

第29回LC計画推進委員会

GaAs/GaAsP歪み補償超格子構造による
高量子効率・高スピン偏極度
フォトカソードの開発

X.G. Jin、山本将博、真野篤志、山本尚人、竹田美和

高エネルギー加速器研究機構、名古屋大学、
あいちシンクロトロン光センター

スピン偏極電子源の必要性

● 素粒子実験への利用

・電子・陽電子リニアコライダー

・電子・イオンコライダー

(J-Lab, BNLで建設中である。)

Parameters:

- Spin-polarization: >80%;
- Beam average current: 63 μ A;
- Bunch charge: 4.8 nC;
- Life time: 2週間以上.

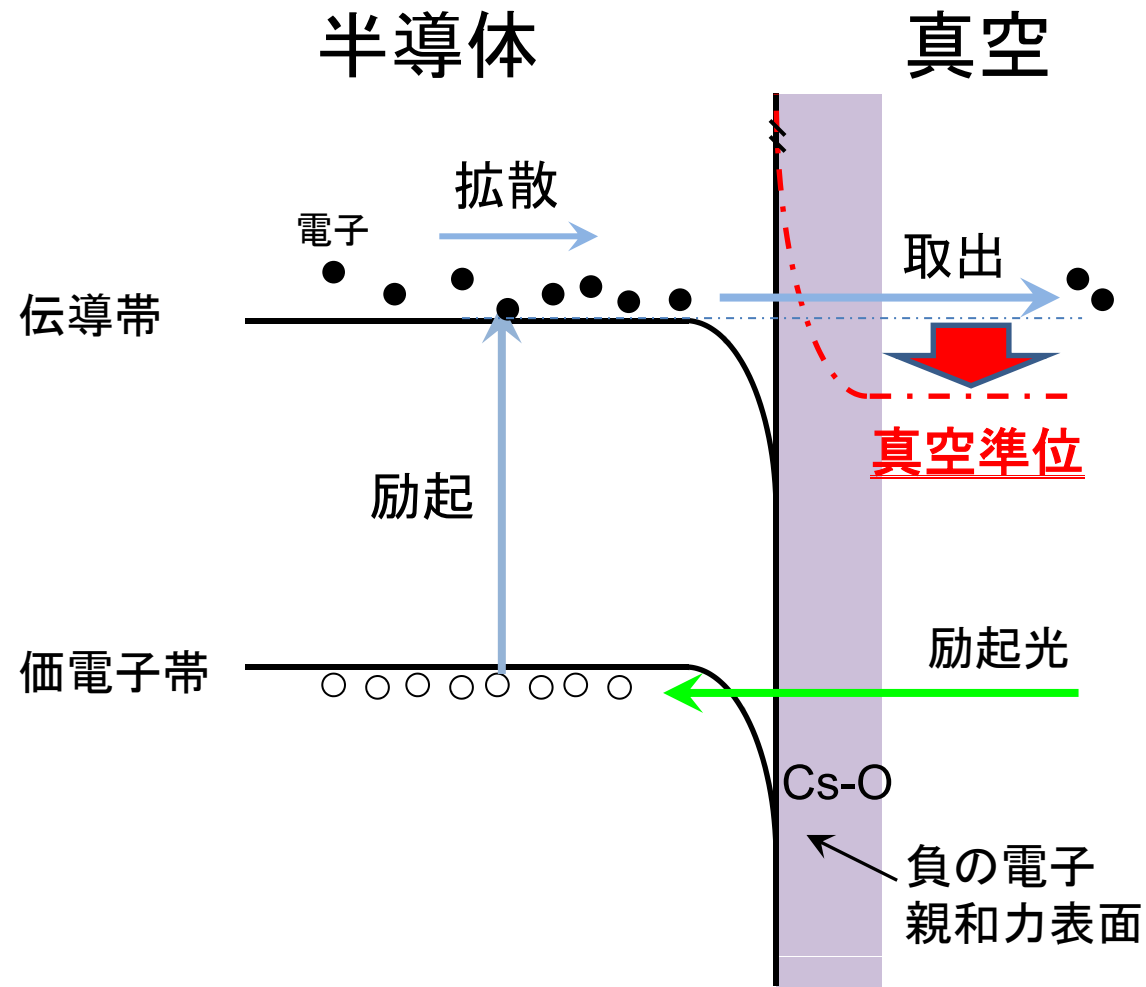
Parameters:

- Spin-polarization: >80%;
- Beam average current: 50 mA;
- Bunch charge: 3.5 nC;
- Long life time.

● 物性研究への利用

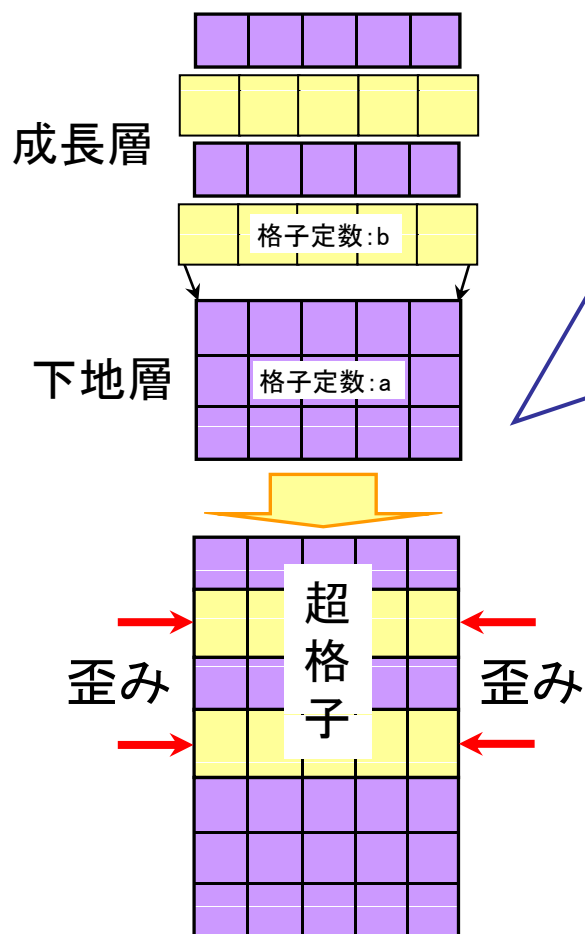
- LEEM、TEMなどの電子顕微鏡にスピン偏極電子ビームを用いることで、磁区構造観察が可能になる。

