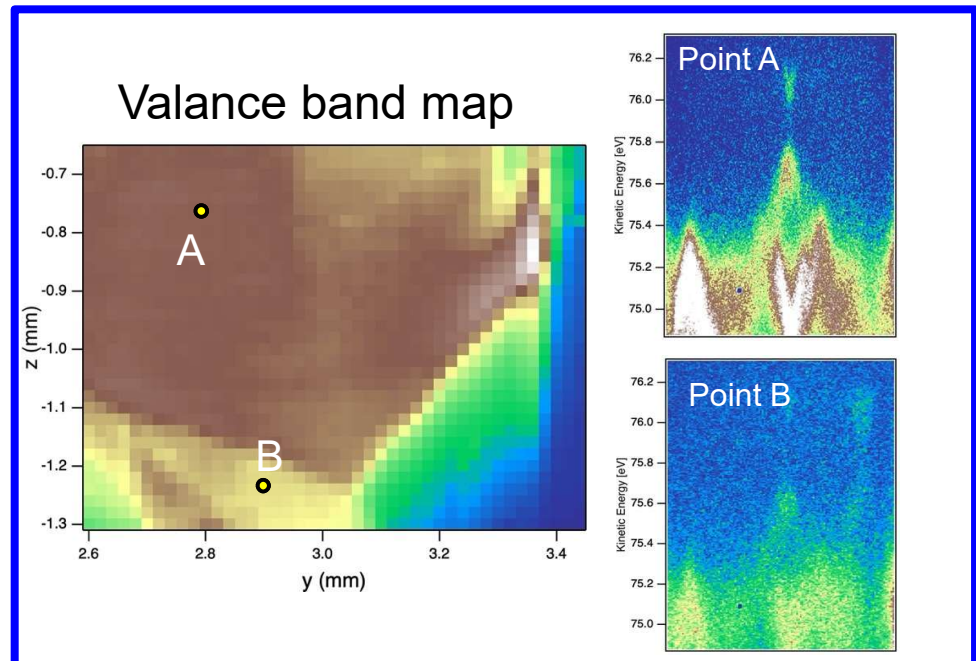


研究プロジェクト名: 希薄磁性半導体・トポロジカル絶縁体薄膜における基盤電子構造の評価

概要: 高品質の薄膜作製と、スピン分解光電子分光による電子状態の精密評価により、希薄磁性半導体および強磁性トポロジカル絶縁体薄膜について強磁性機構に関わる電子構造を明らかにするとともに、強磁性秩序の導入によるディラックコーン電子状態の変化を解明し、ディラックギャップの形成機構を解明する。

コアメンバー: 相馬清吾、高橋 隆、松倉文礼、Tomasz Dietl、佐藤宇史、金井 駿(東北大)、Ashish Chainani (台湾、NSRCC)

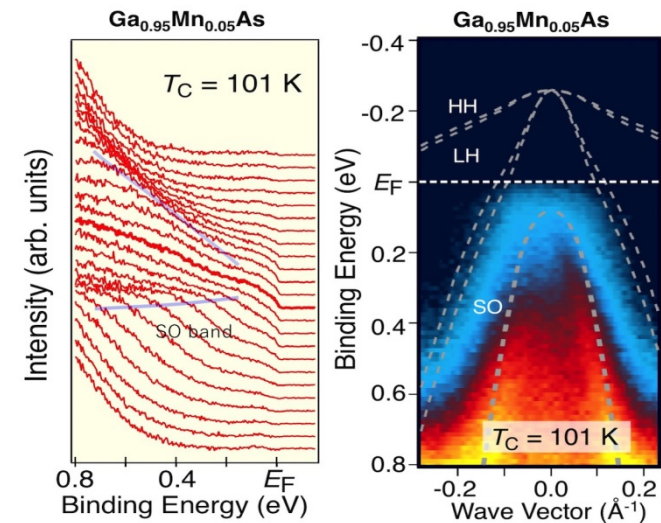
期待される研究成果: 10 μm 以下まで集光したマイクロARPESを用いて、磁性トポロジカル絶縁体薄膜の磁区構造まで分割した、ディラック電子状態のスピン偏極構造の観測をおこなう。試料の強磁性秩序とディラック電子物性との関わりを明らかにして、デバイス応用に向けての物質設計の指針を得る。



