



高移動度・高温度安定性InSb系半導体 ウエハの開発

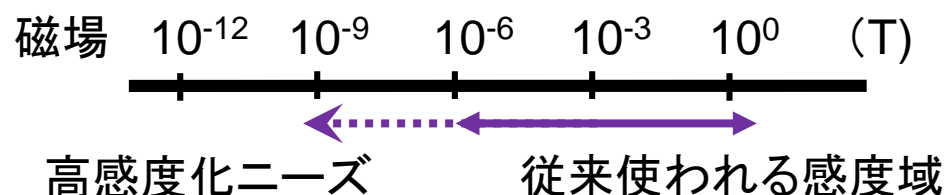
福岡大学 理学部 物理科学科
教授 眞砂卓史

InSb系ウエハの特性改善の要望

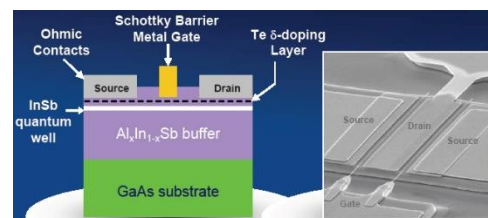
移動度の向上

単結晶化、量子井戸化、低バンドギャップ化

ホール素子の場合、高感度化に直結



トランジスタ応用の場合、高速化に直結



Intel
III-V族トランジスタ研究

動作温度領域の拡大

キャリア密度変化の抑制、ドーピング？

従来の動作温度 0 °C

100 °C

研究
航空
・
宇宙

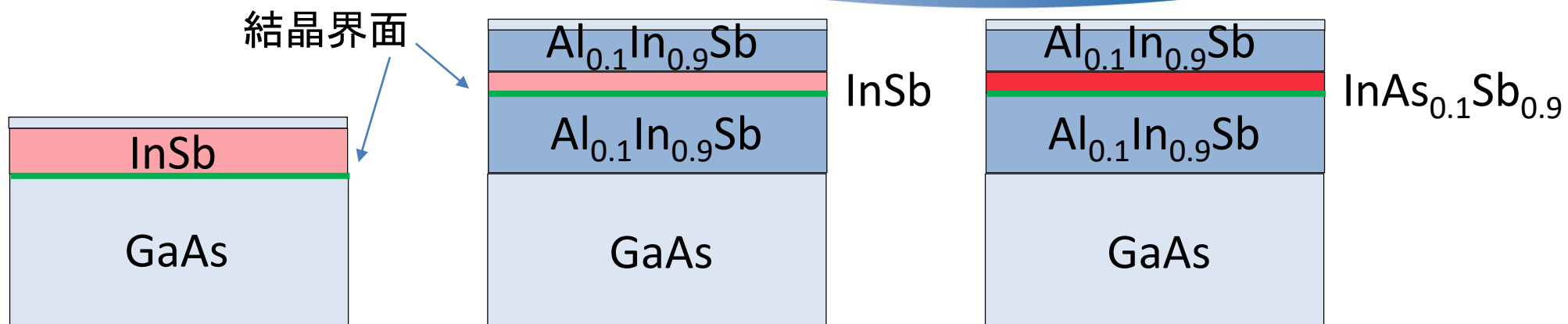
~ -50 °C

新規応用でのニーズ

200 °C ~

航空
・
宇宙
鉄道
・
車載

