

令和元年6月25日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05456

研究課題名(和文) Ce_{1-x}LaxB₆/SrB₆超格子の次元性制御による八極子秩序の抑制研究課題名(英文) Suppression of octapole order by tuning the dimensionality in Ce_{1-x}LaxB₆/SrB₆ superlattices

研究代表者

宍戸 寛明 (Shishido, Hiroaki)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80549585

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：分子線エピタキシー法により希土類六硼化物のエピタキシャル薄膜を作成した。基板にはa面Si基板を用い、1000℃で蒸着を行った。これにより希土類六硼化物の[100]軸がSi基板の[110]軸と平行に成長したエピタキシャル膜を得た。通常の絶縁体であるSrB₆とトポロジカル近藤絶縁体の候補物質であるSmB₆が交互に積層した人工超格子を作製した。人工超格子のSmB₆層を3層まで薄くすることで、電気抵抗率は3 K以下でも絶縁体的に上昇を続けた。これはSmB₆層が薄くなり、表面状態間の相互作用が強くなることでディラックコーンにギャップが開いたためと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

SmB₆は近藤効果が効いている新しいタイプのトポロジカル絶縁体、近藤トポロジカル絶縁体の候補物質である。本研究ではSmB₆とトポロジカルにトリビアルな絶縁体の超格子を作り、SmB₆層の厚みを薄くすることで、表面電子状態間の相互作用を増大させた。トポロジカル絶縁体ならば、相互作用によりディラックコーンにギャップが開き、絶縁体的な振る舞いに移行することが期待される。SmB₆の人工超格子では、SmB₆層を薄くすることで、電気抵抗率の振る舞いが絶縁体的になることが確認された。これは、SmB₆が近藤トポロジカル絶縁体であることを支持する結果である。

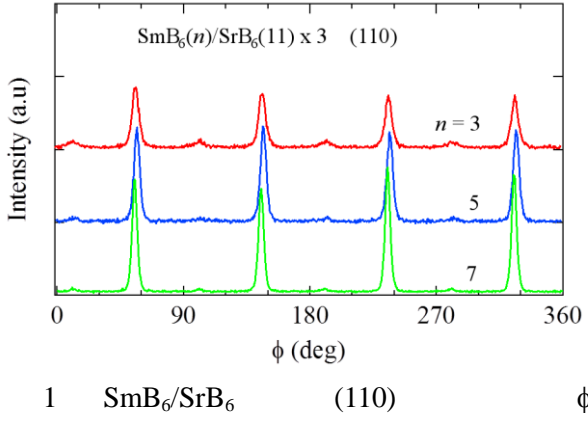
研究成果の概要(英文)：I grew epitaxial thin films of rare-earth hexaborides by the molecular beam epitaxy method. Thin films grown on c-plane Si substrates at 1000 degrees Celsius. The [100] axis of rare-earth hexaboride epitaxial thin films is oriented to the [110] axis of Si substrates. Artificial superlattices in which a candidate of the topological insulator SmB₆ and topologically trivial insulator SrB₆ stacked alternately. At superlattices with 3-unit cell thick SmB₆ layers, the resistivity increases logarithmically with decreasing temperature even below 3 K. The most plausible scenario is that reducing the SmB₆ layer thickness increases the interaction between topological surface states at the interface between SmB₆ and SrB₆ and eventually the gap in the Dirac cone is opened.

