



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	CdSe自己組織化量子ドットの作製
Author(s)	有田, 宗貴; Avramescu, A.; 植杉, 克弘 他
Citation	電子科学研究, 4, 80-82
Issue Date	1997-02
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/24381">https://hdl.handle.net/2115/24381</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_P80-82.pdf



# CdSe 自己組織化量子ドットの作製

光材料研究分野 有田 宗貴, A. Avramescu, 植杉 克弘, 末宗 幾夫

II-VI族半導体量子ドット構造を, MOMBE 法を用いて作製した。GaAs 基板上のII-VIヘテロエピタキシャル成長に先立ち, トリスジメチルアミノヒ素供給によって原子レベルで平坦な As 安定化面を得た。(100) ZnSe/GaAs 上に成長した CdSe 極薄膜は, Stranski-Krastanov モードでの自己組織化三次元成長により, 均一なサイズの量子ドットを形成する。また, そのサイズと密度は CdSe 堆積量に依存し, 現時点で直径  $68.1 \pm 8.8$  nm のドットが  $1.2 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$  の密度で形成することを確認した。

## 1. はじめに

量子細線や量子箱(量子ドット)のような半導体低次元ナノ構造においては, 状態密度が離散的になり電子は量子力学的振る舞いを示す。光の場との相互作用まで制御した新たな光電子デバイスへの応用など<sup>[1]</sup>, これら低次元構造に対する関心は高く, さまざまな作製方法が提案されている。なかでも自己組織化三次元成長はプロセスによるダメージを避けた量子ドット形成が可能であり, 既にIII-V族系を中心に活発に研究が進められつつある<sup>[2,3]</sup>。一方II-VI族半導体はIII-V族系に比べて大きなバンドギャップと高い励起子束縛エネルギーを持ち, 短波長光デバイスへの応用に適した材料として注目されている。従来ほとんどIII-V族系に限られた形で進んできた低次元量子構造の研究も, 今後はII-VI族半導体などの新たな材料系へと発展していくであろう。現在いくつかのII-VI族半導体量子ドット構造において主に光学特性についての議論から, 量子ドット構造のような高次にキャリアを閉じ込める構造が一部実現されているであろうとの解釈がなされつつあるが<sup>[4-7]</sup>, ヘテロエピタキシャルII-VI族量子ドット構造の形成を結晶成長の観点から確認した例はまだない。本研究では大きな歪を有するII-VI族半導体ヘテロ構造において, 自己組織化による島成長を利用した量子ドットの作製を試みた<sup>[8]</sup>。

## 2. 実験

### 2.1 GaAs 表面処理

GaAs 基板上のII-VIヘテロエピタキシャル成長膜の高品質化を考えた場合, II-VI/III-Vヘテロ界面における欠陥密度の低減が大きな課題のひとつであり, 転位の発生を防ぐために原子レベルで平坦な基板表面が要求される。本研究では半絶縁性(100) GaAs 基板の表面処理として, 通常の化学エッチ後トリスジメチルアミノヒ素(TDMAAs)を $550^\circ\text{C}$ で $1.0 \times 10^{-5}$  Torr 照射しており, その結果原子レベルで平坦な As 安定化面を得ている。図1は原子間力顕微鏡(AFM)で観察した As 処理後の GaAs 表面であるが, 1分子層に相

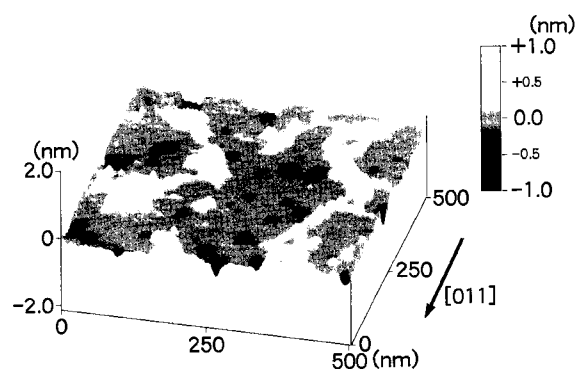


図1 As 処理後の GaAs 表面の AFM 像。1 分子層に相当するステップが観測され, 高い平坦性が実現されていることがわかる。

当するステップが観測され、高い平坦性が実現されていることがわかる。

## 2.2 界面制御

ZnSe/GaAs 界面に関しては、Zn を照射した GaAs 基板の上に ZnSe を MBE 成長した場合に、ZnSe 膜中の欠陥密度が低減するとの報告もあり<sup>[9]</sup>、一般に As-Zn 結合したほうが界面での charge neutrality を適度な置換によって維持しやすく結晶品質向上に有利であると考えられる。そこで本研究では成長に先立ち、350°C において Zn 材料 (ジイソプロピルジンク, DiPZn) で基板表面をパージし、As-Zn 結合に由来する表面再構成の変化が起きていることを、RHEED 観察 ([011] 方向のストリークパターン×2 から×1 への変化) によって確認している。