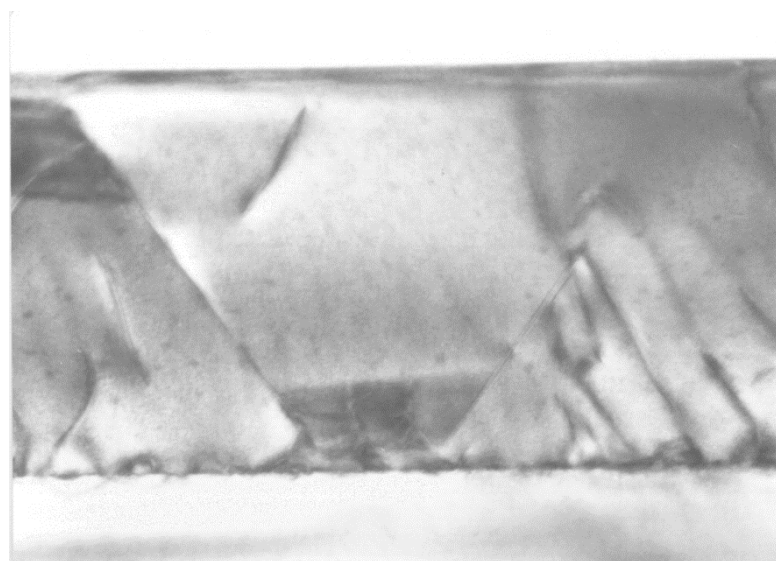
ウエハの単結晶化・量子井戸化



格子ミスマッチ 14%

0.5%

0%

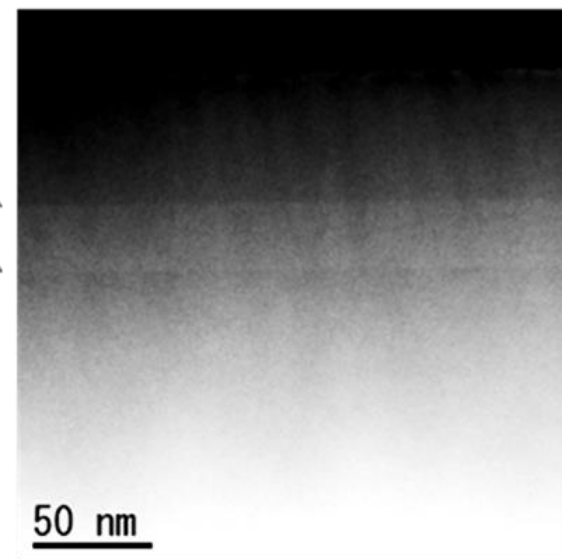
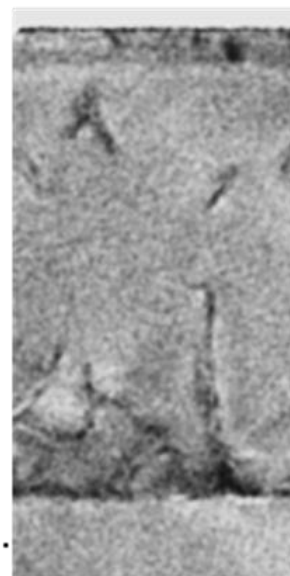


200nm

AllnSb
InAsSb=

AllnSb

GaAs sub.

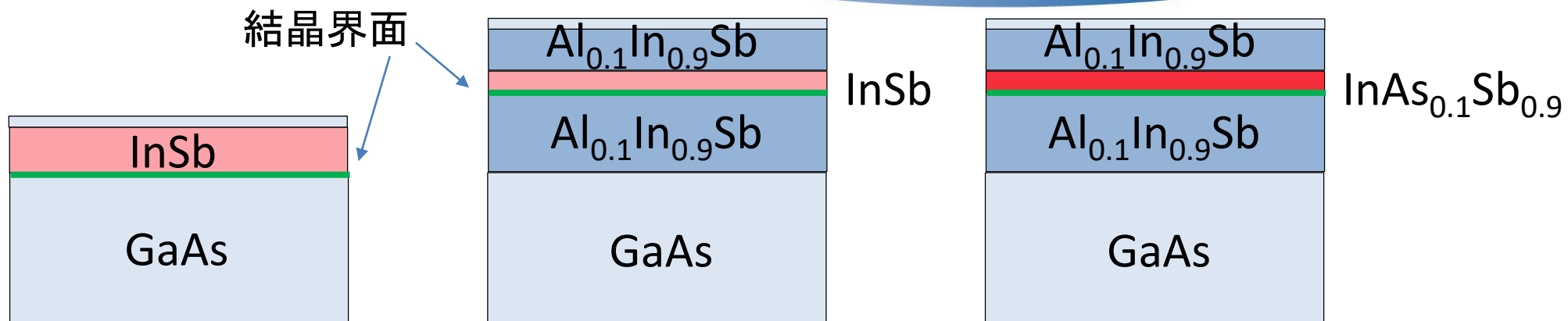


50 nm

InSb層に多数の欠陥

量子井戸層の欠陥は激減！

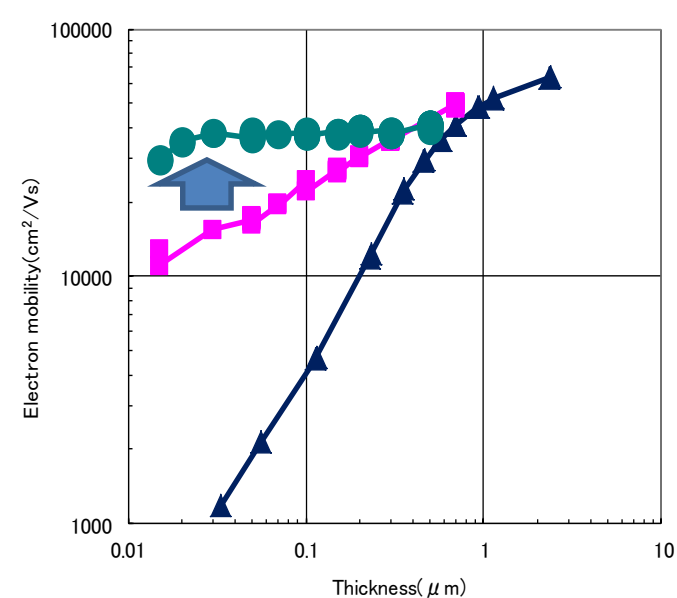
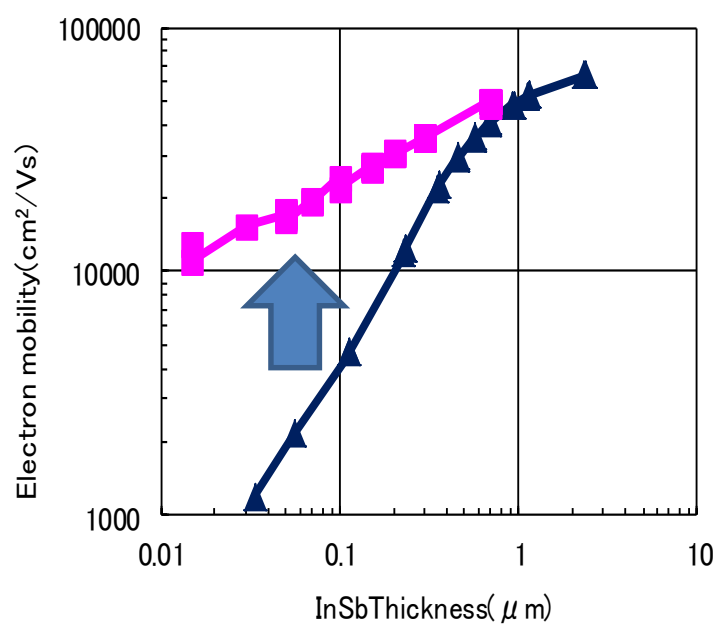
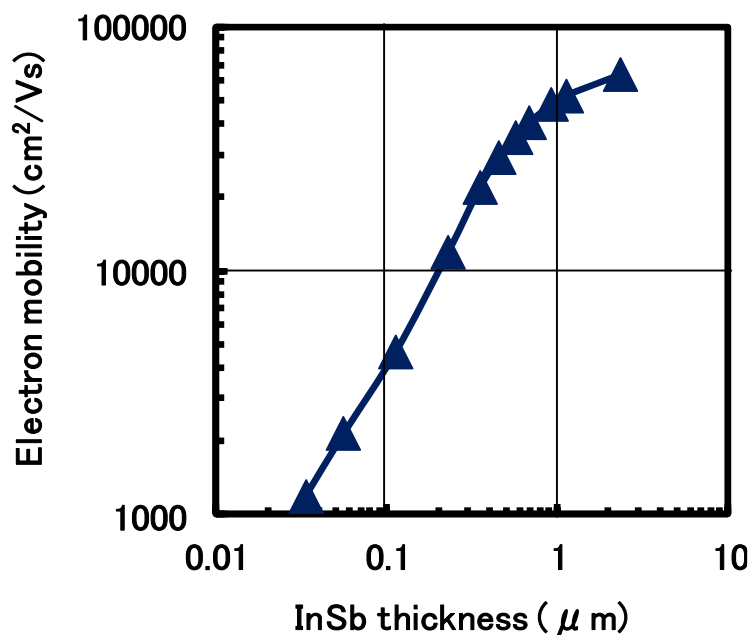
ウエハの単結晶化・量子井戸化