半導体フォトカソード

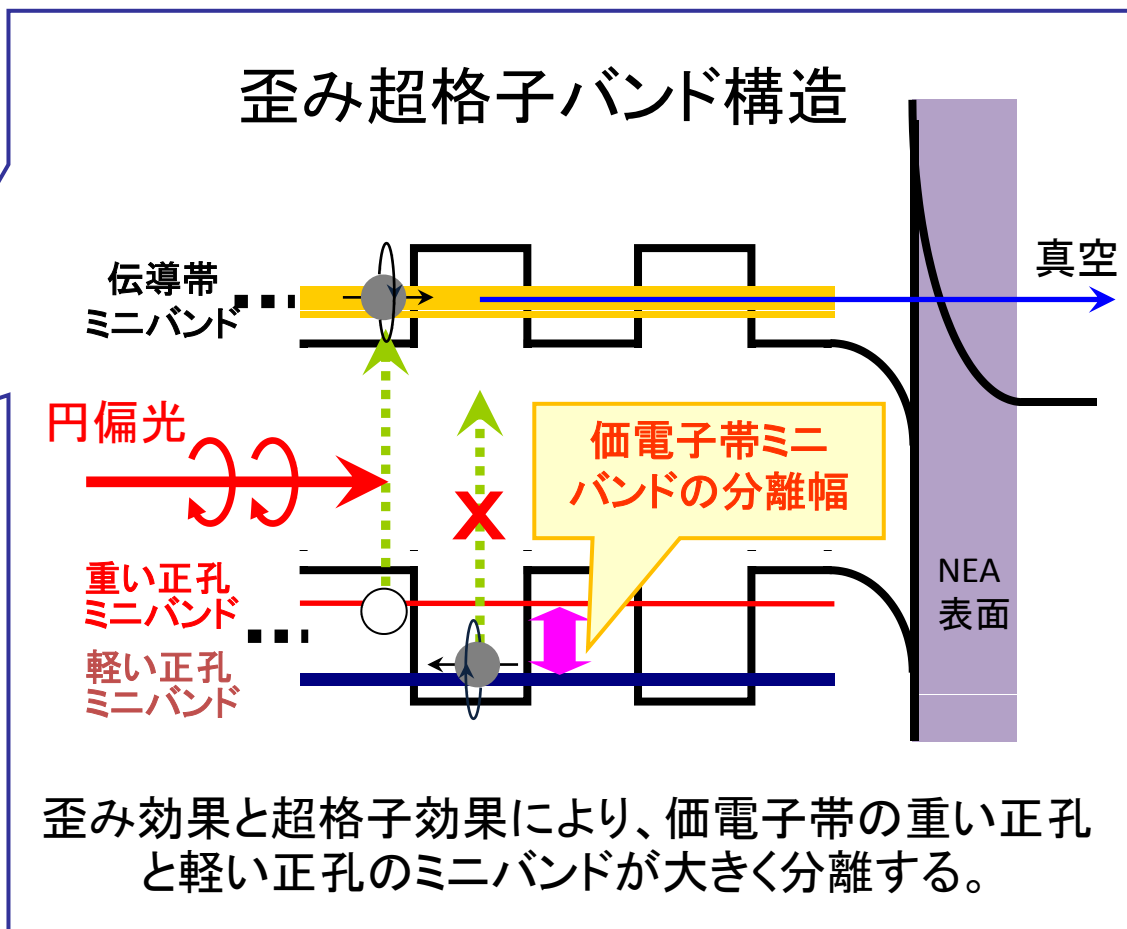


歪み超格子構造による高偏極度の実現

歪み超格子構造



歪み超格子バンド構造

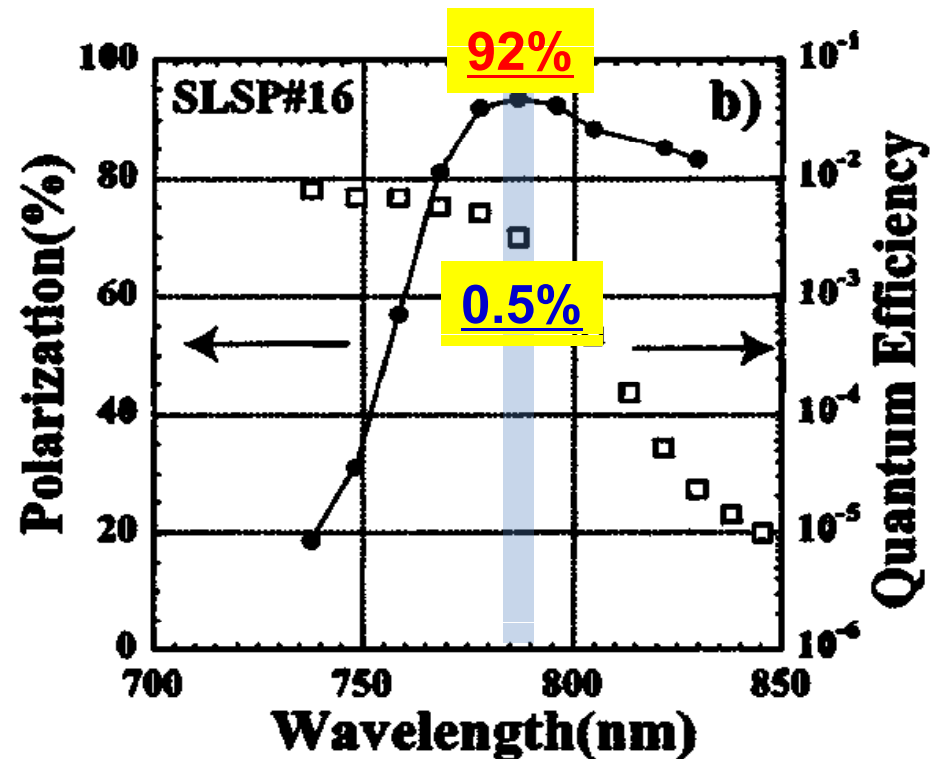


価電子帯の分離により、重い正孔ミニバンドのみから片方のスピン電子を選択的に励起する。

高スピン偏極度の達成



スピン偏極度結果



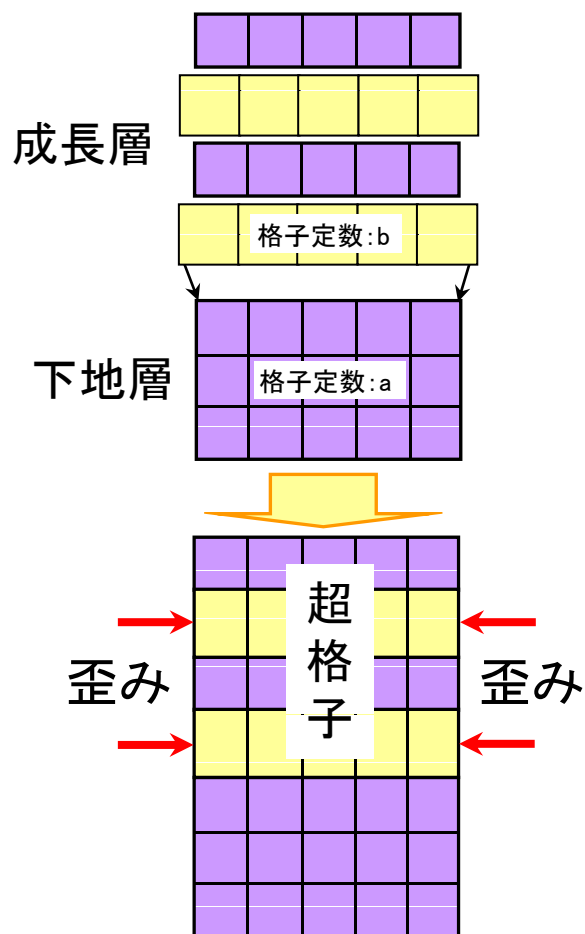
