

# 光電子分光を用いたBiAg表面の電子状態研究

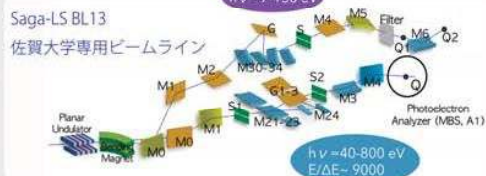
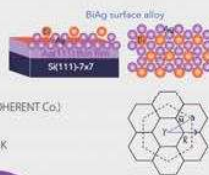
佐賀大シンクロトン  
今村真幸, 遠藤修平, 高橋和敏, 山本勇, 東純平, 鎌田雅夫

## Introduction

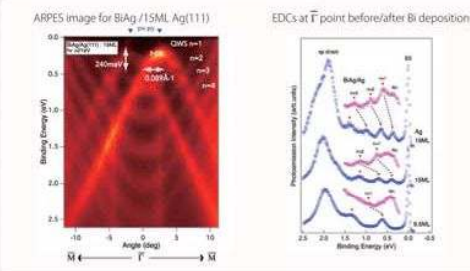
ラッシュバ効果  
: 非磁性の固体表面の2次元電子ガス系においてスピン軌道相互作用と空間反転対称性の破れによりエネルギーバンドが逆空間においてスピン分裂する(例えばAu(111), Pb/Cu(111), Bi(111)系の表面状態など)  
電子輸送現象などの基礎的な物性に大きく寄与するであろう非占有電子状態についてはほとんど報告がない  
そこで、本研究においてはAg(111)量子薄層上にBiAg表面合金を作成し、シンクロトン光励起による光電子分光法および角度分解2光子光電子分光法を用いて、フェルミレベル近傍におけるエネルギー分散について明らかにする

## Experiments

- BiAg/Ag(111)の作成  
- 放射光励起による角度分解光電子分光  
励起エネルギー:  $h\nu = 8.5\text{eV}$  (Ag film),  $21\text{eV}$  (BiAg/Ag)  
測定温度:  $35\text{K}$   
- 角度分解2光子光電子分光  
励起光源: エネルギー可変型 Ti:sapphire レーザ (Chameleon, COHERENT Co.)  
励起エネルギー:  $h\nu = 3.9 - 4.3\text{eV}$   
繰り返し周波数:  $80\text{MHz}$ , レーザー強度:  $\sim 0.15\text{ nJ}$ , 測定温度:  $35\text{K}$



## ARPES for BiAg/Ag excited with Synchrotron Radiation



- 過去の報告と同様のラッシュバ分裂した電子構造とAgによる量子化電子状態を観測  
→ 良く配列した  $\text{BiAg}\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{R}30^\circ$  BiAg表面合金が作成できたことを確認  
- Biの蒸着により、Agの量子化状態が高結合エネルギー側へシフト  
→ Phase Accumulationモデルによる解析を行った

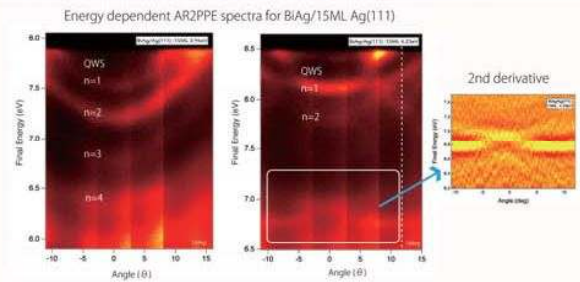
- 量子化条件  $2k_x d + \Phi_B + \Phi_C = 2n\pi$

$k_x$ : Ag sp 係電子の波数ベクトルの面内成分  
 $d$ : Ag 薄膜の膜厚  
 $\Phi_B$ : Ag / 真空界面における電子の反射による位相シフト  
 $\Phi_C$ : Si / Ag 界面における電子の反射による位相シフト  
 $n$ : 量子化状態の量子数

	n=1			n=2			n=3		
	E	$\Phi$	$\Delta\Phi$	E	$\Phi$	$\Delta\Phi$	E	$\Phi$	$\Delta\Phi$
Ag	9.50L	0.61	1.667	0.019n	1.35	3.709			
BiAg		0.72	1.686						
Ag	15ML	0.38	1.651	0.021n	0.70	3.677	0.022n		
BiAg		0.67	1.671		1.07	3.694			
Ag	19ML	0.34	1.648	0.024n	0.64	3.649	0.019n	0.90	3.690
BiAg		0.63	1.668		0.94	3.688		1.34	5.708

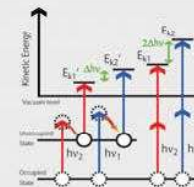
どの膜厚においてもBiの蒸着により、 $\Phi_B$ が $\sim 0.02\pi$ 増大  
→ 量子化状態のシフトはBiの蒸着によりAg/真空界面の位相シフトの変化に起因

## Angle-resolved Two-photon photoemission



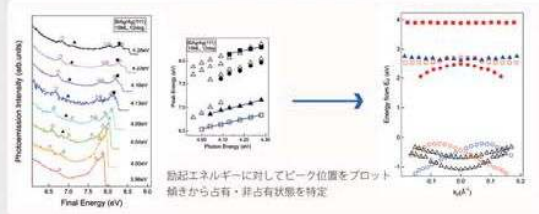
- 励起エネルギーに依存したスペクトル構造を確認  
→ 2光子励起過程のエネルギー保存則から、フェルミレベルを基準としたエネルギー位置を決定

## Two-photon photoexcitation process

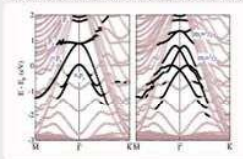


占有状態に由来する構造  
 $E_{k1} = h\nu_1 + h\nu_2 - \Phi$   
 $E_{k2} = h\nu_1 + h\nu_2 - \Phi$   
 $\Delta E_k = E_{k1} - E_{k2} = 2h\nu_1 - 2h\nu_2 \rightarrow \Delta E_k = 2\Delta h\nu$   
励起エネルギーの2倍に依存してシフト  
非占有状態に由来する構造  
 $E_{k1}' = h\nu_1 - \Phi$   
 $E_{k2}' = h\nu_2 - \Phi$   
 $\Delta E_k = E_{k1}' - E_{k2}' = h\nu_1 - h\nu_2 \rightarrow \Delta E_k = \Delta h\nu$   
励起エネルギーの1倍に依存してシフト

## Excitation energy dependence of AR2PPE spectra



第一原理計算によるBiAgの電子状態  
G. Bihlmayer et al., Phys. Rev. B 75, 195414 (2007).



- 放射光により得られた占有状態と同様の構造を観測  
- フェルミ面直上2~3eV近傍の非占有電子状態を観測  
→ 理論計算との比較から  $m_j = 3/2$ , pz軌道に由来した成分と推測される  
- フェルミ面直上~4eV近傍の非占有電子状態

## Conclusion

膜厚15MLのAg(111)量子薄層上に作成したBiAg表面合金について、放射光励起による光電子分光測定および超短パルスレーザーの第3高調波を励起光とした角度分解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spz電子状態、pxpy状態を確認  
→ 良く配列した  $\text{BiAg}\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{R}30^\circ$  BiAg表面合金が作成できたことを確認

### レーザー励起による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を観測  
→ 非占有電子状態のバンド分散について知見を得た