格子ミスマッチ 14%

0.5%

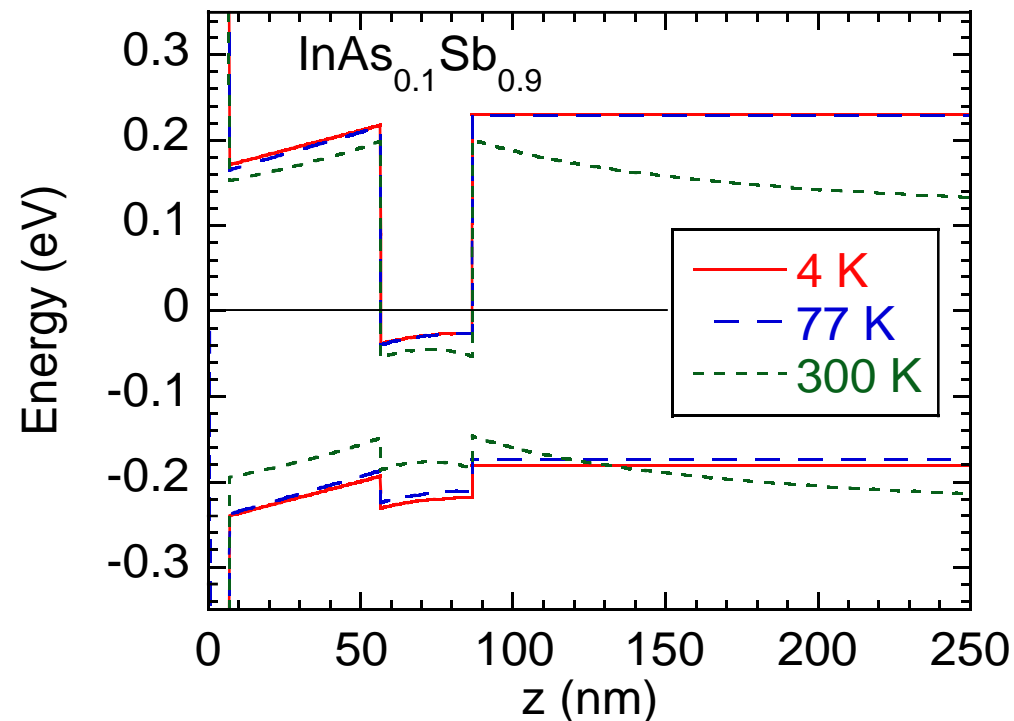
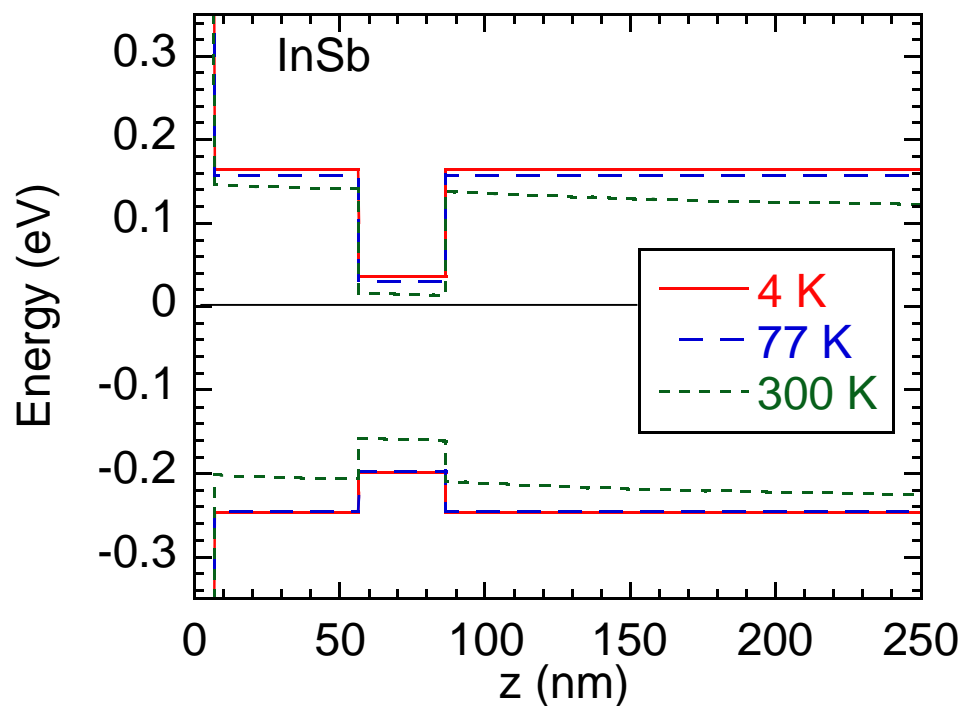
0%