T. Nakanishi, Proceeding of LINAC2002 (2002) 813.

GaAs基板上GaAs/GaAsP歪み超格子構造により
世界最高である**92%の高スピン偏極度**を達成していた。
その時の量子効率**は0.5%**である。

高量子効率を目指して

歪み超格子構造の問題点

歪み超格子構造

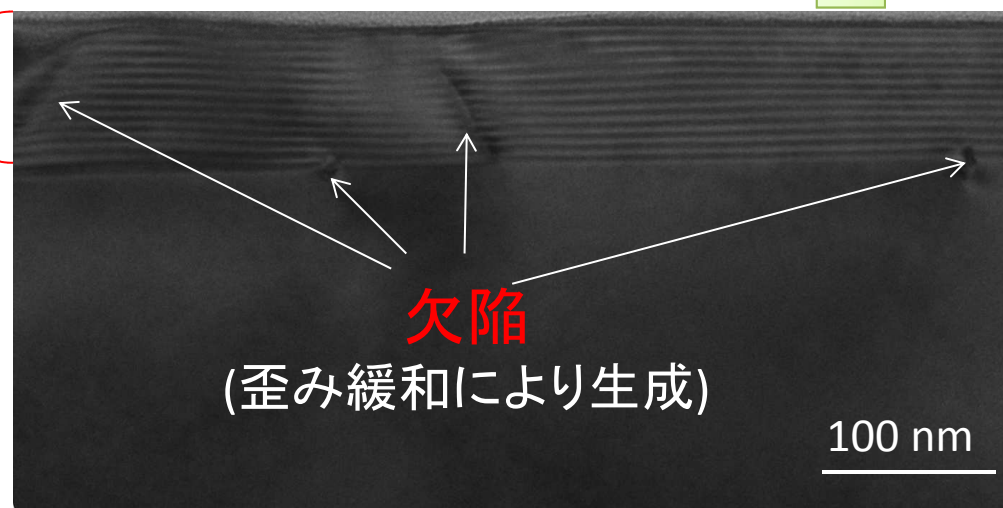


12周期 (96 nm)

