

# ホイスラー型"ハーフメタル"強磁性体の硬 X 線光電子分光 Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy of the Heusler-type "Half-metallic" Ferromagnets

坂本和昭<sup>a</sup>、木村昭夫<sup>a</sup>、宮本幸治<sup>a</sup>、崔 芸涛<sup>a</sup>、谷口雅樹<sup>a</sup>、島田賢也<sup>b</sup>、生天目博文<sup>b</sup>、  
藤森伸一<sup>c</sup>、竹田幸治<sup>c</sup>、斉藤祐児<sup>c</sup>、池永英司<sup>d</sup>、小林啓介<sup>d</sup>、鹿又 武<sup>e</sup>  
K. Sakamoto<sup>a</sup>, A. Kimura<sup>a</sup>, K. Miyamoto<sup>a</sup>, Y.-T. Cui<sup>a</sup>, M. Taniguchi<sup>a</sup>, K. Shimada<sup>b</sup>, H. Namatame<sup>b</sup>,  
S.-i. Fujimori<sup>c</sup>, Y. Takeda<sup>c</sup>, Y. Saitoh<sup>c</sup>, E. Ikenaga<sup>d</sup>, K. Kobayashi<sup>d</sup>, T. Kanomata<sup>e</sup>

<sup>a</sup> 広島大院理、<sup>b</sup> 広島大放射光、<sup>c</sup> 原研機構放射光、<sup>d</sup> JASRI/SPring-8、<sup>e</sup> 東北学院大工

<sup>a</sup> Grad. Sch. Sci., Hiroshima Univ., <sup>b</sup> HSRC, Hiroshima Univ., <sup>c</sup> JAEA/SPring-8, <sup>d</sup> JASRI/SPring-8,  
<sup>e</sup> Fac. Eng., Tohoku Gakuin Univ.

高い磁気抵抗比を示すトンネル磁気抵抗素子の強磁性材料として期待を集めているハーフホイスラー型強磁性合金のバルク電子構造を解明することを目的として、入射光エネルギー8keVの硬X線光電子分光をBL47XUで行った。特に今回はハーフメタル電子構造を持つと期待されるNiMnSbに着目した。実験の結果、NiMnSbの価電子帯の光電子スペクトルは、バンド構造計算結果と良く対応していることが分かった。

We have tried to measure the photoemission spectrum excited by the Hard X-ray synchrotron radiation (8keV) at BL47XU of the Heusler-type ferromagnets, which are expected as a key material showing a huge magneto resistance ratio in magnetic tunneling junction (MTJ). The present study is mainly focused on NiMnSb, which has been predicted to show as "half-metallicity". The obtained result of valence band photoemission is in agreement with the calculated electronic band structures.

## 背景と研究目的

C1<sub>b</sub>構造を持つXMnSb (X=Ni, Pt)はキュリー温度 ( $T_C$ ) が 730K の強磁性体である。磁化から見積もられた、単位胞あたりの磁気モーメントは  $4\mu_B$  である。de Grootらによってハーフメタル強磁性体であることが予言された。ここで、ハーフメタル強磁性体とは、Fig.1 に示すように、多数スピン電子は金属的

なバンド構造を持ち、一方、少数スピンは半導体的な電子構造を示すものを指す。ハーフメタル強磁性体はフェルミレベルで 100% のスピン偏極度を示すことから、高い磁気抵抗比を持つ TMR 素子などへの応用が期待され、絶縁層と強磁性層の磁気トンネル接合素子 (MTJ 素子) 作成が盛んに試みられてきた[1]。しかし NiMnSb を用いて作成された MTJ 素子

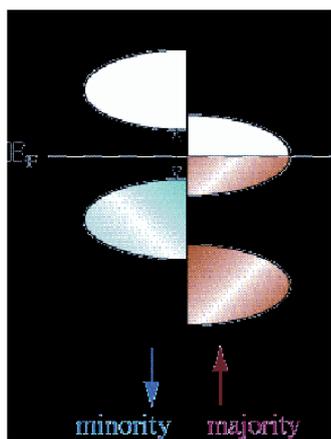


Fig.1 Schematic figure of electronic structure for “half-metallic” ferromagnet.