移動度が大幅改善！（特に薄い膜）

特性向上の要因

Sb→As置換効果(バンド計算)



低温では井戸が空亡化
抵抗の温度変化が大きく
極低温では絶縁体



Type II QWに変化
井戸層の底がフェルミレベルより下になる
低温での空亡化を防ぐ・温度安定性増加

本研究内容 と 新技術の特徴

本研究内容

InAsSb/AlInSb量子井戸構造を、井戸層、障壁層の全組成範囲のバンド計算から最適条件を検討

新技術の特徴

最適な組成組み合わせ条件を提案

低温でも十分なキャリア密度の確保
移動度向上に資するバンド構造



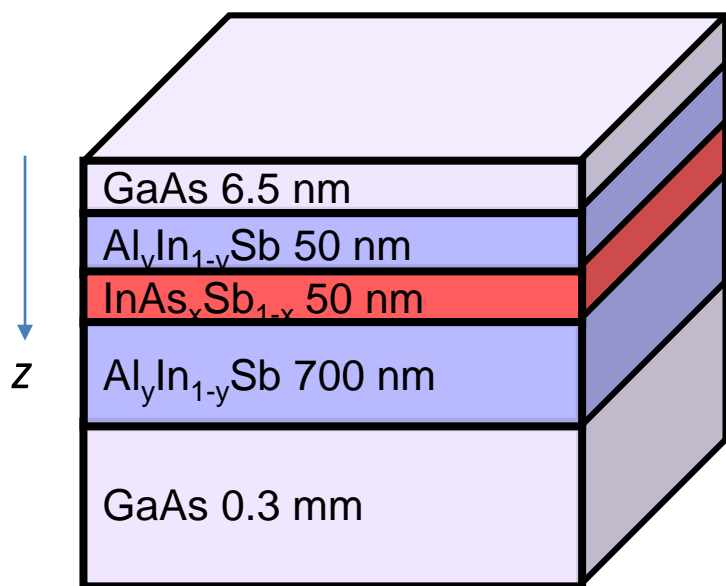
極低温で使用可能なInSb系ウエハ
高移動度と高い温度安定性の両立

シミュレーション方法

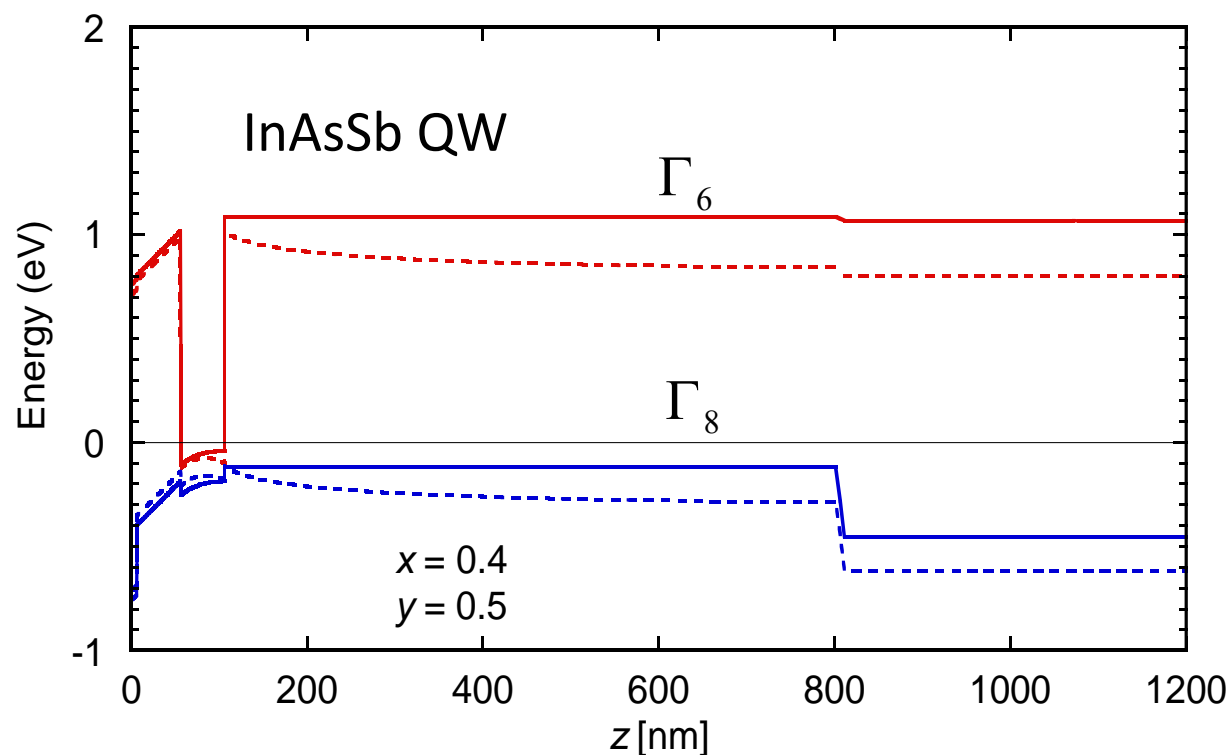
バンドダイアグラム計算

Poisson-Schrödinger方程式計算プログラム