GaAs/GaAsP歪み超格子
の断面TEM像

電子↑出る面

超格子



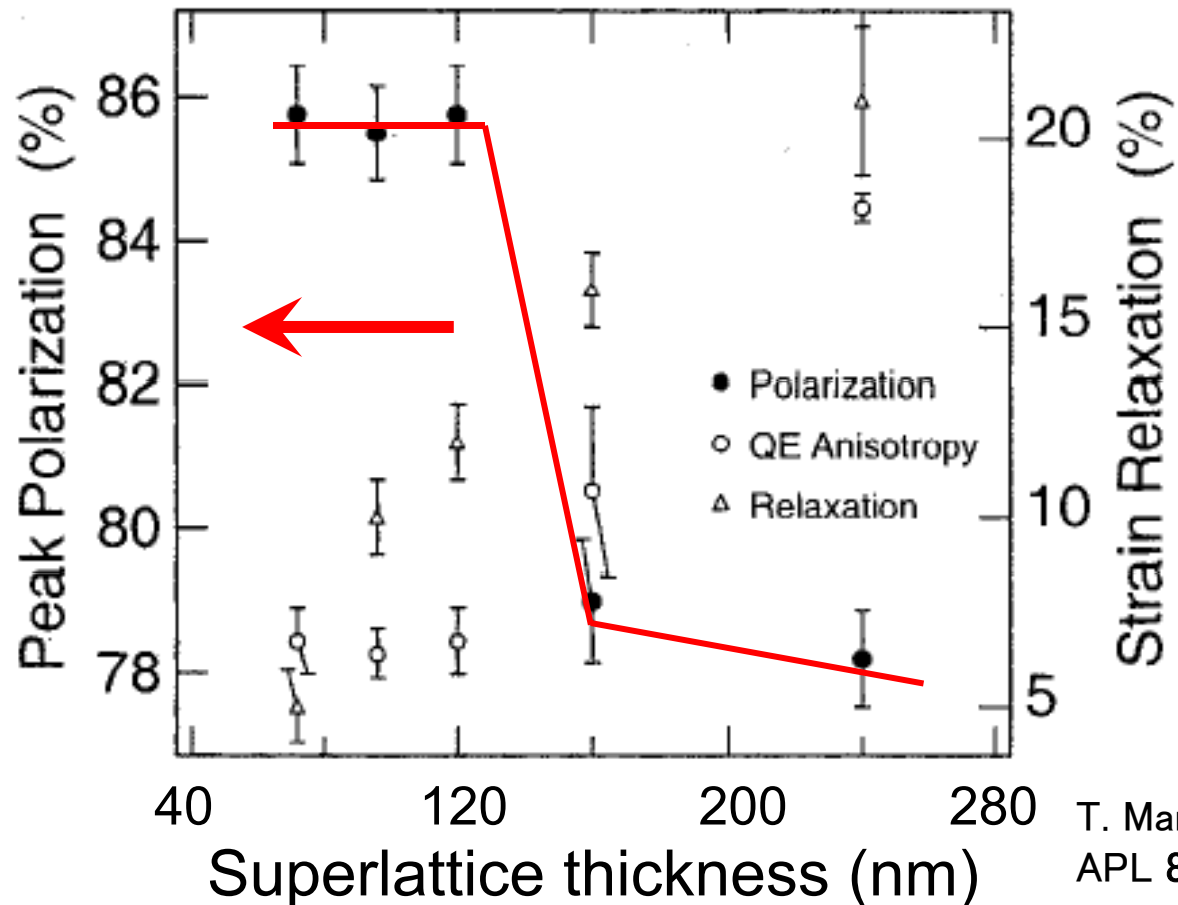
歪みはスピン偏極電子の生成に不可欠だ。

しかし→

歪みは緩和しやすく、
欠陥を導入する。

スピン偏極度の層厚依存性

GaAs/GaAsP 歪み超格子



T. Maruyama *et al.*,
APL 85 (2004) 2640.

Thinner thickness,
Worse crystal quality

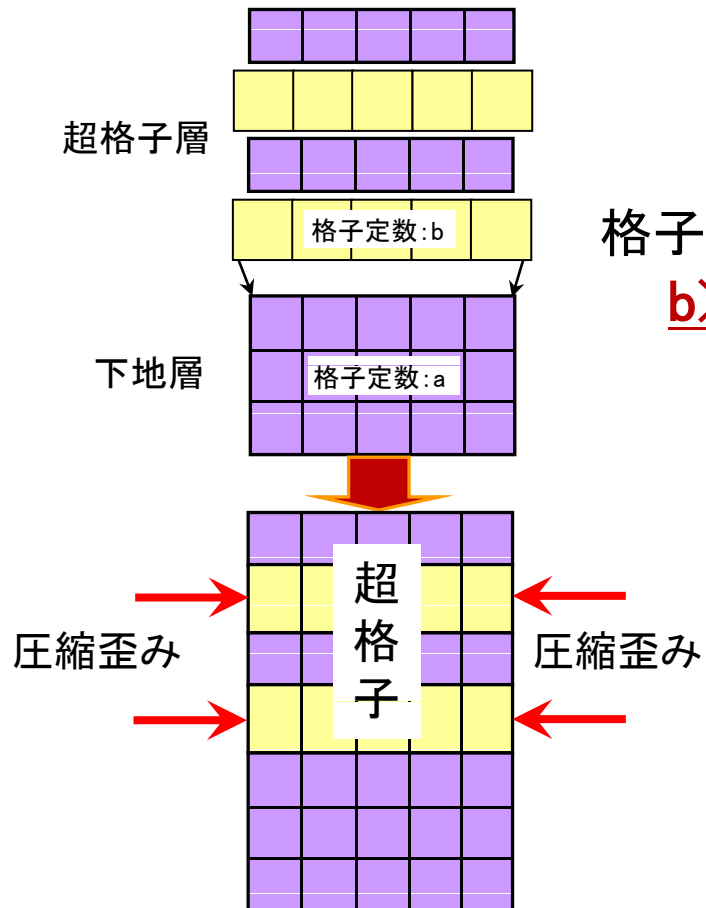


Lower quantum efficiency

量子効率 = 取出電子数 / 励起光子数