研究プロジェクト名: 希薄磁性半導体・トポロジカル絶縁体薄膜における基盤電子構造の評価

概要: 希薄磁性半導体における価電子帯の電子構造と、トポロジカル絶縁体薄膜における表面ディラックコーン状態の評価のために、高品質の薄膜作製と、スピン分解光電子分光による電子状態の精密評価を行う。

研究成果(実施状況): MBE法により作製した(Ga,Mn)As薄膜をin-situで搬送して高分解能ARPES測定を行った。その結果、フェルミ準位がAsホールバンド内にあることを見出した。さらに、Asホールバンドの光電子強度に、磁気線二色性があることを観測した。以上の結果は、(Ga,Mn)As における強磁性発現モデルとして、Asバンドの交換分裂により強磁性が安定化するp-d Zenerモデルを支持している。



Ga_{0.95}Mn_{0.05}Asのフェルミ準位近傍の
(a)ARPESスペクトルと(b)バンド構造

主要発表論文等: [1] S. Souma et al., Scientific Reports, 6, 27266 (2016).

研究プロジェクト名: 希薄磁性半導体・トポロジカル絶縁体薄膜における基盤電子構造の評価

概要: 希薄磁性半導体における価電子帯の電子構造と、トポロジカル絶縁体薄膜における表面ディラックコーン状態の評価のために、高品質の薄膜作製と、スピン分解光電子分光による電子状態の精密評価を行う。

研究成果(実施状況): トポロジカル絶縁体 $(\text{Bi,Sb})_2\text{Se}_3$ の高品質薄膜を作成し高分解能ARPESを行なった。その結果、トポロジカル相を示すディラックコーン電子状態を保ったまま、Bi,Sbの組成変化によるディラックキャリアのnp制御に成功した。Te系のテトラジマイト薄膜に比べ、Se系の薄膜はエネルギーギャップが大きく、新たなトポロジカル物性のプラットフォームになることが期待される。