今回は50 nmとしてが、井戸幅は大きくても構わない



井戸層 InAs_xSb_{1-x} : $0 \leq x \leq 1$
障壁層 Al_yIn_{1-y}Sb : $0 \leq y \leq 1$



狭バンドギャップ化

バンドギャップが小さいほど、有効質量が小さくなる。

→ 移動度向上

バンドのbowing効果

InSb

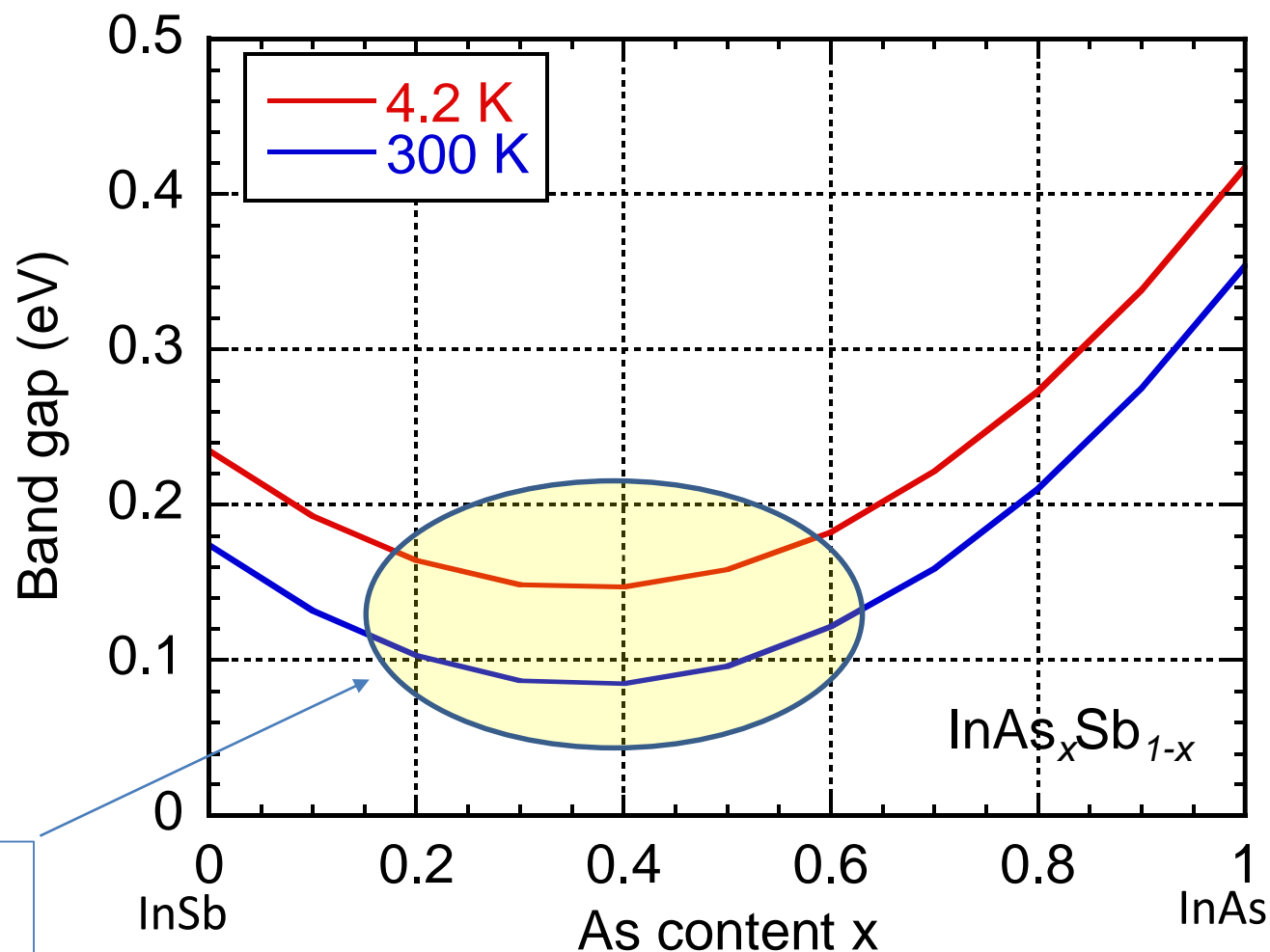


InAsSb

InSbより小さい
バンドギャップを
実現可能

新規材料狙い目

$0.2 \leq x \leq 0.6$ が好適

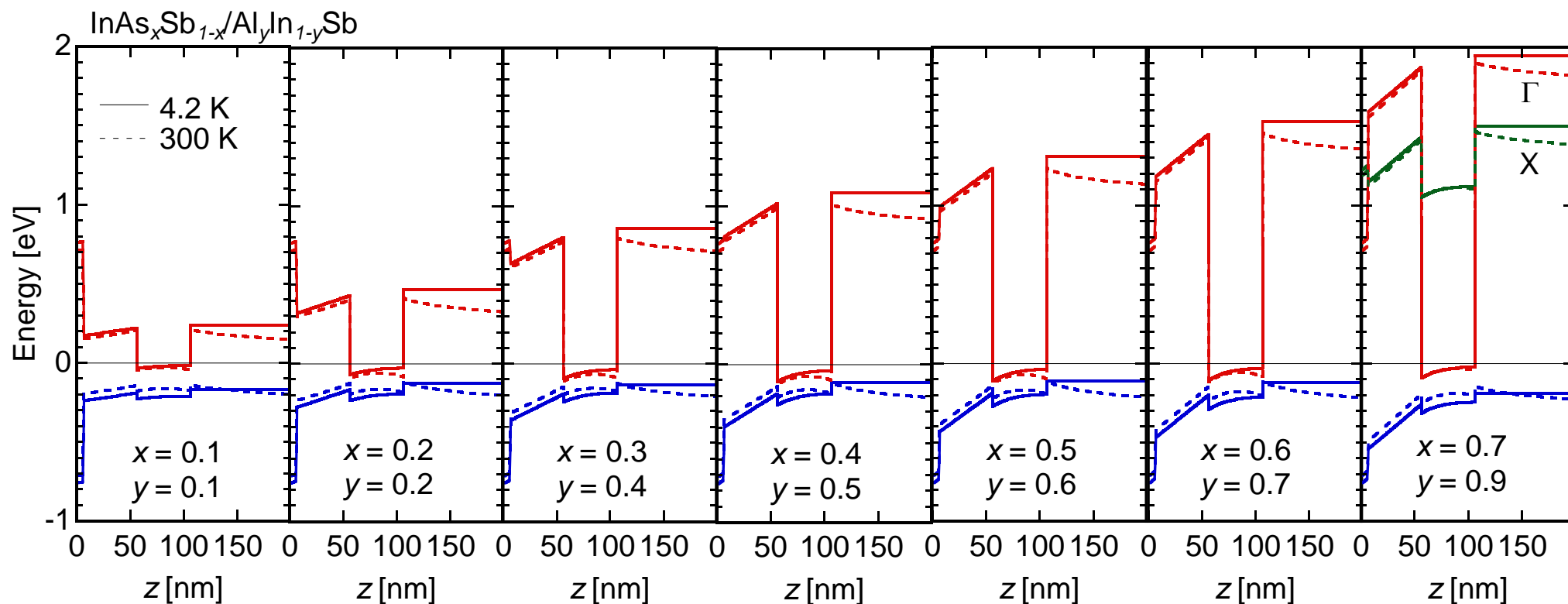


格子整合InAs_xSb_{1-x}/Al_yIn_{1-y}Sb量子井戸バンド構造

$x-0.1 \leq y \leq x+0.2$ あたりが格子整合がよい。
(高品質な結晶の実用範囲)

(最適: $y \sim 1.22x$)

