

## (1) 新規金属人工格子材料の創製と評価

研究代表者 工学部 中山 則 昭

### 研究目的

金属人工格子は、二種類の金属および合金を、ナノメートルオーダーの厚さの薄膜とし、交互に一定の厚さで積層した周期多層膜である。垂直磁気異方性を示す Pt/Co 人工格子、巨大磁気抵抗効果を示す Co/Cu 人工格子などが、実用材料として検討されている。これらの人工格子における特性の発現は、個々の金属層がナノメートルオーダーの厚さであることによる構造および電子状態の変化（サイズ効果）や界面に特有な構造および磁気特性（界面効果）などに起因する。

本研究では、(1)膜厚サブナノメートルの金属層を交互積層した短周期人工格子の作製、(2)強磁性/反強磁性人工格子における界面効果による交換磁気異方性や反強磁性層のサイズ効果に由来する磁気特性の検討を目的としている。平成10年度は、垂直磁気異方性を示す Au/Co 短周期人工格子、NiMn/Permalloy, NiMn/Co, NiMn/Ni, および Ni/Mn 強磁性/反強磁性人工格子に関する研究を行った。

### 研究成果

**Au/Co 人工格子：**Au/Co (111) 人工格子においては、(1) Co 層の厚さ約1.5nm 以下の試料で垂直磁気異方性が発現されるが1.0nm 以下で異方性エネルギーがほぼ一定値となること、(2)光磁気特性において Au 吸収端の効果により波長500nm 近傍でカー回転角が増大することが特徴である。Au と Co の格子ミスフィットはかなり大きい値（14%）であるため、Au/Co 人工格子の垂直磁気異方性の起源として、磁気弾性効果が重要視されている。従来の研究では Au 層の厚さが2.0nm 以上の試料に関する研究がほとんどである。

本研究では、Co 層の厚さを0.4および1.0nm とし Au 層の厚さを2.0nm 以下とした試料を、超高真空蒸着装置を用いて作製し、垂直磁気異方性の Au 層厚依存性を検討した。Au 層の厚さに依存した Co 層の格子歪みの効果および Au 層の量子井戸効果に由来する強磁性 Co 層間の振動的な磁気結合の効果を調べた。

図1は Au/Co 人工格子の典型的な磁化曲線と、

磁気異方性エネルギー  $K_{\text{eff}}$  の層厚依存性である。Au 層の厚さ1.0nm、Co 層の厚さ  $t_{\text{Co}}=0.4, 1.0, 2.0$ nm の試料の  $K_{\text{eff}}$  は実験式  $K_{\text{eff}}=K_v+2K_s/t$  に良く適合している。従来の研究における Au 層厚2.0nm 以上の試料にみられる  $t_{\text{Co}}<1.0$ nm の領域における  $K_{\text{eff}}$  の飽和傾向はみられない。また、 $K_{\text{eff}}$  の値は Au 層の厚さが1.5nm の場合に最大値となった。磁化曲線における保磁力が300-400Oe と比較的小さいことなどを考慮すると、Au 層を隔てた Co 層間の磁気結合が強磁性的となる領域で磁気異方性エネルギーが高くなる可能性が示唆される。今後、多層膜の面内構造と磁気特性について詳細な Au 層厚依存性を検討する計画である。

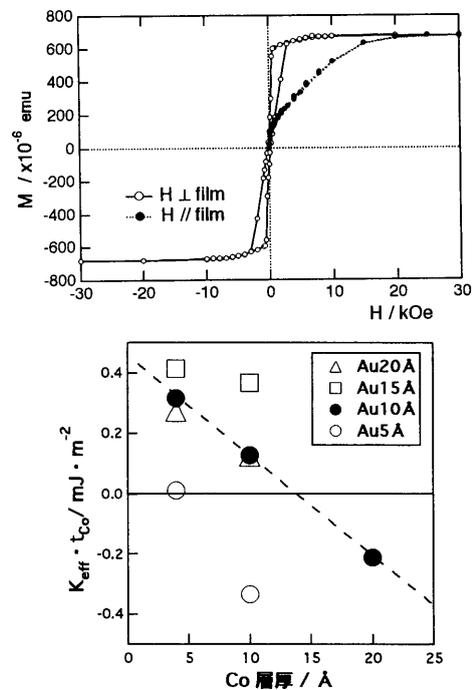


図1. [Au(1.0nm)/Co(0.4nm)]<sub>50</sub>人工格子の磁化曲線と Au/Co 短周期人工格子の垂直磁気異方性エネルギー

**NiMn 基人工格子：**従来の強磁性/反強磁性人工格子の研究では、反強磁性層を単体金属 Cr あるいは Mn とした試料の研究がほとんどである。一方、金属人工格子における巨大磁気抵抗効果の発見を契機として発展したスピバルブ磁気抵抗センサの実用化において、強磁性/反強磁性の界面に由来する

交換磁気異方性が利用されている。実用反強磁性材料としては Mn 系反強磁性合金が主に検討されている。NiMn 合金と強磁性金属の界面は高い交換磁気異方性を示し耐蝕性にも優れている。本研究では NiMn 合金を反強磁性層とする強磁性/反強磁性人工格子を作製した。