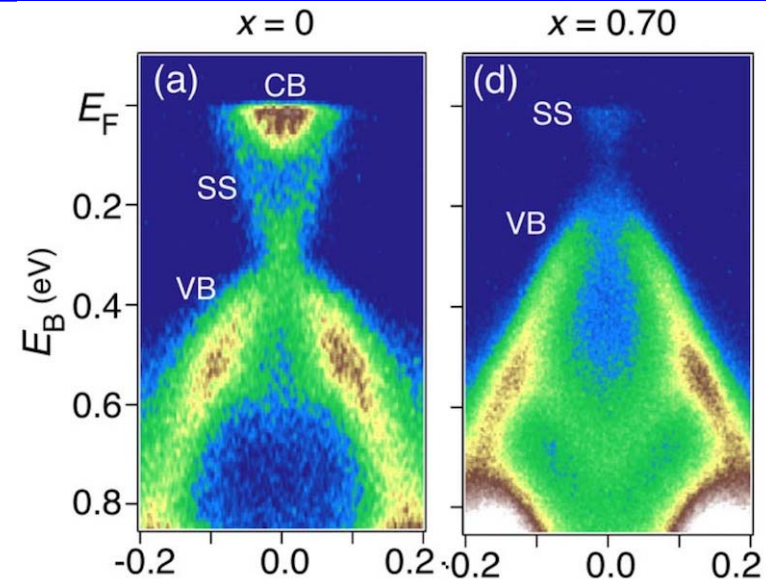


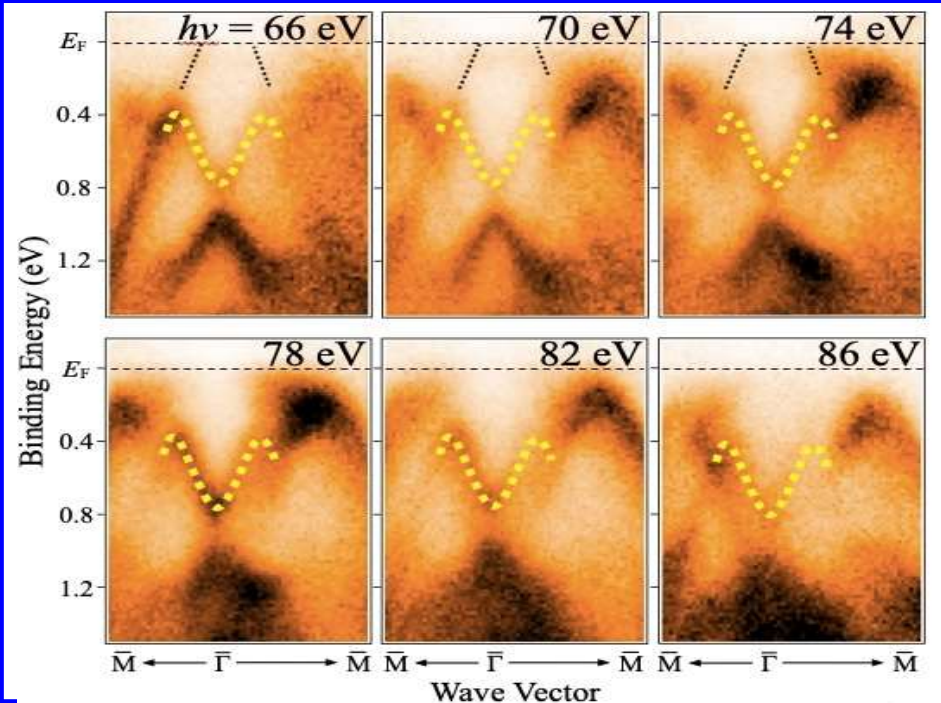
図: $(\text{Bi,Sb})_2\text{Se}_3$ のバンド分散

主要発表論文等: [1] Y. Satake et al, J. Phys.: Consens. Matter., 30 (2018) 085501-1-6.

研究プロジェクト名: 希薄磁性半導体・トポロジカル絶縁体薄膜における 基盤電子構造の評価

概要: 希薄磁性半導体における価電子帯の電子構造と、トポロジカル絶縁体薄膜における表面ディラックコーン状態の評価のために、高品質の薄膜作製と、スピン分解光電子分光による電子状態の精密評価を行う。

研究成果(実施状況): 磁性イオン(Cr)をドーピングした強磁性トポロジカル絶縁体 $\text{Cr-Sb}_2\text{Te}_3$ 薄膜試料について、放射光を用いたARPESを行った。その結果、価電子帯トップのM字型のバンド形状が、Crドーピングによって変化し、G点のエネルギーギャップが徐々に減少する様子を明確に観測した。この実験結果は、 $\text{Cr-Sb}_2\text{Te}_3$ のキャリア誘起強磁が Bloembergen-Rowland 型の機構が作用していること示唆する。