格子整合が良い組成の量子井戸バンドダイアグラム

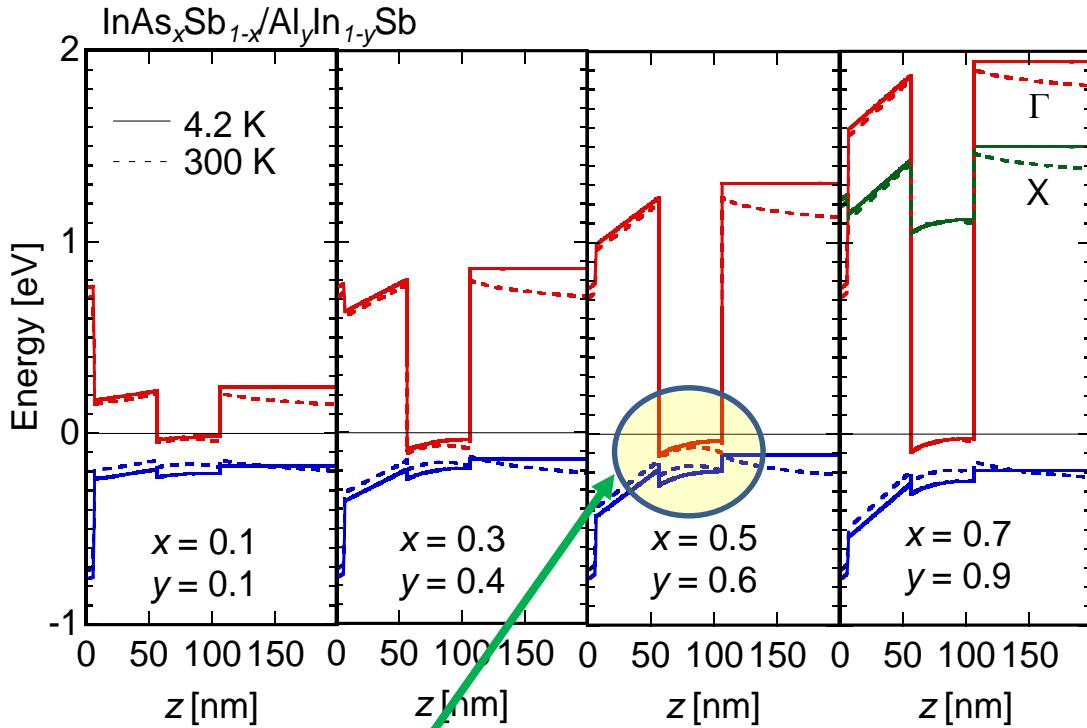


空乏化しないため、低温で使用可能。
抵抗の温度特性の安定化

バリア高さが増加。界面散乱の抑制。
移動度向上。

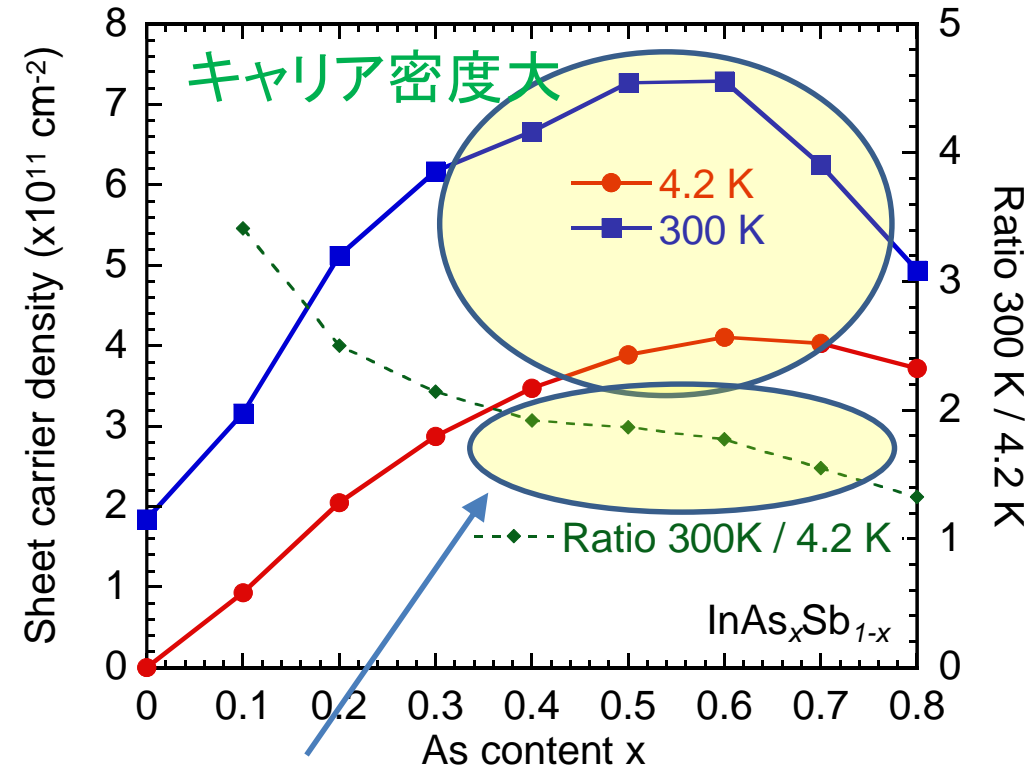
キャリア密度の変化

バンド構造の変化



井戸が深くなっていく

キャリア密度の変化



