

Title	V族多元半導体超格子の無秩序化
Author(s)	朝日, 一
Citation	大阪大学低温センターだより. 67 P.3-P.6
Issue Date	1989-07
Text Version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/11094/7770
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

V族多元半導体超格子の無秩序化

産業科学研究所 朝日 一 (吹田 3 5 7 7)

§1. はじめに

半導体超格子は異なる半導体を層状に交互に積み重ねたものであり、その代表例がGaAsとAlAsを交互に積層したGaAs/AlAs超格子である。バルク結晶では得られない特異な物理的性質を示すことから、近年、基礎的、応用的両面から幅広く研究が行なわれている。ところで、超格子は人為的に作られた構造であるので、その構造安定性は重要な問題である。GaAs/AlAs超格子は 800℃という高温においても充分安定である。しかしながら、不純物原子を熱拡散したり、あるいはイオン注入と熱処理によって不純物を導入すると、GaAs層、AlAs層の間で構成原子の相互拡散が比較的容易におこり、超格子構造はこわれて無秩序化しGaAlAs層となり、その物理的性質が変化する。この現象を利用すれば、局所的に超格子構造の存在する部分を形成することができ、微細な構造を形成することが可能となる。

GaAs/AlAs超格子はⅢ族原子が2種類 (Ga, Al)、V族原子が1種類 (As) の超格子であり、超格子の無秩序化はⅢ族原子の相互拡散によりおこる。これに対し、InGaAs, InPの多層積層構造より成るInGaAs/InP超格子では、Ⅲ族原子 (In, Ga)、V族原子 (As, P) を2種含みGaAs/AlAs超格子とは相互拡散の過程が異なる可能性がある。即ち、Ⅲ族原子、V族原子が同時に相互拡散しない場合には、生成されたInGaAsPの格子定数は場所的に分布し、ストレスを生ずることになり、この系では相互拡散は起こりにくいことも考えられる。InGaAs/InP材料系は波長1 μm帯での光デバイス用材料として重要であり、基礎的、応用的観点からInGaAs/InP超格子の安定性は興味もたれる。本稿では、V族多元のInGaAs/InP超格子の構造安定性あるいは無秩序化についてわれわれが調べた結果について紹介する。

§2. 熱的安定性¹⁾

InGaAs/InP超格子は、670℃では構造安定であり、700℃の熱処理によって初めて変化が観測された。なお、超格子構造の作製温度は480℃である。700℃で熱処理したサンプルの光学吸収測定では、吸収端 (バンド・ギャップ・エネルギー) が高エネルギー側にシフトし、相互拡散の生じていることが観測された。このサンプルのX線回折測定では、図1のように依然、±1～±4のサテライト・ピークが現われ周期構造は残っているが、強度分布が非対称となっており、内部にストレスが存在していることを示している。解析の結果は、V族原子がわずかに相互拡散しⅢ族原子はほとんど変化していないことがわかった。なお、更に高温で熱処理を施すと、Ⅲ族原子も相互拡散するようになる。²⁾

§3. Zn (亜鉛) の熱拡散による無秩序化³⁾

InGaAs/InP 超格子にZnを熱拡散すると、III族原子In,Ga間では相互拡散するが、V族原子As,P間では相互拡散が起こらず、また、III族原子の相互拡散も完全には進行しない、との結果が得られた。図2にZn拡散前後の各構成原子の深さ方向プロファイルを示す。このプロファイルはSIMS(2次イオン質量分析)法により得られた。また、Znの熱拡散は、550℃と熱処理だけでは構造安定な温度で行なっている。

この結果は、GaAs/AlAs超格子のようにV族原子を1種類のみ含む系では、Zn拡散によりIII族原子Ga,Al間の相互拡散により完全にGaとAlが均一に混ざり合い、超格子構造が無秩序化して単一のGaAlAs層となってしまうことと比較すると、大変興味深い。Zn拡散により一部無秩序化されたInGaAs/InP超格子では、格子定数はもとのものと異なっており、内部にストレスが存在し、X線回折データの解析よりある程度以上の相互拡散が抑制されていることがわかった。なお、Zn拡散に誘起された超格子構成原子の相互拡散は、格子間位置にあるZnイオンと空格子点の移動に伴い構成原子が移動すると考えられる。