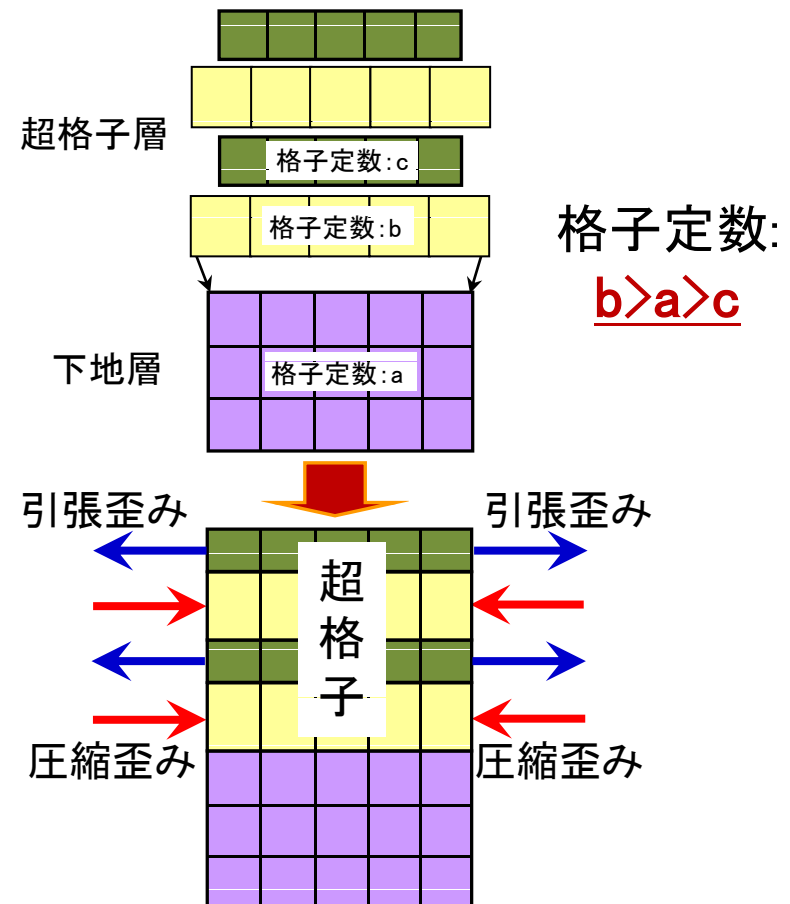
歪み補償超格子の導入

従来型歪み超格子構造



問題点: 歪みの緩和により結晶性が悪化する。

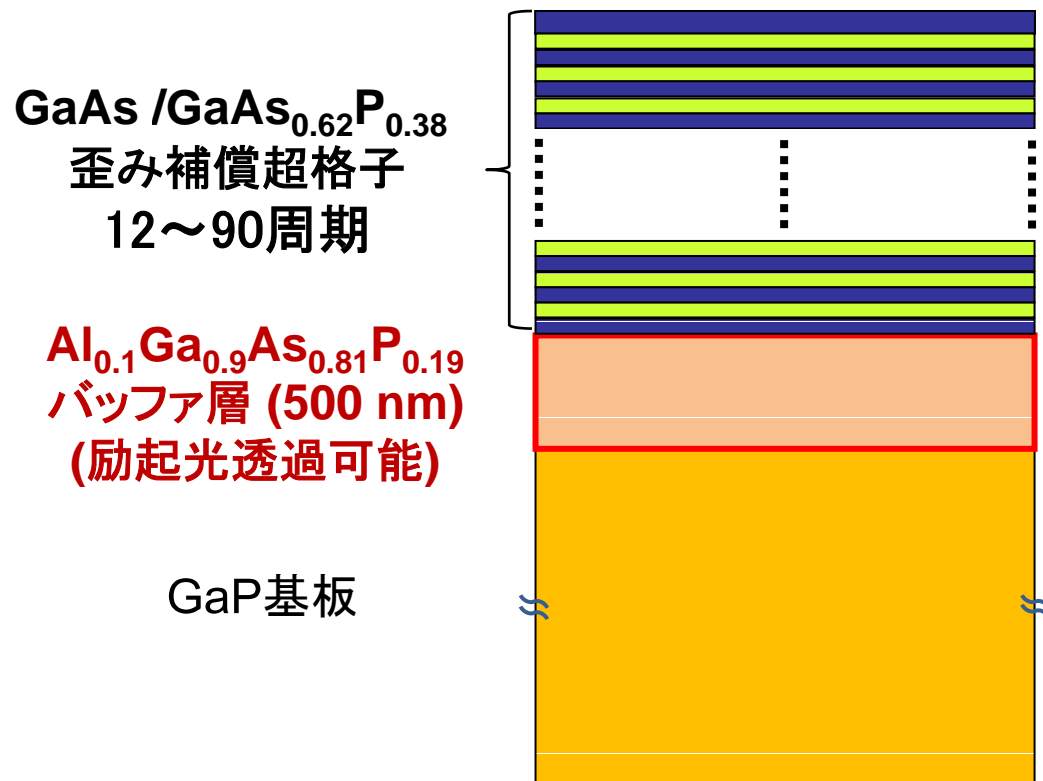
新型歪み補償超格子構造



利点: 超格子全体の歪み量がゼロになり、歪み緩和が抑制される。

歪み補償超格子の作製

GaAs/GaAsP 歪み補償超格子構造



結晶成長条件:

成長方法: MOVPE;

使用原料: TBAs, TBP,
TEGa, TMAI;

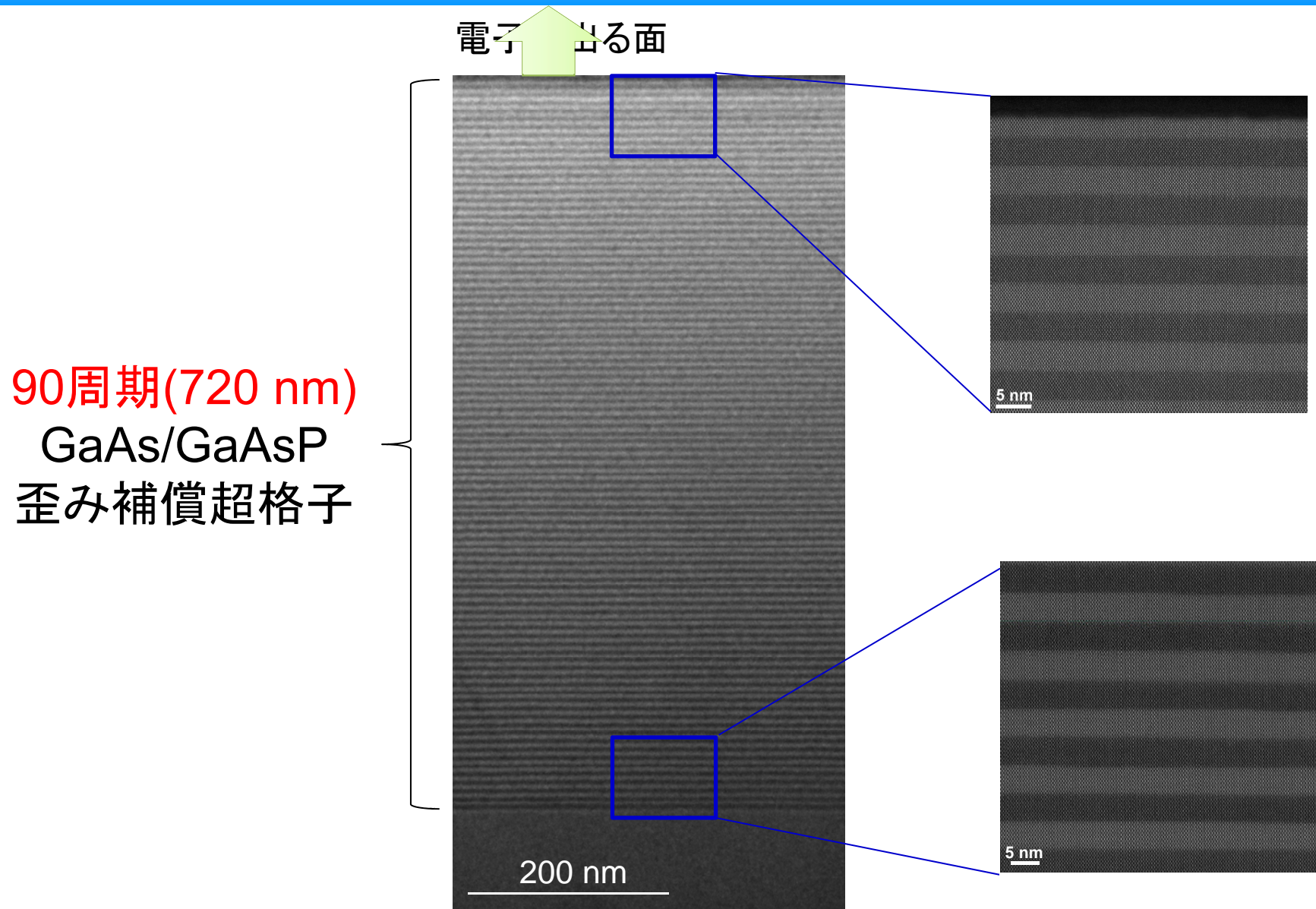
成長温度: 670°C;

