

図 7.1 InGaAs/GaAs ひずみ超格子の InGaAs 層

におけるひずみと層厚、結晶性の関係²⁾

(●) : フォトルミネッセンス、ホール測定により高品質と判断されるもの、○ : 結晶性が劣ると判断されるもの)

Osborn らは、ひずみ超格子の電子状態を理論的に検討し、以下のような特徴を明らかにしている³⁾。

- (1) 材料の選択範囲の拡大。
- (2) 平均的に同一組成であっても、膜厚によって内部応力が異なるため、バンドギャップが異なる。
- (3) 応力効果を用いると、間接遷移半導体材料を用いて直接遷移形超格子を形成できる。

これらの特徴のうち(2)、(3)について詳しく眺める。

ひずみ超格子の構造はすでに図 3.4 に示されている。ひずみ超格子層の性質を決めるのは超格子界面に平行な格子定数 a^{II} であり、 a^{II} はひずみ超格子構造に大きく依存する。 a^{II} は以下の式で与えられる³⁾。

$$a^{\text{II}} = a_1 \left[1 + \frac{f}{1 + (G_1 h_1 / G_2 h_2)} \right] \quad (7.2)$$

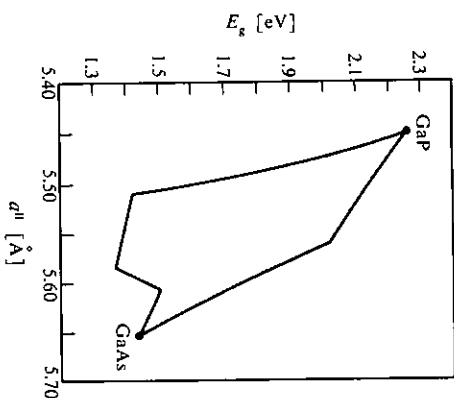
$$G_i = 2 \left[c_{1i}^2 + c_{2i}^2 - \frac{2(c_{12}^2)^2}{c_{11}^2} \right] \quad (i=1, 2) \quad (7.3)$$

ここで a_1 は、ひずみを受けていない層 1 の格子定数、 h_1 、 h_2 は超格子の各層の厚さ、 f は 1 と 2 の層の格子不整合、 c_{1i} 、 c_{2i} は層 i の弾性定数である。式(7.2)から、 a^{II} が一定であっても、 h_1 、 h_2 、 G_1 、 G_2 などいろいろな組み合わせ

7.1 ひずみ超格子

わけの可能性があることが明らかとなる。このことは逆に格子定数とは独立に他の物性定数を制御できる可能性を示している。

図 7.2 は、 $\text{GaAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{GaAs}_y\text{P}_{1-y}$ ひずみ超格子を対象に、 a^{II} とバンドギャップ E_g の制御範囲を解析したものである³⁾。各 a^{II} に対する最大値は GaAsP バルク材料に対応し、左端が GaP 、右端が GaAs となっている。 GaAsP バルク材料の E_g - a_1 の関係は線状となるが、ひずみ超格子では a^{II} と E_g を独立に制御可能となる。同様な解析が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 系で行なわれている。

図 7.2 $\text{GaAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{GaAs}_y\text{P}_{1-y}$ ひずみ超格子

の格子定数 a^{II} とバンドギャップ E_g の関係。各層の厚さと組成を変化させることにより、広い範囲で E_g と a^{II} を独立に制御可能となる³⁾

Gourley らは実際に GaP 基板上に $\text{GaP}/\text{GaAs}_x\text{P}_{1-x}$ ひずみ超格子を形成し、 $x=0\sim 0.6$ 、各層厚 $60\sim 400$ Å、堆積層数 $30\sim 100$ のものを形成し、同一格子定数をもつ混晶バルク材料と比較し、バンドギャップ制御範囲が 0.5 eV 大きくなることを示している⁴⁾。

一方、Moriarty らは、 SiGe 系ひずみ超格子におけるゾーン折り返し効果 (E - k 空間での折り返し効果) を、理論的に検討している⁵⁾。図 7.3 は $\text{Si}/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 系超格子の構造およびそれに対応するブリルアン帯の様子を示している。超格子系では、超格子の周期性に対応したブリルアン帯の縮少が生じる。この結果、 k 空間におけるエネルギー帯も大きく変化する。図 7.4 は、バルク Si および $\text{Si}/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 超格子の E - k の関係を示したものである。 Si は典型的な間