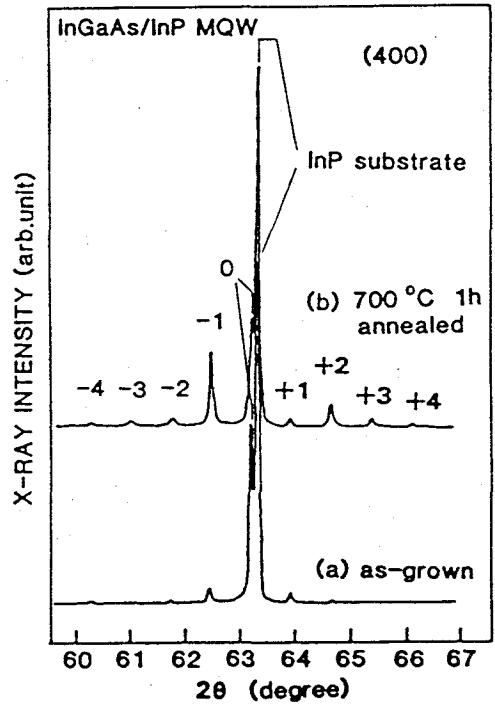


図1. InGaAs (厚さ50Å)/InP (厚さ75Å) 超格子のX線回折プロファイル
(a)無処理サンプル
(b)700℃で熱処理したサンプル

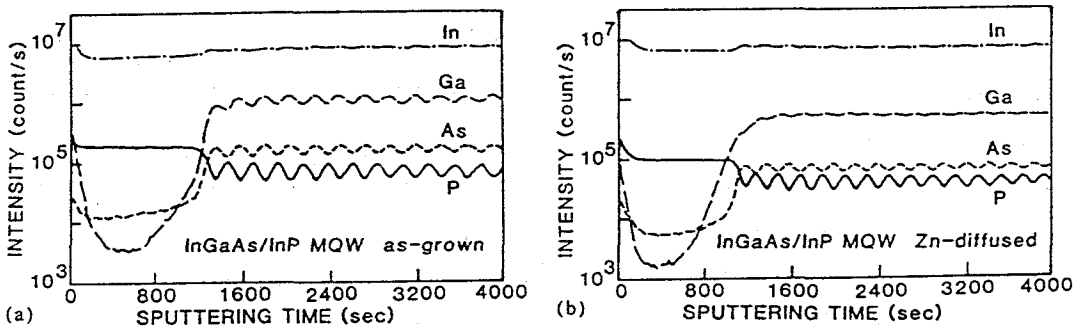


図2. SIMSにより得られた構成原子の深さ方向プロファイル
(a)無処理サンプル、(b)Znを熱拡散したサンプル
この図では、測定上、Inのプロファイルは(a)(b)共に構造が検出されていない。

§4. Gaイオン注入による無秩序化⁴⁾

それでは、Gaイオンを注入し熱処理を施した場合にはどのようなことになるのであろうか。GaAs/AlAs超格子では、Ga, Alの相互拡散が生じGaAlAsが生成されることが知られている。集束イオンビーム注入装置を用いれば、Gaイオンは $0.1\mu\text{m}$ 以下の細いビームに絞ることができ、局部的に相互拡散を起こさせ、微細な構造を形成する可能性がある。

加速電圧 100kVでGaイオンを注入し、640℃で熱処理することにより、フォトルミネセンス・スペクトルのピーク波長は短波長（高エネルギー）側にシフトし、相互拡散の起こっていることがわかった（図3）。シフト量は100meV以上に達する。この場合には、Zn拡散の時とは異なり、Ⅲ族原子、V族原子共に相互拡散が起こっていることがSIMS測定により確かめられた（図4）。図4よりわかるように、Gaイオン注入直後に、既に、各原子はある程度相互拡散し、熱処理により更に相互拡散が進んでいる。このことと、ラマン分光測定による結果より次のことがわかった。InGaAs/InP超格子はGaイオン注入過程で、原子衝突により各原子はその格子位置より移動させられると同時に、結晶欠陥が生成される。熱処理を施すことにより、更に原子の相互拡散が進み、結晶欠陥は回復する。熱処理中の相互拡散は、結晶欠陥の存在による熱的安定性の低下による。即ち、結晶欠陥を介して相互拡散が進行すると考えられる。熱処理中の相互拡散の程度はGaAs/AlAs超格子の場合と比べて大きく、Ⅲ族、V族原子がそれぞれ2種類存在していることに関係していると考えられる。