成長圧力: 76 Torr;

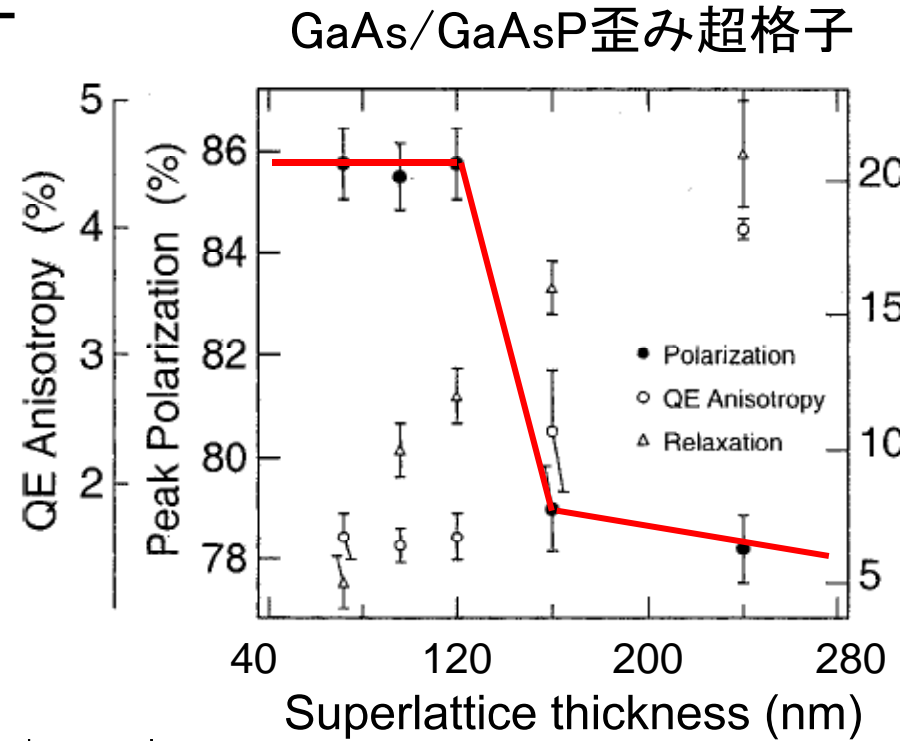
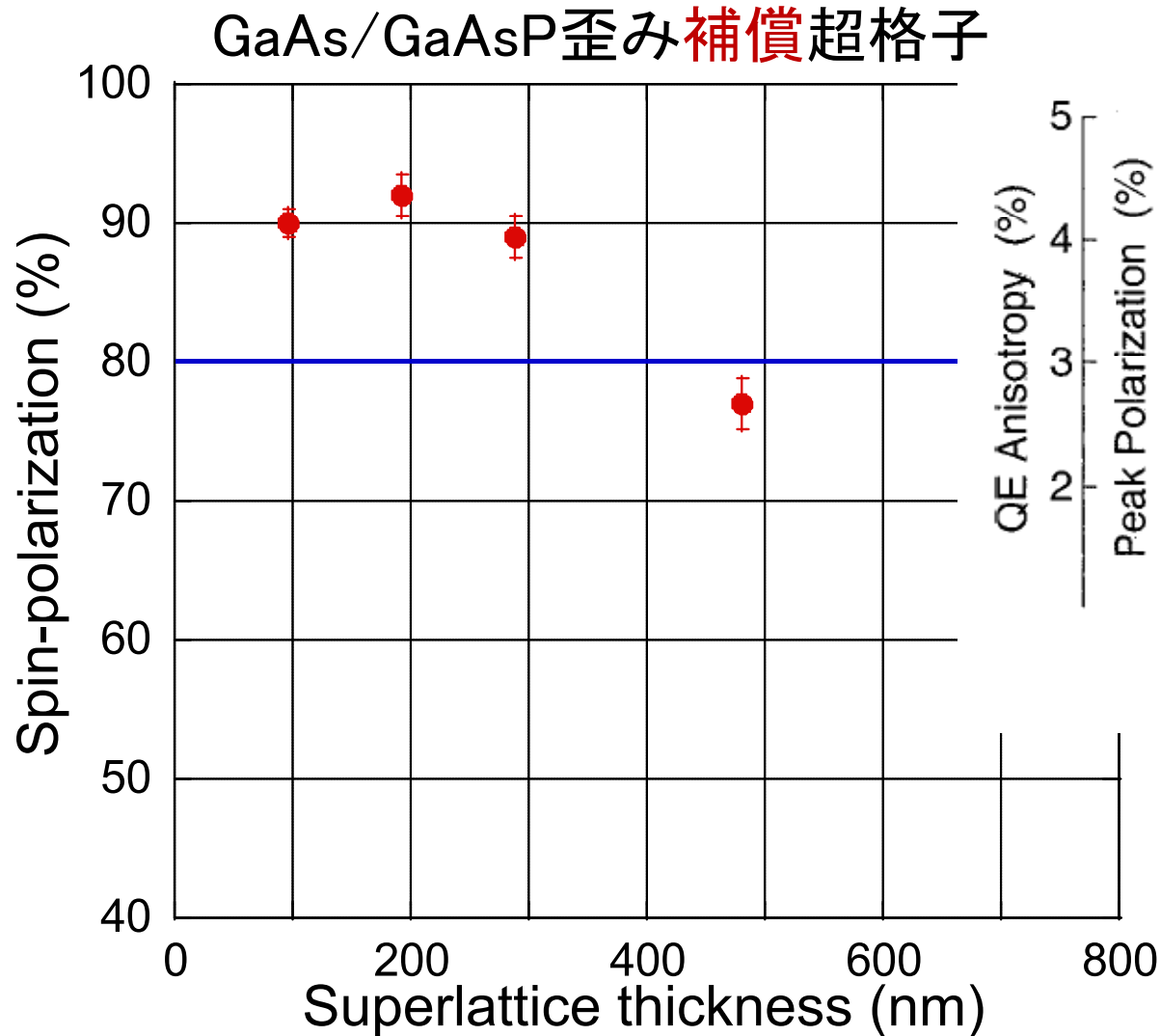
成長速度: 1.2 $\mu\text{m}/\text{hour}$;

V/III比: 15.

