

研究課題名	金属上ナノ薄膜のスピンエレクトロニクス
所属研究機関名	東京大学大学院 新領域創成科学研究科
研究者氏名	木口学

## ・研究計画の概要

### 研究の趣旨・目的

超伝導、強磁性、触媒活性など有用な物性を多く持つ酸化物、イオン性物質をナノ薄膜として金属表面上に成長させると、単体以上の有用な物性が期待できる。それは低次元化、金属基板の影響により構造、面方位の制御が可能になり、天然には存在しない新しい構造、電子状態、磁性が期待できるためである。又、ナノ薄膜と金属の界面において、金属-絶縁体転移、界面超伝導など、興味深い現象が理論的に予測されている。そこで本研究ではナノ薄膜を金属上に作成し、ナノ薄膜の新たな物性の発現、発見を目的とする。新たに発現する物性は基礎科学だけでなく、触媒化学、情報産業など応用面でも有用であると考えられる。

### 研究計画の概要

まず、金属基板上にナノ薄膜を分子線エビタキシー法により作成する。基板温度、蒸着方法などの成長条件を変化させ、薄膜の成長モード、結晶性、表面組成などを測定し、良質なナノ薄膜の作成条件を決定する。作成したナノ薄膜の構造、電子構造、化学状態を反射高速電子線回折、Auger電子分光、X線光電子分光、紫外光電子分光などの表面分析法を用いて測定、解析を行う。

作製したナノ薄膜の磁性を測定する表面磁気光学効果測定装置、電気伝導度を測定する表面電気伝導度測定装置を作成する。そして、ナノ薄膜特有の磁氣的、電子的な物性の発現、発見を目指す。そして先に明らかにした構造、電子構造と対応させ新物性発現のプロセスを明らかにする事を目的とする。

・ 研究計画の詳細報告

(単位：百万円)

研究項目	所要経費					合計
	13年度	14年度	15年度	16年度		
<記入例>						
1. 金属上のナノ薄膜の作製及び物性評価						30
(1) ナノ薄膜の作製	←————→					
	15	10	5			
(2) ナノ薄膜の物性評価		←————→				25
		5	7	3		
所要経費(合計) (間接経費を含む)	20	20	16			60

## . 研究成果の概要

### 研究成果の概要

原子1層レベルでの成長制御が可能な分子線エピタキシー法を用い、又基板と膜の整合性を考慮する事で金属単結晶表面上にアルカリハライドなどの単結晶絶縁体薄膜を層状にエピタキシャル成長させる事に成功した。そして種々の金属、アルカリハライドについて系統的に実験を行う事で原子間距離の整合性と表面構造の関係も明らかにした。

さらに金属-絶縁体界面に特徴的な物性を調べるために、アルカリハライド/金属の系について、X線吸収端近傍微細構造(NEXAFS)を用いて界面の電子状態を調べた。その結果、膜厚の減少に伴い、Clの吸収端前に小さな構造を観測する事が出来た。X線光電子分光(XPS)、Auger電子分光、第1原理計算を組み合わせる事で、この小さな構造が絶縁体のバンドギャップ中に形成される金属誘起ギャップ準位(MIGS)である事を明らかにした。MIGSは金属と半導体界面のショットキー障壁を説明するために考えられた概念だが、実際観測した報告はない。本研究では制御された金属/絶縁体界面を元素選択性を有するNEXAFSを用いる事で、金属と絶縁体界面にもMIGSが存在する事を明らかにし、又MIGSを直接観測する事が出来た点に意義がある。

### 波及効果、発展方向、改善点等

#### 1. ナノ薄膜の作製

金属と絶縁体界面は界面超伝導を初めとする興味深い物性が期待されていたが、化学結合の形態が大きく異なるため良質な界面を作製する事が困難であった。本研究では、アルカリハライドが金属上に層状に単結晶エピタキシャル成長する事を明らかにする事に成功した。これにより金属/絶縁体界面の研究を行う事が可能になった。

#### 2. ナノ薄膜の物性測定

電気特性に関して、我々は結晶性が絶縁体の絶縁特性に大きく影響を与えることを明らかにした。これは電子デバイスにおける絶縁層に結晶性という概念を入れるべきと指針を与えた。我々はMIGSという新しい電子状態を金属/絶縁体界面において明らかにした。MIGSは界面超伝導を助ける可能性もあり、新たな物性物理の分野を開く可能性を見つけたと言える。

## . 研究成果公表等の状況

### (1) 研究発表件数

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合 計
国 内	2 件	0 件	13 件	15 件
国 際	13 件	0 件	5 件	18 件
合 計	15 件	0 件	18 件	33 件

### (2) 特許等出願件数

合計 0 件 (うち国内 0 件、国外 0 件)

### (3) 受賞等

1 件 (うち国内 1 件、国外 0 件)

1. 応用物理学会 講演奨励賞

### (4) 主な原著論文による発表の内訳

\* 発表者氏名:「発表題目」,文献名,巻(号),頁,(掲載年)の順

国内誌 (国内英文誌を含む)

(1) Tomohiko Chiaki, Manabu Kiguchi, Koichiro Saiki, Atsushi Koma: 「Electric properties of LiF/Ag(001) heterostructure」, Japanese Journal of Applied Physics, in press.