このように、Gaイオン注入を用いると、InGaAs/InP超格子は、Ⅲ族、V族原子共に、相互拡散し、生成された新しい結晶の格子定数はもとのものとほとんど同じでストレスは小さいものと期待される。

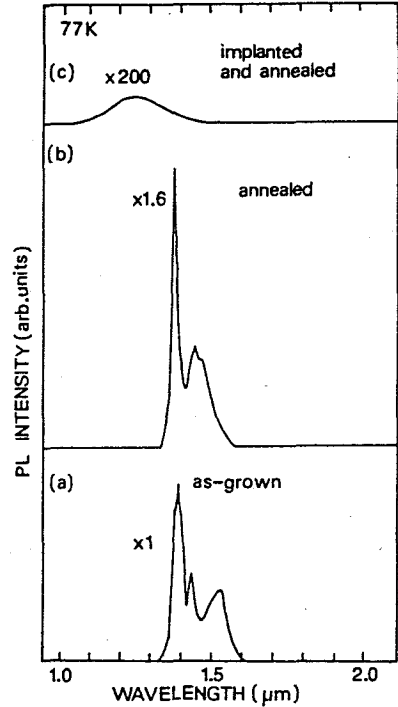


図3. フォトルミネセンス・スペクトル
(a)無処理サンプル
(b)640℃で熱処理だけ施したサンプル
(c) $5 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ のGaイオンを注入、640℃で熱処理したサンプル
(a)(b)ではピーク波長に変化は見られないが、(c)では短波長側にシフトしている。

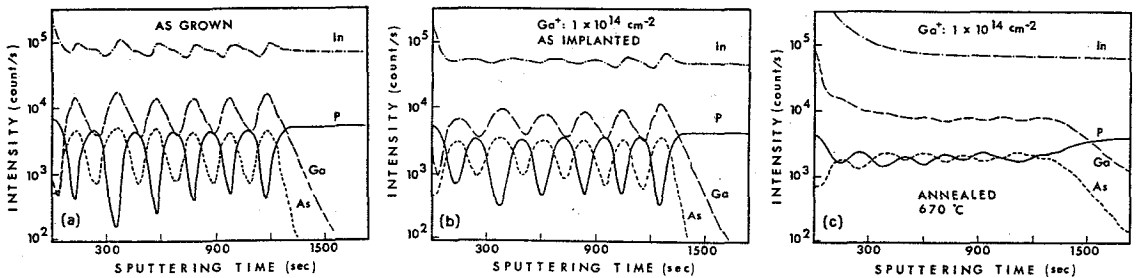


図4. SIMSにより得られた構成原子の深さ方向プロファイル
(a)無処理サンプル
(b) $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ のGaイオンを注入直後のサンプル
(c)更に670℃で熱処理を施したサンプル

§5. まとめ

以上、V族原子を2種類含んだInGaAs/InP 超格子の無秩序化（相互拡散）過程は、GaAs/AlAs 超格子とは大分異なったふるまいをすること、そして、Gaイオン注入法による無秩序化はこの材料系で極微構造を作製する上で有効な方法であることを示した。

参考文献

- 1) K. Nakashima, Y. Kawaguchi, Y. Kawamura, H. Asahi and Y. Imamura, Jpn. J. Appl. Phys. **26** (1987) L1620
- 2) H. Temkim, S. N. G. Chu, M. B. Panish and R. A. Logan, Appl. Phys. Lett. **50** (1987) 956
- 3) N. Nakashima, Y. Kawaguchi, Y. Kawamura, Y. Imamura and H. Asahi, Appl. Phys. Lett. **52** (1988) 1383
- 4) H. Sumida, H. Asahi, S. J. Yu, K. Asami, S. Gonda and H. Tanoue, Appl. Phys. Lett. **54** (1989) 520

お 知 ら せ

- ・低温センター運営委員の異動
三石・藤田両教授の退官に伴い、運営委員に異動がありましたので、現組織表 P. 17に掲載しました。
- ・低温センターだより編集委員の異動
退 任 松 浦 基 浩 氏（京都工芸繊維大工芸学部へ転出のため）
本紙創巻当初から編集委員を務めていただき、永い間ありがとうございました。