歪み補償超格子のTEM像



スピン偏極度の層厚依存性



歪み補償超格子を導入することで、層厚増加によるスピン偏極度の低下が大きく抑制された。

Electron transport can be described
by **diffusion model**:

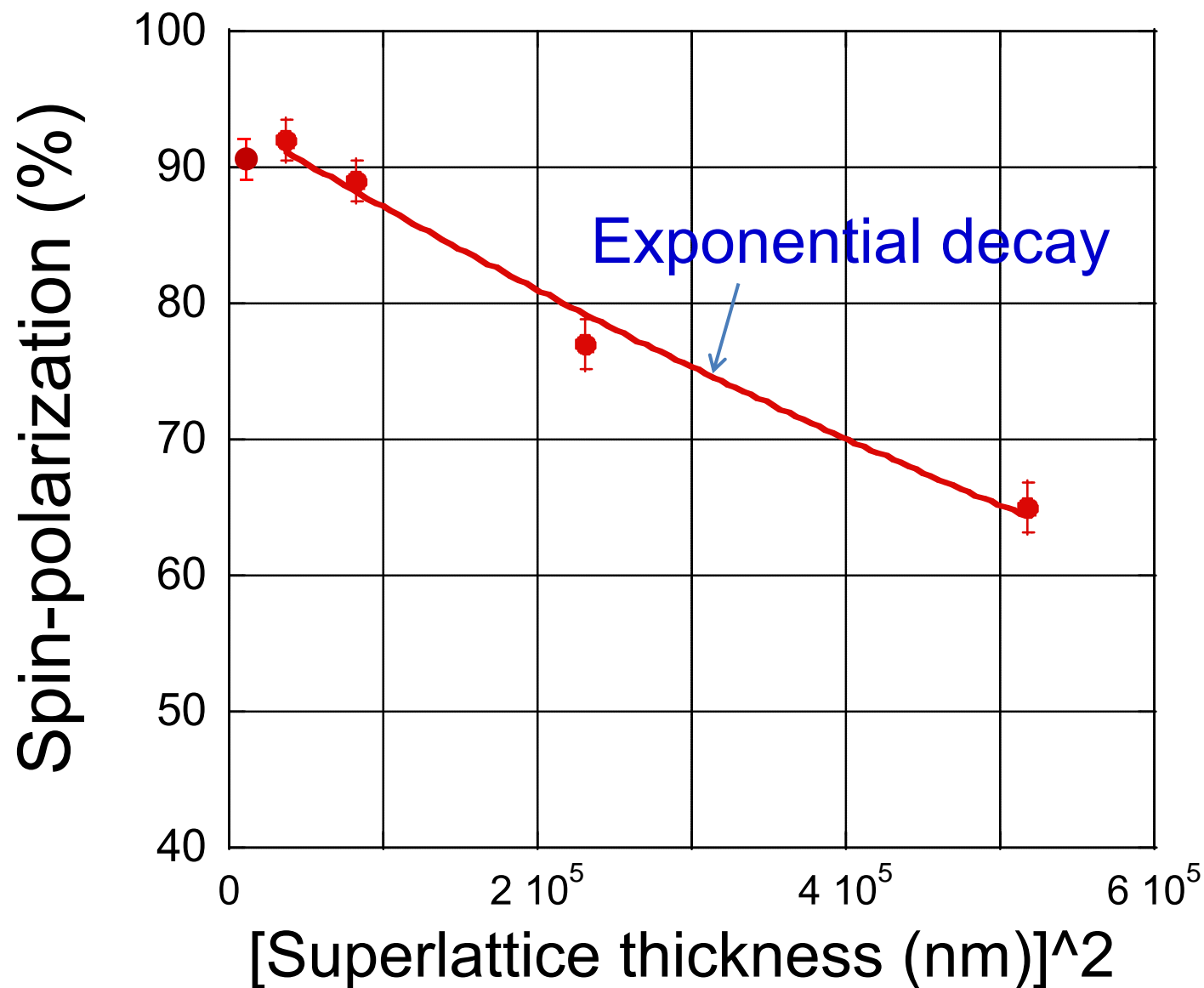
$$t = L^2/D$$

t , transport time;

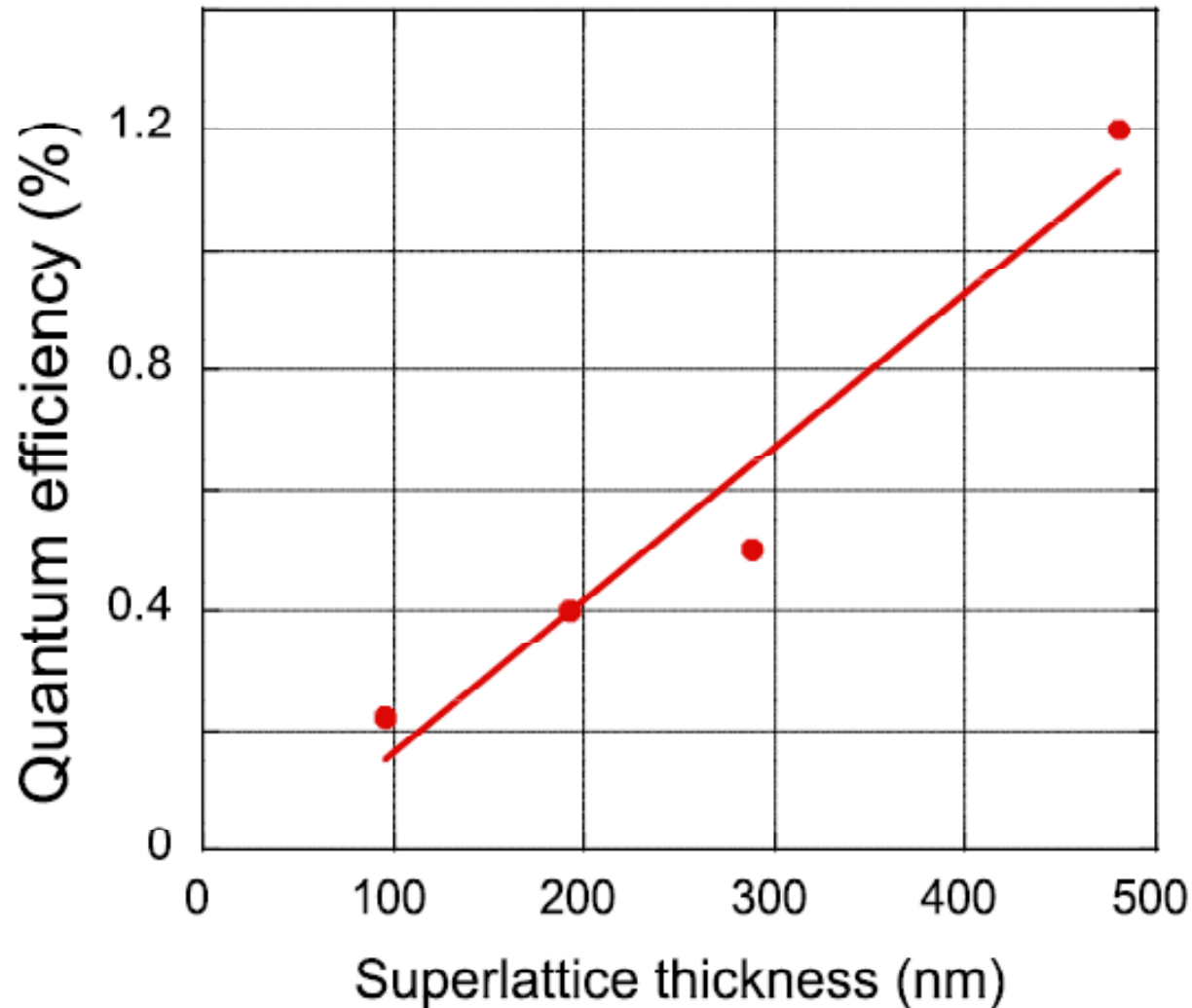
L, thickness of the activity layer;