(2) M. Kiguchi, K. Saiki and A. Koma: 「Dynamic and Static Disorder of Alkali Halide Solid Solutions studied by Temperature-dependent Extended X-ray-Absorption Fine Structure」 Journal of the Physical Society of Japan **71**, 1076-1082 (2002)

国外誌

(1) Manabu Kiguchi, Ryotaro Arita, Genki Yoshikawa, Yoshiaki Tanida, Masao Katayama, Koichiro Saiki, Atsushi Koma and Hideo Aoki: 「Metal-induced gap states at well defined alkali-halide/metal interfaces」, Phys. Rev. Lett. **90**, 196803 (2003)

(2) M. Kiguchi, M. Katayama, G. Yoshikawa, K. Saiki and A. Koma: 「Metal induced gap states at LiCl/Cu(001) interface studied by X-ray absorption fine structure」, Applied Surface Science, **212/213**, 701-704 (2003)

(3) M. Kiguchi, K. Iizumi, K. Saiki and A. Koma: 「Atomic and electronic structures of heteroepitaxial C<sub>60</sub> film grown on Ni(111), Cu(111)」, Applied Surface Science **212/213**, 101-104 (2003).

(4) M. Kiguchi, S. Entani, K. Saiki and A. Koma: 「Atomic and electronic structure of CsBr film grown on LiF and KBr(001)」, Surface Science **523**, 73-79 (2003).

(5) M. Kiguchi, H. Inoue, K. Saiki, T. Sasaki, Y. Iwasawa and A. Koma: 「Electronic structure of alkali halide-metal interface: LiCl(001)/Cu(001)」, Surface Science **522**, 84-89 (2002).

(6) S. Entani, M. Kiguchi, K. Saiki and A. Koma: 「Epitaxial growth of CoO films on semiconductor and metal substrates by constructing a complex heterostructure」, Journal of Crystal growth **247**, 110-118 (2003).

(7) M. Kiguchi, S. Entani, K. Saiki, H. Inoue and A. Koma: 「Two types of epitaxial orientations for the growth of alkali halide on fcc metal substrates」, Physical Review B **66**, 155424 (2002).

(8) M. Kiguchi, T. Goto, K. Saiki, T. Sasaki, Y. Iwasawa and A. Koma: 「Atomic and electronic structures of MgO/Ag(001) heterointerface」, Surface Science **512**, 97-106 (2002).

- (9) M. Katayama, M. Kiguchi, K. Saiki, A. Koma: 「Atomic and electronic structure of the LiF/LiBr(001) interface」, Journal of Crystal Growth **237-239**, 269-273 (2002).
- (10) M. Kiguchi, K. Saiki and A. Koma: 「Hetero epitaxial growth of alkali halide solid solution on GaAs(100)」, Journal of Crystal Growth **237-239**, 244-248 (2002).
- (11) M. Kiguchi, K. Saiki, T. Sasaki, Y. Iwasawa, and A. Koma: 「Heteroepitaxial growth of LiCl on Cu(001)」, Physical Review B **63**, 205418 (2001) .
- (12) K. Saiki, M. Kiguchi: 「Single crystalline insulating films on metal substrates」, PHYSICS OF LOW-DIMENSIONAL STRUCTURES **11-2**: 105-113 (2001).
- (13) M. Kiguchi, K. Saiki and A. Koma: 「Effects of anharmonicity of ionic bonds on the lattice distortion at the interface of alkali halide heterostructures」, Surface Science **470**, 81-88 (2000).

(5) 主要雑誌への研究成果発表

Journal	Impact Factor	合計
Physical Review Letter	6.59	1
Physical Review B	3.16	2
Surface Science	3.08	4
Applied Surface Science	1.49	2
Journal of Crystal growth	1.46	2

酸化物、イオン性物質  
多くの有用な物性を有する  
超伝導  
強磁性  
強誘電性



ナノ薄膜として金属の上に成長

**期待できる効果**

ナノ薄膜	1)低次元化 2)基板の影響
金属基板	a)構造、面方位の制御が可能 ・新しい構造 ・新しい電子状態 ・特異な磁性 b)界面における電子の浸みだし ・ナノ薄膜の金属-絶縁体転移 ・界面超伝導

実社会への応用

**期待できる応用例**

- 1)新たな研究分野の開拓  
金属上ナノ薄膜のスピンエレクトロニクス
- 2)触媒化学への寄与  
高効率、新しい触媒反応
- 3)情報産業への寄与  
高効率のDisplay  
高密度磁気記録