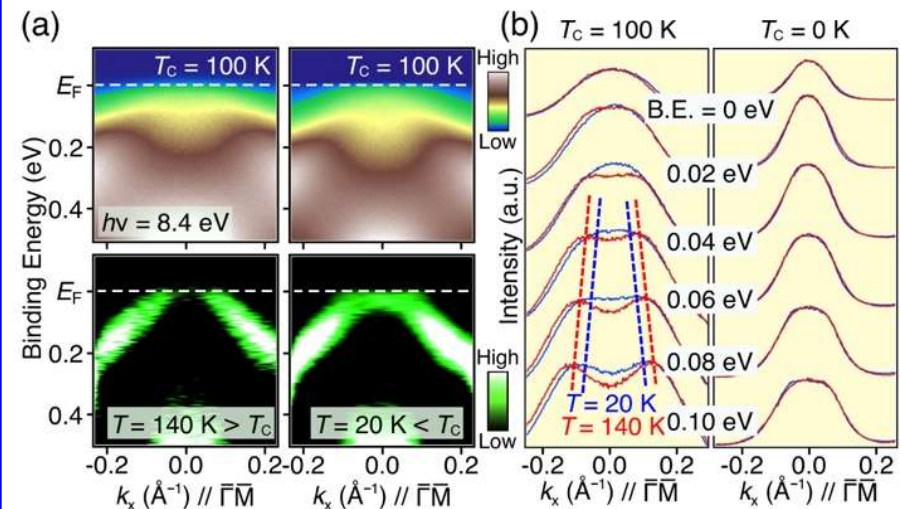


主要発表論文等:

研究プロジェクト名: 希薄磁性半導体・トポロジカル絶縁体薄膜における 基盤電子構造の評価

概要: 高品質の薄膜作製と、スピン分解光電子分光による電子状態の精密評価により、希薄磁性半導体および強磁性トポロジカル絶縁体薄膜について強磁性機構に関わる電子構造を明らかにするとともに、強磁性秩序の導入によるディラックコーン電子状態の変化を解明し、ディラックギャップの形成機構を解明する。

研究成果(実施状況): p 型の強磁性トポロジカル絶縁体(Cr,Sb)₂Te₃の非占有ディラック電子状態を観測するため、pump-probe光源の立ち上げを行ない、probe光(6eV)によるARPES測定に成功した。T_c=100Kの試料で通常のARPESにより温度変化を測定し、T_c前後で表面バンド分散の明確な変化を観測した。T_c=0Kでは同様の効果が観測されないことから、この変化は試料の強磁性秩序により発現したものと結論した。



(Cr,Sb)₂Te₃ (T_c=100 K)の表面ディラックバンドの温度変化

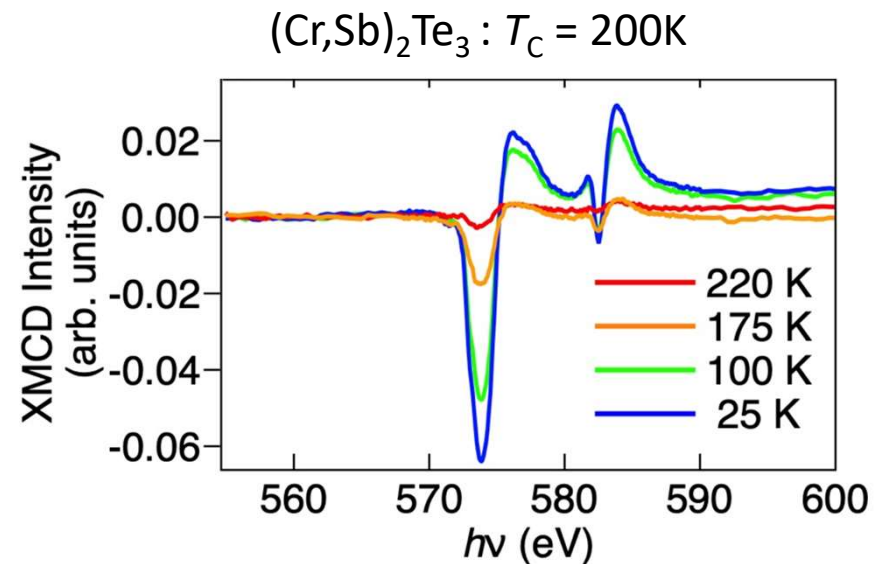
主要発表論文等: [1] H. Oinuma et al., Phys. Rev. B, 100, 125122 (2019).