## 2.3 結晶成長

成長には DiPZn, ジメチルカドミウム (DMCd), ジターシャリブチルセレン (DtBSe) を材料とし、有機金属分子線エピタキシー (MOMBE) 法を用いた。成長膜の表面平坦性に関する最適な条件である VI/II 比 0.5 で ZnSe を約 500 Å 成長した後、CdSe を数分子層相当成長した。CdSe/ZnSe 界面では成長の中断を 40 秒間行い混晶化を避けている。また全ての MO 材料はあらかじめ加熱分解することなく供給し、不純物炭素の膜中への取り込みを防いでいる<sup>[10]</sup>。成長温度は 350°C で、CdSe 成長終了後そのまま 18 分間アニールを行ってから室温まで冷却し、大気中にて AFM 観察を行った。

## 3. 結果と考察

図 2 は 5 ML に相当する量の CdSe を成長した場合の AFM 像である。かなり均一なサイズの、形状に方向性のある島の形成が観測された。島の密度は  $6 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$  で、長方形 ([0 $\bar{1}$ 1] 方向に  $216 \pm 18 \text{ nm}$ , [011] 方向に  $169 \pm 17 \text{ nm}$ ) の底面を持った、高さ  $27 \pm 4 \text{ nm}$  の屋根形の構造である (図 2 (b))。これらの島は (311) A 面ファセットを作って成長しやすいことがわかる。GaAs (にコヒーレント成長した ZnSe) と CdSe の間には約 7% もの格子不整合があり、この大きな歪によって Stranski-Krastanov モードでの 3 次元成長が起きていると予想される。

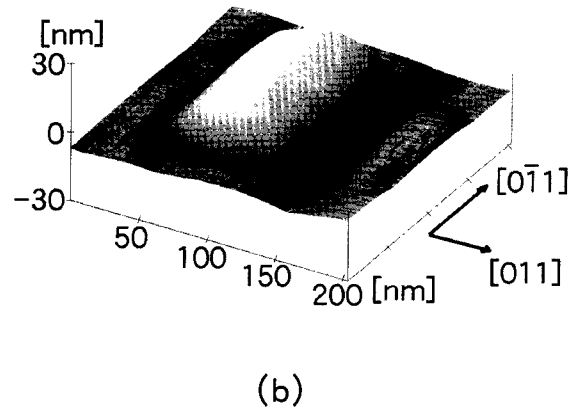
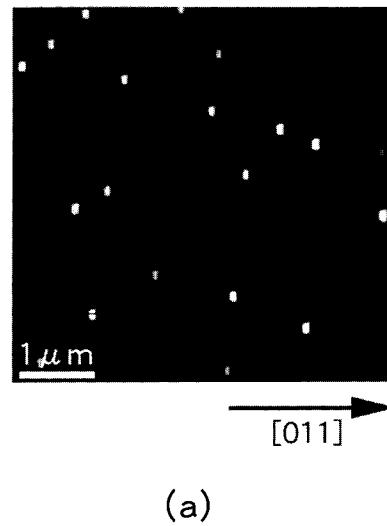


図 2 (a) CdSe 5 ML 相当を成長した場合の AFM 像。均一なサイズの、形状に方向性のある島が見受けられる。(b) CdSe ドットの拡大 AFM 像。屋根形の構造を検討すると、これらの島は (311) A 面ファセットを作って成長しやすいことがわかる。

また、CdSe の堆積量を減らした場合ドットのサイズと密度が変化することがわかった。図 3 (a), (b) は CdSe をそれぞれ 2 ML, 4 ML 相当成長したサンプルの AFM 像である。5 ML の場合と異なり、球形の小さなドットが観測された。CdSe 4 ML の場合、直径  $68.1 \pm 8.3 \text{ nm}$ 、高さが  $16.6 \pm 4.5 \text{ nm}$  のドットが密度  $1.2 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$  で形成されている。詳細については現在研究を進めているところであるが、成長条件 (温度、成長・中断・アニール時間、成長膜厚など) を最適化することにより、より小さなドットを高い密度で作製

