

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006～2009 年

課題番号：18350078

研究課題名 (和文) 人工一次元構造の形成とその物性の制御

研究課題名 (英文) Fabrication of artificial one-dimensional structures and control of their physical properties

研究代表者

南任 真史 (NANTOH MASASHI)

独立行政法人理化学研究所・川合表面化学研究室・専任研究員

研究者番号：90300889

研究分野：固体物理

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：自己組織化、磁性、表面・界面物性、ナノ材料、物性実験

### 1. 研究計画の概要

一次元系は、系のシンプルさ故に厳密解が得られ易いため、古くから理論的な研究が盛んに行われ、様々な物理現象の起こることが予測されたが、実際に作り出すことは技術的には難しく長い間実現しなかった。人工的に作り出した単原子ワイヤーに、実際に低次元系固有の物理現象が起こっているかどうかを観測しようとする試みは、まだ始まったばかりである。一次元系の形成とその物性に関する知見を得て蓄積することは、ナノテクノロジーの進歩と共に急激に微細化の進む電子デバイスにおいても非常に重要である。

本研究では、固体の清浄表面に原子を並べて一次元系を創り出し、その構造・電子状態・磁性を詳細かつ精密に調べ、実際にどのような物理現象が起きているかを観測する。多くの系について観察を重ねてデータベースを構築し、その中から法則性を導き出し、一次元系に起こり得る低次元系固有の物理現象と、その発現のメカニズムを明らかにする。また、そのようにして得られた知見を基に、形成する一次元構造の諸条件をコントロールすることで、逆にその物性を制御することを目指す。

### 2. 研究の進捗状況

Au(788) 微傾斜面上に平行に並ぶステップを、微量蒸着した 3d 遷移金属で修飾することで一次元構造を形成し、その構造や電子状態、磁性について、走査型トンネル顕微鏡 (STM)・角度分解型光電子分光 (ARPES)・X 線磁気円二色性測定 (XMCD) を用いて調べた。

これまでに形成した Fe、Ni、Mn の一次元構造の観察結果について、詳細なデータ解析を行い、基板との相互作用による磁気異方性と

3d 原子間の強磁性結合を仮定した簡単なモデルを構築して考察した。これにより、3d 軌道の電子配置が基板の s 電子と相互作用する 3d 軌道を決定し、3d 軌道の方位が基板に対して固定された結果として磁気異方性が生じること、3d 原子の形成する格子の形状や格子定数が、3d 原子間の磁氣的相互作用の性質や強さを決めることなどが明らかになった。この考えに基づき、これまで観察された Fe、Ni、Mn 全ての系の磁氣的な振る舞いについて、統一的に矛盾なく理解出来るようになった。

### 3. 現在までの達成度

Au(788) 面上の 3d 遷移金属という一つの物質系については、一次元構造の形成とその構造の制御を自由に行うことが出来るようになった。また、電子状態や磁性に関して詳細に調べ、こうした物性と構造との相関関係についても明らかにした。更には、これらの観察結果に基づき構造を制御することで、これらの一次元構造の物性を、ある程度コントロールすることが出来るようになった。

また、特に Fe の一次元構造については、わずか 12K の温度差で硬磁性的な振る舞いから軟磁性的な振る舞いへと磁性が急激に変化する、バルクの鉄と比べて 2000 倍の保持力が得られるなど、一次元化することで特異な物性を発現させることに成功している。

これらの結果に関しては、当初予定していた本研究の目的を一通り達成したのものとして評価出来ると考えている。

一方、多くの系について観察を重ねてデータベースを構築するという点に関しては、現時点で実験を行っている系は一つに限られており、今後目標の達成のためには、同じ実

験手法を様々な物質系へと広げていく必要があると思われる。

#### 4. 今後の研究の推進方策

今後、同じ基板上で、蒸着する金属のバリエーションを増やして、非磁性の金属を強磁性化することや、超伝導など他の物理現象に着目した実験なども行っていく。

また、八二カム構造を形成する C、B、N などの軽元素を用いて擬一次元構造を形成することにも挑戦する。八二カムシートのナノリボン化とその構造制御法を確立することが出来れば、d 電子系のみならず、 $\pi$  電子系の一次元系も自由に作り出せることになり、将来のハイブリッド化なども視野に入れて、様々な展開が期待できる。

