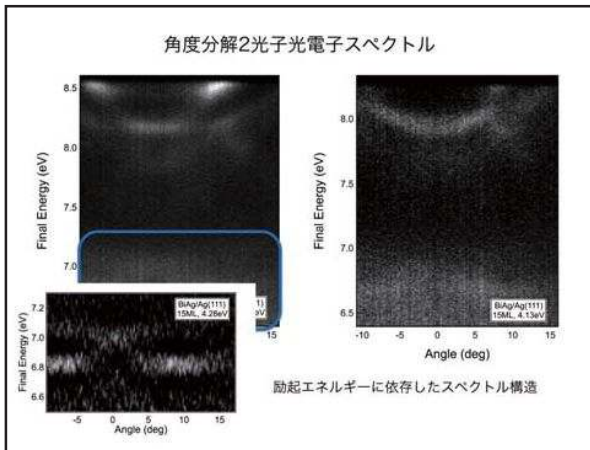
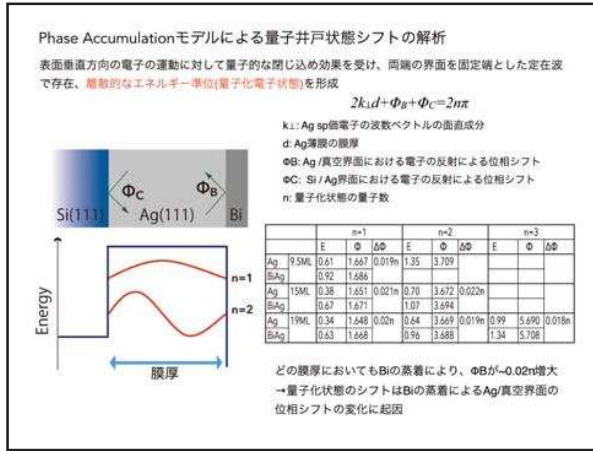
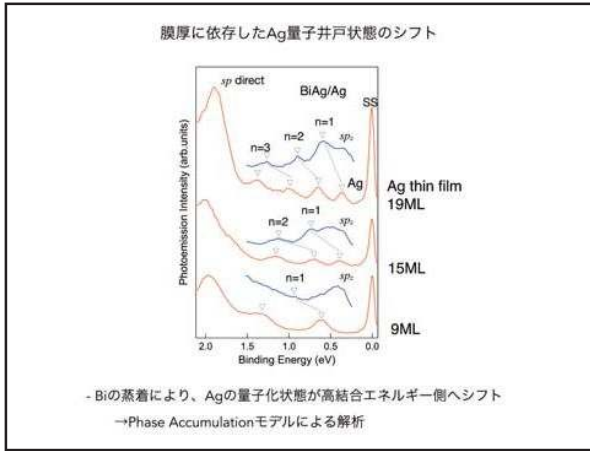
角度分解2光子光電子分光法



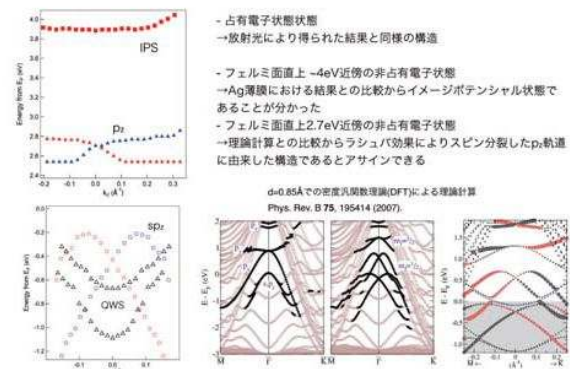
固体表面における非占有電子状態についてエネルギー分散・波数分散して測定可能

放射光励起による角度分解1光子光電子スペクトル





BiAg表面の非占有電子状態



まとめ

膜厚15MLのAg(111)量子薄膜上に作成したBiAg表面合金について、放射光および超短パルスレーザーの第3高調波を励起光源とした、角度分解1光子、2光子光電子分光測定を行った

- 放射光励起による光電子スペクトル
 - ラッシュバ分裂した sp_z 電子状態、 $pxpy$ 状態を確認
 - 良く配列したBiAg/3x/3 R30° BiAg表面合金
- 角度分解2光子光電子スペクトル
 - 励起エネルギーに依存したスペクトル構造
 - エネルギー依存性から非占有電子状態のバンド分散を観測
 - スピントラッキング分裂した p_z 軌道とIPSであることが分かった