

## MnAs ナノ構造のその場測定 X 線回折

### *In-situ* x-ray diffraction of MnAs nanostructures

岡林潤、高橋正光<sup>1</sup>、海津利行<sup>1</sup>、尾嶋正治、水木純一郎<sup>1</sup>  
J. Okabayashi, M. Takahashi<sup>1</sup>, T. Kaizu<sup>1</sup>, M. Oshima, and J. Mizuki<sup>1</sup>

東京大学大学院工学系研究科、<sup>1</sup> 日本原子力研究所  
Department of Applied Chemistry, The University of Tokyo,  
<sup>1</sup> Synchrotron Radiation Research Center, Japan Atomic Energy Research Institute

硫黄原子終端化 GaAs (001) 基板上に作製した MnAs ナノドットの初期成長過程を探るために、分子線エピタキシー結晶成長装置と X 線回折装置の複合システムを用いて、その場 X 線回折測定による成長時の結晶構造解析を行った。結晶成長時間を変え、密度の異なる試料を作製し、X 線回折ピークを調べた。密度の増加に伴い、安定な六方晶 NiAs 型 MnAs の回折ピークを観測した。

We report on the x-ray diffraction study in an initial growth of MnAs nanoscaled dots on sulfur-terminated GaAs (001) using the *in-situ* system combined with molecular beam epitaxy. Samples with several dot density were prepared. With increasing the dot density, we observed the diffraction peaks of a stable hexagonal NiAs-type MnAs.

### 背景と研究目的

遍歴強磁性金属 MnAs (転移温度 320 K) は、III-V 族半導体 GaAs との格子整合性がよく、磁性体と半導体を組み合わせたスピンエレクトロニクスデバイスの作製に適した材料として注目を集めている。中でも近年、MnAs をナノ構造体に設計し、新機能性を発現させる試みが多くなされている。GaAs 中に MnAs クラスタを析出させ、磁気光学効果を高めること[1]、MnAs を 2 次元的にドーピングし、キャリア注入により強磁性転移温度を高めること[2]などが報告されている。

我々は今までに、GaAs を硫黄原子終端化

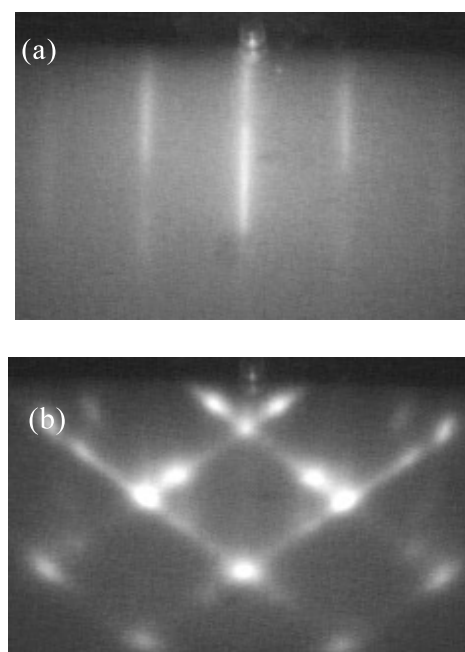


FIG. 1: RHEED patterns of sulfur-terminated GaAs surface (a) and MnAs nanoscaled dots (b).

することで表面エネルギーを下げ、その上に MnAs を成長した際にナノドットが形成することを見い出してきた。ナノドットの形成メカニズムを知ることが、さらなる形状制御、機能性の発現に重要な役割を果たすと考えられる。本研究では、結晶成長時における MnAs ナノドットの結晶構造について、その場 (*in-situ*)X 線回折測定により調べた。