D, diffusion constant.

スピン偏極度の層厚依存性

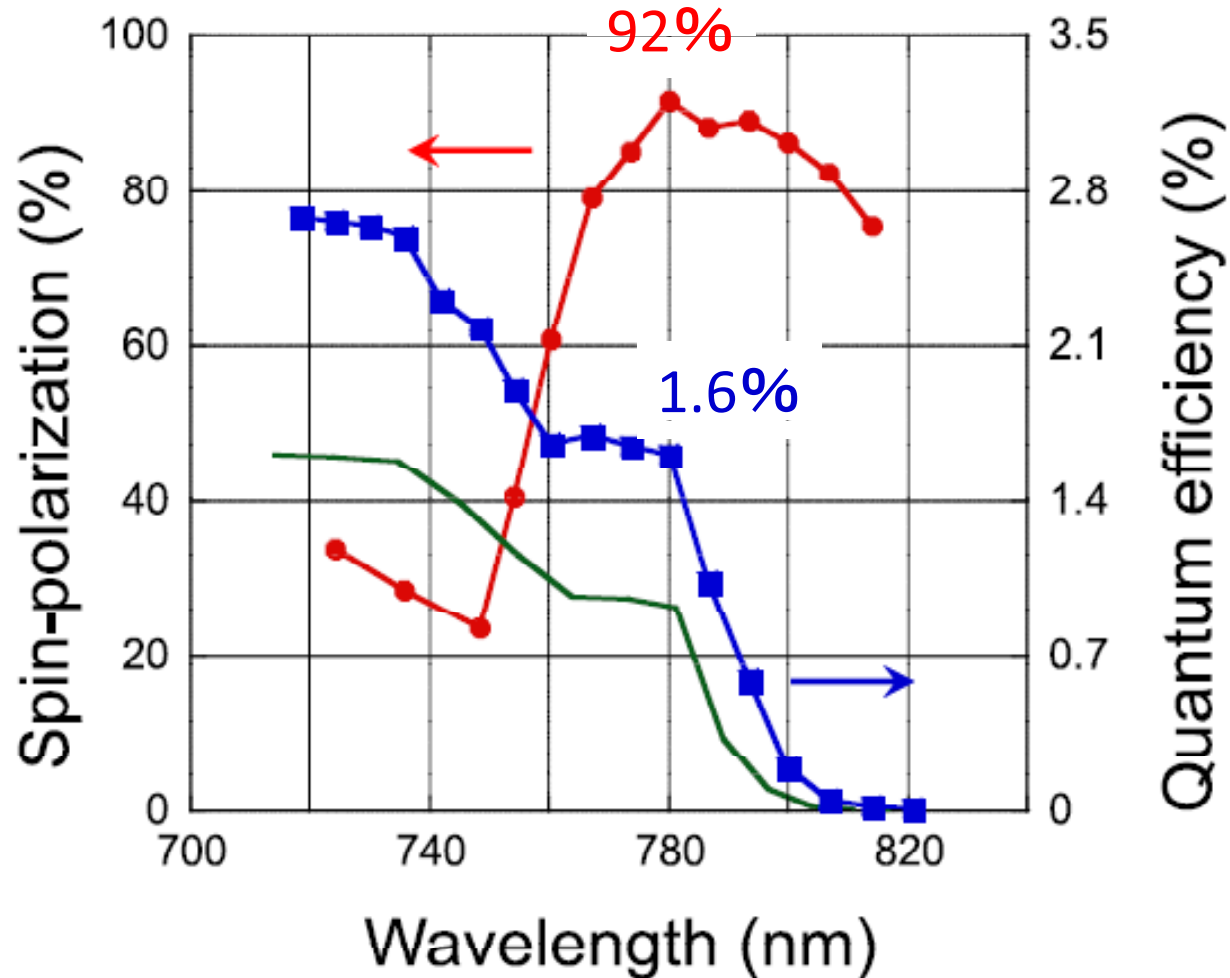


量子効率の層厚依存性



JPES1での測定結果。
加熱による洗浄と、Cs源とサンプルの距離が遠い。

高量子効率の達成



NPES3での測定結果。
原子状水素洗浄と、
Cs源とサンプルの距離が近い。取り出し電圧が100Vである。

24周期のGaAs/GaAsP歪み補償超格子フォトカソードより、
世界最高である1.6%量子効率と92%のスピンの偏極度を達成した。

今後の予定

- 500 kV電子銃で、大電流(1 mA)測定を行う。
- Cleaningにおける、フォトカソードの寿命測定を行う。
- NPES3における超格子の層厚と量子効率の依存性を測定する。