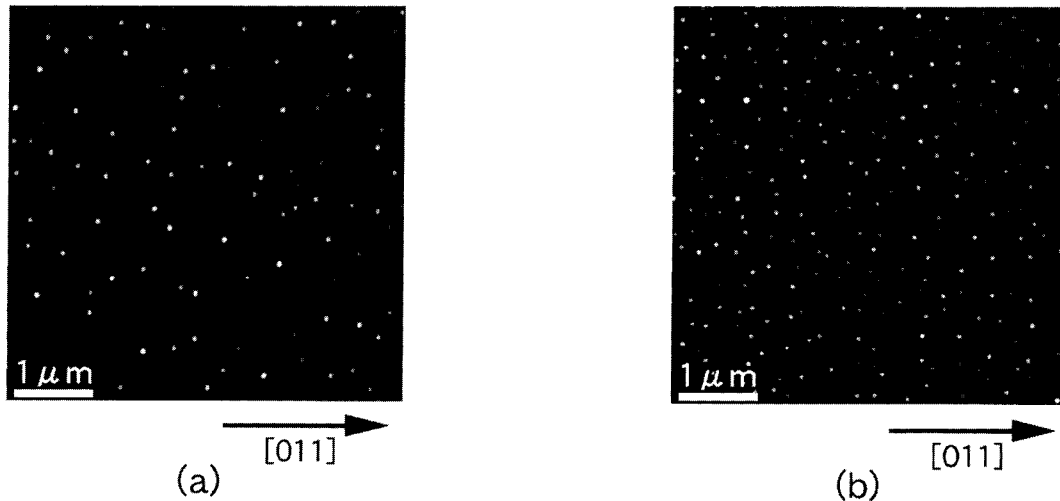


図3 (a)CdSe 2 ML 相当を成長したサンプルのAFM像。ドットの直径は  $96.9 \pm 11.4$  nm, 高さは  $17.0 \pm 3.4$  nm で密度は  $3.2 \times 10^9 \text{cm}^{-2}$  である。(b)CdSe 4 ML の場合のAFM像。直径  $68.1 \pm 8.3$  nm, 高さ  $16.6 \pm 4.5$  nm の球形のドットが密度  $1.2 \times 10^9 \text{cm}^{-2}$  で形成されている。

することは十分可能であると言える。

#### 4. まとめ

(100)ZnSe/GaAs 上に成長した CdSe は、均一なサイズの量子ドットを形成することを確認した。膜厚を

はじめとする成長条件の最適化を進めればサイズと密度の両方を改善できるが、これらの結果はII-VI族半導体もまた低次元ナノ構造実現の有望な材料系の一つであることを示唆している点で、大きな意義がある。

#### 【参考文献】

- [1] 荒川泰彦：電子情報通信学会誌 77 (1994) 1117.
- [2] D. Leonard, K. Pond and P. M. Petroff: Phys. Rev. B50 (1994) 11687.
- [3] N. Carlsson, K. Georgsson, L. Montelius, L. Samuelson, W. Seifert and R. Wallenberg: J. Cryst. Growth 156 (1995) 23.
- [4] T. Yao, M. Fujimoto, S. K. Chang and H. Tanino: J. Cryst. Growth 111 (1991) 823.
- [5] Y. Kuroda, I. Suemune, Y. Fujii and M. Fujimoto: Appl. Phys. Lett. 61 (1992) 1182.
- [6] S. Yamaguchi, Y. Kawakami, Sz. Fujita, Sg. Fujita, Y. Yamada, T. Mishina and Y. Masumoto: Phys. Rev. B54 (1996) 2629.
- [7] N. N. Ledentsov, I. L. Krestnikov, M. V. Maximov, S. V. Ivanov, S. L. Sorokin, P. S. Kop'ev, Zh. I. Alferov, D. Bimberg and C. M. Sotomayor Torres: Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 1343.
- [8] M. Arita, A. Avramescu, K. Uesugi, I. Suemune, T. Numai, H. Machida and N. Shimoyama: Jpn. J. Appl. Phys. 36 (1997) to be published.
- [9] S. Saito, P. J. Parbrook, S. Nakamura, Y. Nishikawa and G. Hatakoshi: Abstract of the Int. Symp. on Blue Laser and Light Emitting Diodes, Chiba, 1996, p. 66.
- [10] G. Sato, T. Numai, M. Hoshiyama, I. Suemune, H. Machida and N. Shimoyama: J. Cryst. Growth 150 (1995) 734.