NiMn/Permalloy および NiMn/Co 人工格子については、強磁性層の厚さを 5.0nm 一定とし、NiMn 層の厚さを変化させた一連の試料を、スパッタリング法を用いて作製した。NiMn 層の膜厚が 2.0nm 近傍の試料において、特異な磁気異方性が発現されることが明らかとなった。典型的な例を図 2 に示した。NiMn 層の厚さが 2.0nm 近傍では、強磁性層間の磁氣的結合エネルギーにおける  $\cos^4\theta$  項の寄与が大きくなり、隣り合う強磁性層の磁気モーメントのなす角度が  $90^\circ$  となる配置が安定化されているとみなせる。さらに、成膜プロセスに由来すると考えられる、面内の磁気異方性が関与して、図 2 のような低磁場領域で交叉する磁化ループを示す。今後、この現象の起源を詳しく解明するとともに、磁気抵抗効果などとの関連についても検討する計画である。

また、超高真空蒸着装置を用い、良質な構造を有する強磁性/NiMn 人工格子の作製を試みた。単原子層に相当する膜厚 0.2nm の Ni と Mn を交互蒸着して反強磁性層とし、交互蒸着層と強磁性 Ni 層からなる人工格子の作製をおこなった。Ni 層の厚さ 5.0nm、交互蒸着 NiMn 層 0.6-3.0nm の良質な試料を作製することができた。今後、これらの試料の磁気特性を検討するとともに、図 2 のような特異な磁気特性が発現される Co/NiMn 人工格子の作製を試みる計画である。

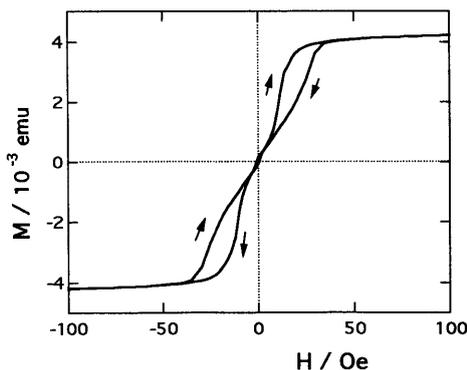


図 2.  $[\text{NiMn}(2.0\text{nm})/\text{Co}(5.0\text{nm})]_{30}$  人工格子膜の磁化曲線 (300 K)

#### 産業技術への貢献

磁性金属人工格子の磁気特性を応用した磁気デバ

イスの開発においては、主にスパッタリング法を用いた製膜が行われている。スパッタリング装置の高真空化による膜構造及び界面の良質化が産業界の動向である。現在の製膜技術において最も清浄な条件で試料が作製できる超高真空蒸着法による金属人工格子作製技術を高めることにより、現状の産業界の動向に対し、相補的な貢献が可能であると考えられる。また、次世代の半導体-強磁性体複合デバイスにおける製膜プロセス技術の検討にも貢献できると考える。

#### 研究発表

- 1) N. Nakayama, Y. Hasuo, M. Okahara, T. Mizota and Y. Ueda : Exchange anisotropy and Interlayer Exchange Coupling in fcc-NiMn/ Permalloy Multilayers ; J. Magn. Soc. Jpn., Vol.23, No.1-2, pp170-172, 1999
- 2) 中山則昭、蓮尾裕介、溝田忠人、上田寛：反強磁性 MnNi/強磁性 Permalloy 人工格子膜の磁性；日本物理学会、日本物理学会講演概要集、第 53 巻第 1 号第 3 分冊 P. 466, , 1998.4.2
- 3) 中山則昭、渡辺晃久、藤井豊、溝田忠人、上田寛：MnNi/Ni 多層膜の構造と磁性；日本金属学会第 123 回大会講演概要 p301, 1998.9.29
- 4) 中山則昭、渡辺晃久、藤井豊、溝田忠人、上田寛：Mn/Ni (III) 人工格子の構造と磁性：日本金属学会第 124 回大会発表予定, 1998.3.30
- 5) 林甲一、中山則昭、溝田忠人、上田寛：Co/NiMn 人工格子の構造と磁性；日本金属学会第 124 回大会発表予定, 1998.3.30

#### グループメンバー

| 氏名    | 所属      | 職 (学年) |
|-------|---------|--------|
| 中山 則昭 | 工・機能材料  | 助教授    |
| 溝田 忠  | 工・機能材料  | 教授     |
| 小柳 剛  | 理工・環境共生 | 教授     |
| 末岡 修  | 工・共通講座  | 教授     |
| 藤井 豊  | 理工・機能材料 | M 2    |
| 渡辺 晃久 | 理工・機能材料 | M 2    |
| 林 甲一  | 理工・機能材料 | M 1    |

#### 連絡先

T E L / 0836-35-9960 ・ F A X / 0836-35- 9965,  
E-mail: nakayamn@po.cc.yamaguchi-u.ac.jp