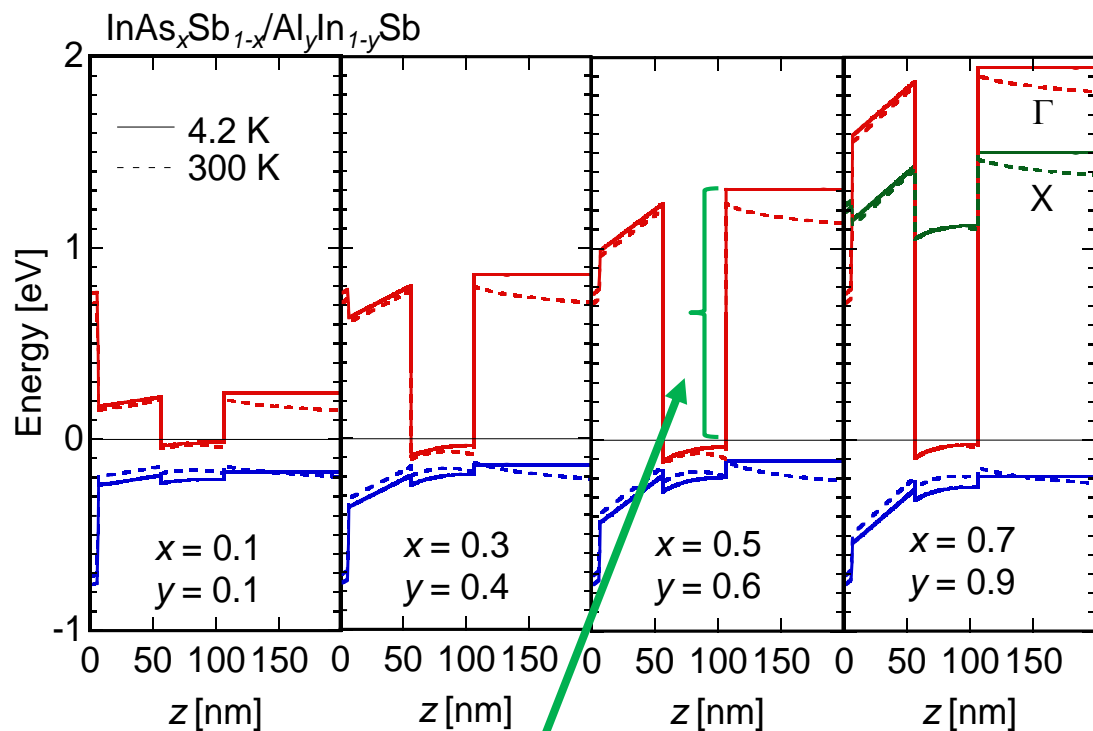
低温と室温のキャリア数
変化が小さい

$x \geq 0.4$ が最適

キャリア密度増大 → 温度変化に強い (キャリア密度の温度安定性向上)
移動度の低下抑制にも貢献

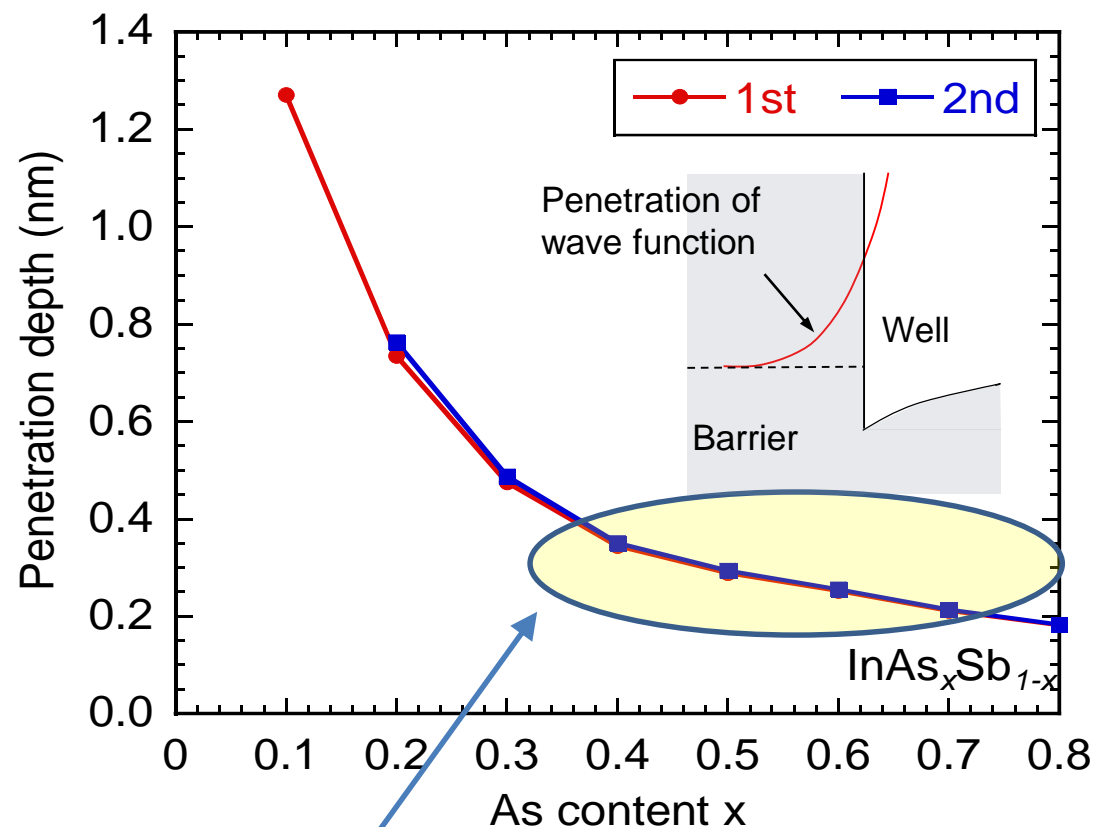
バリア高さの変化

バンド構造の変化



障壁はxが大きいほど高くなる。

波動関数侵入長



この辺りで十分小さい

$x \geq 0.4$ が最適