が予想されるような大きな磁気抵抗比を示したという報告はこれまでに無い[2]。このような小さな磁気抵抗比は接合界面あるいは結晶中の原子の不規則性に起因するという指摘もある。このような不規則性などによる電子構造への影響や、規則相を保っているとしても実際の電子構造がバンド構造計算結果と一致しているのかどうかを調べることは非常に重要であると考えられる。電子構造を直接的に観測できる有力な手法として光電子分光法があげられる。これまでに真空紫外光を用いた光電子分光の報告はあるが、どれも表面敏感性が非常に高いものばかりである[3]。我々は、バルクの電子構造を得ることを目的として硬 X 線領域の放射光で励起した光電子分光実験を行った。

## 実験

実験は SPring-8 BL47XU で行った。入射光エネルギーは 8keV に設定した。光電子分光スペクトルは Gammadata-Scienta 社の R4000 型半球アナライザーを用い、全エネルギー分解能を 270meV 以下に設定した。測定は 17K で行った。

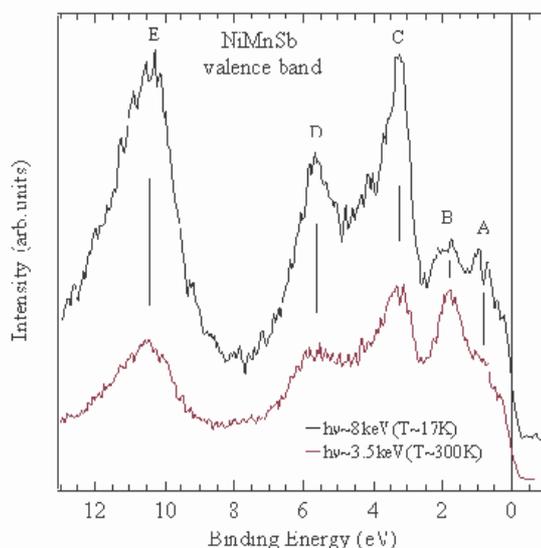


Fig.2 Valence band photoemission spectra of NiMnSb for  $h\nu=8\text{keV}$  and  $3.5\text{keV}$ .

## 結果および考察

Fig.2 には、入射光エネルギー 8keV で励起した価電子帯スペクトルを示す。比較のために 3.5keV (BL22XU) で励起したスペクトルも下に示している。フェルミレベルから順番に A( $E_B=1\text{eV}$ ), B(1.8eV), C(3.3eV), D(5.5eV), E(10.5eV)にピーク構造が観測された。ここには示していないが軟 X 線領域の放射光 (約 500eV) で励起したスペクトルでは B の構造のみ顕著なピーク構造を示すことがわかっている。いま、3.5keV と 8keV 励起のスペクトルを比較すると、3.5keV の場合に比べ、8keV で励起した場合の方が、高束縛エネルギー側に位置する C, D および E の構造が B の構造に比べ、強度が増大している様子がわかる。入射光エネルギーが 500eV の場合、原子軌道の光イオン化断面積の比は  $\text{Ni}3d/\text{Sb}5p=7$ ,  $\text{Mn}3d/\text{Sb}5p=4$  と、 $\text{Sb}5p$  軌道に比べ、 $\text{Ni}3d$  および  $\text{Mn}3d$  軌道の断面積が優勢である。一方、 $h\nu=8\text{keV}$  の場合は、 $\text{Ni}3d/\text{Sb}5p=0.07$ ,  $\text{Mn}3d/\text{Sb}5p=0.04$  と  $\text{Sb}5p$  軌道のイオン化断面積が優勢になる。以上を考慮すると B の構造

は主に  $Ni3d$  や  $Mn3d$  成分を反映し、C, D の構造は  $Sb5p$  軌道に由来する構造であることが容易に理解できる。別に行った  $Mn2p \rightarrow 3d$  内殻励起領域の共鳴光電子分光実験から B および C の構造に  $Mn3d$  成分が含まれることが分かっている。このような価電子帯光電子スペクトルの結果は、バンド構造計算結果を良く再現する。

### 参考文献

- 1) R. A. de Groot et al., Phys. Rev. Lett. **50** (1983) 2024.
- 2) C. T. Tanaka et al., J. Appl. Phys. **81** (1997) 5515.
- 3) J. S. Kang et al., J. Phys.: Condens. Matter. **7** (1995) 3789.