研究分野：固体物理学

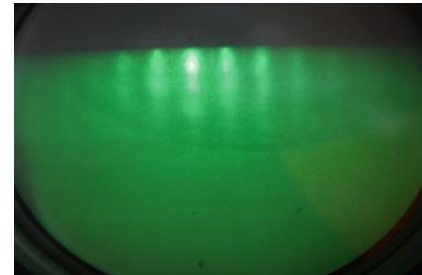
キーワード：強相関電子系 薄膜成長 トポロジカル絶縁体

$\& 1 > \text{CeB}_6, \text{SmB}_6, \text{SrB}_6$ $\times 8Z$ Si (100) ϕ $\times 3$
 $\text{wm} 2 \text{MGBES} >$ Si ϕ $\times 3$
 $\text{KG} \text{VdKZ} >$ Q $\times 3$ K - JM
 $\text{QbSu} \text{h} \text{b} \text{A} > \text{h} \text{b} \text{q} 4: \text{WS}$
 $\text{Ql} = \text{b} \text{b}$ 1:6 $\text{M} \text{b} \text{c} : [6G]$
 $\text{WS} > \text{rS} \text{M} [\text{b} \text{r} \text{S} \text{u} \text{E} \text{O} \text{I} \text{O} \text{S} > \text{h} \text{b}$
 $\text{ö} \text{M} \text{Z} \text{q} 4: \text{WS} >$ 1000 $\text{q} \text{v} \text{v} \text{v}$
 $\text{— SmB}_6 \setminus \text{SrB}_6 \text{Q} \text{2x} \text{A} \text{b} \text{m} 2 [8 \text{BKS} \text{Q} \text{2x} \text{A} \text{B}$
 $\text{MSu} \text{B} \text{c} \text{h} \text{K} \text{Srr} \quad \text{Sm} \setminus \text{Sr} \text{b} \text{K} \text{C} \text{G} \text{b}$ GX)P
 $3 \text{KS} >$

$X \text{)zG} \text{p} \text{) } \text{b}$
 $\text{RB}_6 \text{ (R : Ce, Sm, Sr) b} [100]3\text{H} @ \text{Si} [110]3\text{H}$
 $\text{G} \text{S} >$ QbSu86%
 $\text{E} [001]3\text{H} \text{W} >$ G
 $2 \text{x} \text{A} \text{K} \text{Z} [6 \text{WS} >$ Q2x
 $\text{A} \text{E} \text{ SmB}_6(n) / \text{SrB}_6(11) \text{x} 3 \text{b} \text{8} \text{W}$ (110)
 $\text{oUb} \text{b} \text{W}$ 1 $\text{G} \text{M} >$
 $\text{GG} [\text{SmB}_6(n) / \text{SrB}_6(11) \text{x} 3 \text{c} \text{SmB}_6 \text{TM}$
 $\dagger n \text{ SrB}_6 \dagger 11 \text{)A} \text{E}$
 $\text{V} \text{F} \text{Z} \text{E} \quad 3 \text{G} \text{P} 3 \text{KS} \text{Q} \text{2x} \text{A}$
 $\text{E} \cdot \text{W} \text{ 1 } \text{Q} \text{2x} \text{A} \text{E}$
 $8 \text{E} \text{GP} \text{K} \text{S} \text{2X} \text{b} \text{E}$
 $\text{G} \text{O} \text{Z} \text{E}$



$\& 2 \text{b} / 8 \text{b} \text{X} \text{8Z}$ RHEED Qb
 $0 \text{WS} \text{K}$ RHEED b)W 2 _
 $\text{GM} \text{W} \quad 2 \text{G} \text{O} \text{E}$
 $\text{b} \quad \dagger \text{M} \text{b} \text{b}$
 $0 \text{IS} > \text{rS} \text{b} \text{b} \text{b} \text{b} \text{b}$ U $\text{K} \text{A}$
 $\text{b} \text{b} \text{E} \text{G} \text{w} / 8 \text{b} \text{b}$
 $\text{b} \text{b} \text{E} \text{G} \text{b}$ X)zb)M+
 $\text{M} \text{b} \text{c} \quad \text{AFM} \text{ b} \text{b} \text{b} \text{c}$
 $\text{WS} > \text{AFM} \text{ b} \text{b} \text{S} \text{8} \text{Ic}$
 $0.1 \sim 0.3 \text{ nm} \text{ b} \text{b} \text{W} \text{M} >$
 $\text{G} \text{E} \quad \text{RHEED} \text{ b)M} \text{K} \text{Z} >$