## 実験

SPring-8 BL-11XU にて、分子線エピタキシー (MBE) 結晶成長装置と X 線回折装置が結合したシステム[3]を用いて実験を行った。

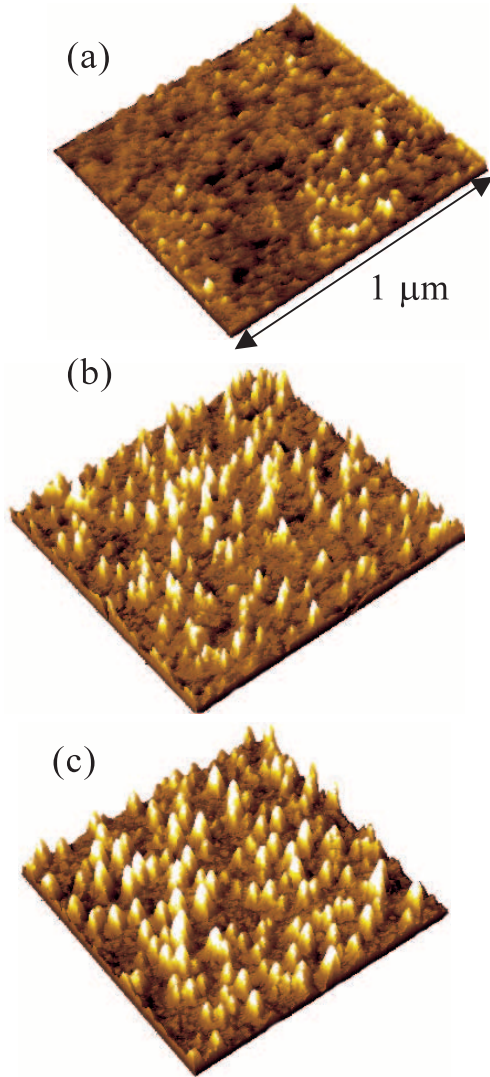


FIG. 2: Density-dependent surface morphology. AFM images of MnAs nanoscaled dots grown by (a) 50 sec, (b) 100 sec, and (c) 150 sec in  $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ .

GaAs (001)基板を $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$  溶液にてエッチングを行い、MBE 装置内にて加熱し、硫黄原子で終端化した表面を作製し、図 1(a)のような反射高速電子線回折(RHEED)における  $1 \times 1$  パターンを確認した。MnAs 成長後、RHEED パターンは図 1(b)のようにスポットパターンに変化し、表面形状の荒れたナノドット構造が形成していることを示している。結晶成長後、10 kV の放射光を用い、*in-situ* X 線回折測定を行った。また、試料の表面形状の観測には、原子間力顕微鏡(AFM)を用い、結晶成長時間を変え、密度の異なる試料の表面形状を観察した。

## 結果と考察

図 2 に結晶成長時間を 50, 100, 150 秒と変化させ、ナノドット密度を変えた試料の AFM 像 ( $1 \times 1 \mu\text{m}^2$  スケール) を示す。MnAs の成長時間を増やすにつれ、ドット密度が増え、ドット間の距離が近づいてきている様子がわかる。

図 3 に GaAs [110]方向に沿った *in-situ* X 線回折を示す。GaAs (220)面からの回折ピークの他に、MnAs ドット成長と共に増加するピ

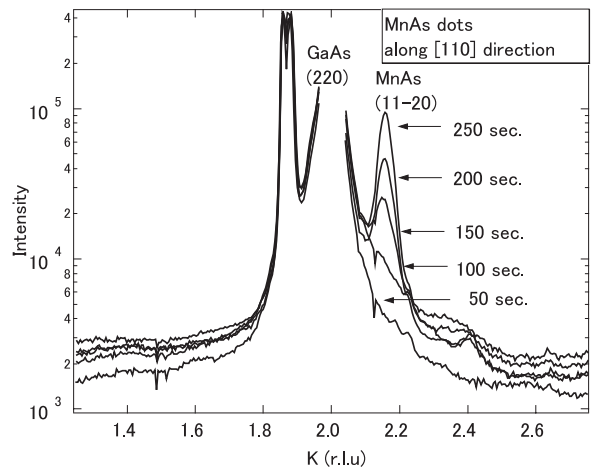


FIG. 3: In-situ x-ray diffraction of MnAs nanoscaled dots. The intensity distribution along the [110] direction is presented.

ークを観測した。このピークは、バルクの 6 方晶 NiAs 型 MnAs の格子定数  $a=3.72 \text{ \AA}$ 、 $c=5.71 \text{ \AA}$ とした際の MnAs (11-20)面からの回折に対応する。また、GaAs (220)回折ピークの低指数側に現れるピークは、基板ホルダーに固定するために用いた In に由来するピークで、試料の着目している構造とは無関係である。100 秒間成長した MnAs ナノドットからは NiAs 型構造が確認されるが、それ以下の成長時間では、NiAs 型 MnAs が形成されず、下地に引きずられて GaAs と同じ閃亜鉛鉱型の結晶構造を形成している可能性が考えられる [4]。このことから、ドット密度が低い場合は NiAs 型構造は確認されないが、図 2 (b) 程度のドット密度では、安定な NiAs 型 MnAs 層が現れることが分かった。

## 参考文献

- [1] H. Shimizu, M. Miyamura, and M. Tanaka, Appl. Phys. Lett. **78**, 1523 (2001).
- [2] A. Nazmul, S. Sugawara, and M. Tanaka, Appl. Phys. Lett. **80**, 3120 (2002).
- [3] M. Takahashi, Y. Yoneda, H. Inoue, N. Yamamoto, and J. Mizuki, Jpn. J. Appl. Phys. **41**, 6247 (2002).
- [4] J. Okabayashi, M. Mizuguchi, K. Ono, M. Oshima, A. Fujimori, H. Kuramochi, and H. Akinaga, Phys. Rev. B **70**, 233305 (2004).