更に、これまで金属を基板に用いてきたため形成した一次元構造と基板との相互作用が強く、本当の意味での一次元電子系を作り出すことが出来なかったが、基板表面を絶縁体化してその上に真の一次元電子系を創出し、様々な物理現象の発現を狙っていく。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

1. "Magnetic Structure of Periodically Meandered One-dimensional Fe Nanowires", S. Shiraki, H. Fujisawa, T. Nakamura, T. Muro, M. Nantoh, and M. Kawai, Phys. Rev. B 78, 115428/1-6 (2008)、査読有り。
2. "Electronic Structure and Magnetism of One-dimensional Fe monatomic wires on Au(788) investigated with ARPES and XMCD", H. Fujisawa, S. Shiraki, M. Furukawa, S. Itoh, T. Nakamura, T. Muro, M. Nantoh, and M. Kawai, Phys. Rev. B 75, 245423/1-8 (2007)、査読有り。

[学会発表](計8件)

1. 白木將、南任真史、白木將、藤澤英樹、広瀬正明、中村哲也、室隆桂之、川合真紀：“Au表面に形成したMnナノワイヤーの磁性”、日本物理学会第64回年次大会、東京、3月(2009)。
2. 南任真史、白木將、藤澤英樹、広瀬正明、中村哲也、室隆桂之、川合真紀：“Fe単原子ワイヤーの電子状態と磁性”、日本物理学会2007年春季大会、鹿児島、3月(2007)。
3. 白木將、藤澤英樹、古川雅士、広瀬正明、Usman Brianto、南任真史、川合真紀、中村哲也、大沢仁志、室隆桂之：“Au(788)表面上に構築した3d遷移金属ナノ構造の磁性”、日本物理学会2007年春季大会、鹿

児島、3月(2007)。

4. 広瀬正明、Usman Brianto、白木將、南任真史、川合真紀、中村哲也、大沢仁志、室隆桂之：“Au(111)微傾斜面上に形成したNiナノ構造の磁気的特性”、第68回応用物理学会学術講演会、札幌、9月(2007)。
5. 白木將、藤澤英樹、広瀬正明、Usman Brianto、南任真史、川合真紀、中村哲也、大沢仁志、室隆桂之：“Au(788)表面上に構築した3d遷移金属ナノ構造の磁性”、日本物理学会第62回年次大会、札幌、9月(2007)。
6. 広瀬正明、Usman Brianto、白木將、南任真史、川合真紀、中村哲也、大沢仁志、室隆桂之：“Au(788)表面上に構築したNi低次元ナノ構造の磁気異方性”、第48回真空に関する連合講演会、東京、11月(2007)。
7. S. Shiraki, H. Fujisawa, M. Hirose, B. Usman, M. Furukawa, T. Nakamura, T. Muro, M. Nantoh, M. Kawai: “Magnetism of One-Dimensional Monatomic Fe wires on Au(788)”, 6<sup>th</sup> International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices 07(ALC 07), Kanazawa, Japan, Oct.-Nov. (2007)。
8. S. Shiraki, H. Fujisawa, M. Furukawa, M. Nantoh, M. Kawai, T. Nakamura, H. Osawa and T. Muro: “Magnetism of low-dimensional Ni nanostructures formed on vicinal Au(111) surfaces”, Asia-Pacific Conference on Surface Science and Engineering, Hong Kong SAR, China, Dec. (2006)。

[その他]

- (取材) 日経ナノビジネス No. 44、26-27 ページ、2006. 08. 28、Research Flash、「理研など鉄のナノワイヤ、極低温で超常磁性示す 強磁性・常磁性と異なる磁性研究の対象に」
- Phys. Rev. B 75, 245423/1-8 (2007)に掲載された論文が米国物理学会が主催する電子ジャーナル “Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology” の Volume 16, Issue 1 (2007)に、ナノサイエンス・テクノロジー関係の重要な論文として取り上げられ紹介された。