[2] 堀健太郎, 日本物理学会2019年秋季大会「トポロジカル絶縁体(Cr_xSb_{1-x})₂Te₃の強磁性機構:高分解能 ARPES」

研究プロジェクト名: 希薄磁性半導体・トポロジカル絶縁体薄膜における基盤電子構造の評価

概要: 高品質の薄膜作製と、スピン分解光電子分光による電子状態の精密評価により、希薄磁性半導体および強磁性トポロジカル絶縁体薄膜について強磁性機構に関わる電子構造を明らかにするとともに、強磁性秩序の導入によるディラックコーン電子状態の変化を解明し、ディラックギャップの形成機構を解明する。

研究成果(実施状況): p型の強磁性トポロジカル絶縁体 $(\text{Cr,Sb})_2\text{Te}_3$ においてXAS測定を行った。その結果、Cr L2およびL3吸収端において、キュリー温度以下で明確なMCDシグナルを観測した。この結果は試料表面における強磁性秩序の発達を明確に示しており、表面ディラック電子状態とCrスピンとの結合が強く存在することの有力な証左となる。

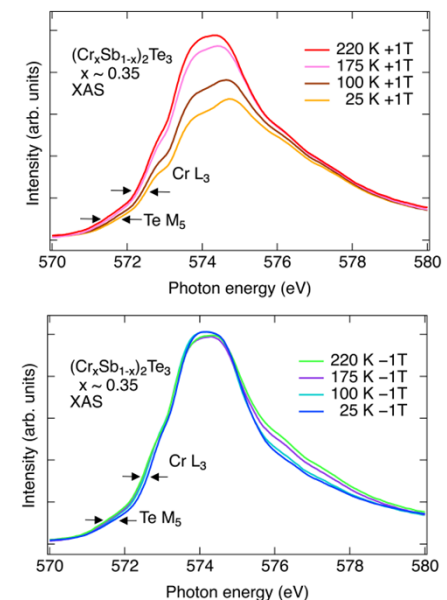
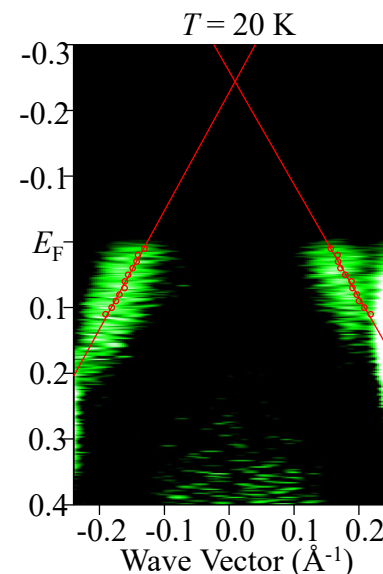


主要発表論文等: [1] K. Hori et al., in preparation.

研究プロジェクト名: 希薄磁性半導体・トポロジカル絶縁体薄膜における基盤電子構造の評価

概要: 高品質の薄膜作製と、スピン分解光電子分光による電子状態の精密評価により、希薄磁性半導体および強磁性トポロジカル絶縁体薄膜について強磁性機構に関わる電子構造を明らかにするとともに、強磁性秩序の導入によるディラックコーン電子状態の変化を解明し、ディラックギャップの形成機構を解明する。

研究成果(実施状況): 強磁性トポロジカル絶縁体 $\text{Cr-Sb}_2\text{Te}_3$ はp型半導体であるため、表面ディラック状態は非占有側のためARPESで観測できない。そこでXAS/XMCDを用いて吸収スペクトルの温度依存性を測定した結果、 T_c 以下で吸収端の明確なシフトを観測した。これはTe pバンドの電子状態に磁気的な分裂が形成されたことを示唆する。



主要発表論文等: [1] C. Chuang et al. JPS 2021 autumn meeting, Sep. 21, 2021, online.
[2] C. Chuang et al., submission to Physical Review Letters.