$R_a \sim$ W 2 $\text{SmB}_6(5) / \text{SrB}_6(11) \text{ b}$
RHEED

$\& 3 > \text{SmB}_6 / \text{SrB}_6 \text{Q} \text{2x} \text{A} \text{K} \text{Z}$ 7 $\text{K} \text{D} \text{NKS}$ > $\text{SmB}_6 @ 7 \text{TM} \quad 5$
 $\text{b} \text{Q} \text{2x} \text{A} \text{K} \text{Z} \text{A}$ 7 $\text{F} \text{Q} \text{M} \text{Q}$ 7 $\text{SM} \text{4Y}$
 $\text{K} \text{Z} \text{G} \text{PKZ}$ $\text{SmB}_6 @ 3 \text{b} \text{Q} \text{2x} \text{A} \text{E}$ 7 $\text{v} \text{8} \text{B} \text{GN} \text{b}$
 $\text{3} \text{F} \text{Q} \text{M} \text{4} \text{W} \text{E}$ G $\text{SmB}_6 \text{ (CG) } \text{b}$
 $7 \text{E} \text{B} \text{B} \text{G} \text{b}$ K
 $\text{C} \text{1} \text{A} \text{G} \text{b}$) \text{S} $\text{SMB}_6 \text{c} \text{b} \text{ (CG) } \text{b}$

$3 > \text{S} \text{1e} \quad \dots$
 $\text{Z} \text{I} \text{I} \text{O} \text{O} \quad 7 \quad 6$

High-Speed Neutron Imaging Using a Current-Biased Delay-Line Detector of Kinetic Inductance
 H. Shishido, Y. Miki, H. Yamaguchi, Y. Iizawa, V. T. Dang, K. M. Kojima, T. Koyama, K. Oikawa, M. Harada, S. Miyajima, M. Hidaka, T. Oku, K. Soyama, S. Y. Suzuki, T. Ishida, Physical Review Applied 10, 044044 (2018) .

H. Shishido, S. Yamada, K. Sugii, M. Shimozawa, Y. Yanase, M. Yamashita, Physical Review Letters **120**, 177201 (2018) .

Fermi-surface topology of the heavy-fermion system Ce_2PtIn_8
J. Klotz, K. Götze, E. L. Green, A. Demuer, H. Shishido, T. Ishida, H. Harima, J. Wosnitza, I. Sheikin, Physical Review B **97**, 165120 (2018)

NMR studies on heavy fermion and conventional metal superlattices $CeCoIn_5/YbCoIn_5$
T. Yamanaka, M. Shimozawa, R. Endo, Y. Mizukami, H. Shishido, T. Terashima, T. Shibauchi, Y. Matsuda, K. Ishida, Journal of Physics: Conference Series, **807**, 012004 (2017).

Magnetic and superconducting properties of a heavy-fermion $CeCoIn_5$ epitaxial film probed by nuclear quadrupole resonance
T. Yamanaka, M. Shimozawa, H. Shishido, S. Kitagawa, H. Ikeda, T. Shibauchi, T. Terashima, Y. Matsuda, K. Ishida, Physical Review B, **96**, 060507(R) (2017).

Epitaxial growth of superconducting MgB_2 thin films with a Mg buffer layer at 110 °C
H. Shishido, T. Nakagami, T. Yoshida, and T. Ishida, Journal of Physics: Conference Series, **871**, 012036 (2017).

Neutron detection using the superconducting Nb-based current-biased kinetic inductance detector
H. Shishido, H. Yamaguchi, Y. Miki, S. Miyajima, K. Oikawa, M. Harada, M. Hidaka, T. Oku, M. Arai, A. Fujimaki and T. Ishida
Superconductor Science and Technology, **30**, 094003 (2017).

□ 27 6

Epitaxial thin film growth of the heavy fermion chiral magnet $YbNi_3Al_9$
H. Shishido, A. Okumura, S. Ohara, Y. Togawa, International Symposium on Chiral Magnetism (χ -mag2018)

Fabrication and evaluation of chiral helimagnet $YbNi_3Al_9$ thin films
A. Okumura, H. Shishido, S. Ohara, and Y. Togawa, International Symposium on Chiral Magnetism (χ -mag2018)

□ $SmB_6/SrB_6(2 \times 4 \times 8)_{\text{b800}}$, 2018

□ $YbNi_3Al_9(2 \times 4 \times 8)_{\text{b800}}$, 2018

$CeCoIn_5(2 \times 4 \times 8)_{\text{b800}}$ NMR \hat{e} , 2018

$CeCoIn_5(2 \times 4 \times 8)_{\text{b800}}$ NMR \hat{e} , 2018

$CeCoIn_5(2 \times 4 \times 8)_{\text{b800}}$, IEEE-MAG 61 0 \hat{e} $\times 4G60$

NMR \uparrow $CeCoIn_5(2 \times 4 \times 8)_{\text{b800}}$, 74G

dHvA measurements of CeCoIn₅ at ultra-low temperatures

H. Shishido, S. Yamada, K. Sugii, M. Shimozawa, Y. Yanase, M. Yamashita, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2017)

Epitaxial growth of rare-earth hexaboride thin films prepared by the molecular beam epitaxy

H. Shishido, Y. Kozuka, T. Nakagami, and T. Ishida, 28th International Conference on Low Temperature Physics

Microfabrication of MgB₂ by a conventional lift-off process

T. Nakagami, H. Shishido, T. Ishida, The 11th NanoSquare Workshop

SmB₆ 2017

NMR/NQR of CeCoIn₅/CeRhIn₅lg CeRhIn₅ 2017

SmB₆ 73G⁻

¹¹⁵In-NMR/NQR of CeCoIn₅/CeRhIn₅lg CeRhIn₅ 73G⁻

NMR and NQR studies on heavy fermion superlattices CeCoIn₅/YbCoIn₅.

T. Yamanaka, M. Shimozawa, R. Endo, Y. Mizukami, H. Shishido, T. Terashima, T. Shibauchi, Y. Matsuda, K. Ishida, International Conference on Strong Correlated Electron Systems (SCES2016)

Epitaxial growth of superconducting MgB₂ thin films with a Mg buffer layer at 110°C

H. Shishido, T. Nakagami, T. Yoshida, T. Ishida, The 29th International Symposium on Superconductivity (ISS2016)

CeCoIn₅ NMR 2016

RCoIn₅ R = Ce, Yb 2016

Ce(Co_{1-x}Cu_x)₅ 2016

CeRhIn₅ In-NQR 2016

CeCoIn₅ NMR II

71G²⁻

CeCoIn₅ -wEÈ NQR È A(x)
67oO , WY' , 42.(l. , V. , e' , ß , # , , O , N1
O , # , % , 71G²⁻

⁵⁹Co-NMR 12xAÊ CeCoIn₅/CeRhIn₅ \ CeCoIn₅/YbCoIn₅ b3Q
03d , 70O , ß , % , % , B /æ , yg , WY' , ÷
6' , NB , % , N/te , V. , , O , N1O , # , 71G²⁻

57(0 CeRhIn₅ b8 In-NQR È
è , 4(ç , 0o , í7 , e' , # , 2% , 71G²⁻

Ce(Co_{1-x}Cu_x)₅ E183H587ËÂ II
(7ç , e' , , B , 94{ , # , 71G²⁻

() 2 MB₆ (M:Sm, La) b8000
3& , e' , ß , # , 71G²⁻

0AV 0 ó

00

0□ 0 ó

0E 0 ó

4> 2))°

(1)2(*

0Ke

(2)2% *

0Ke

Ë ↓ % c 2% b 0 \ 2i 8Z M0 % b x 2% b 1t. _
8Z \ b 013:.. _ ö 2% _ 6i M 00 x 2i c 2% 1 _ IM