高い障壁層 → 障壁層での電子励起減少 (キャリア密度の温度安定性向上)
波動関数の侵入長減少 (界面散乱抑制。移動度向上)

InAs_xSb_{1-x}/Al_yIn_{1-y}Sb量子井戸まとめ

バンドギャップの観点(低有効質量)

$$0.2 \leq x \leq 0.6$$

キャリア密度の観点(温度特性の改善)

$$x \geq 0.4$$

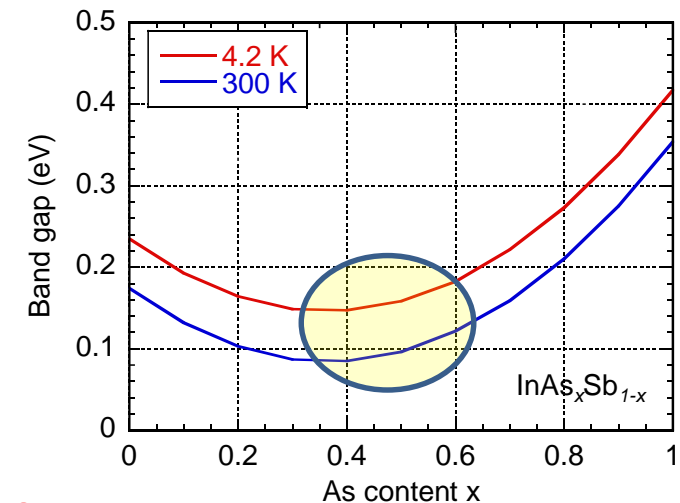
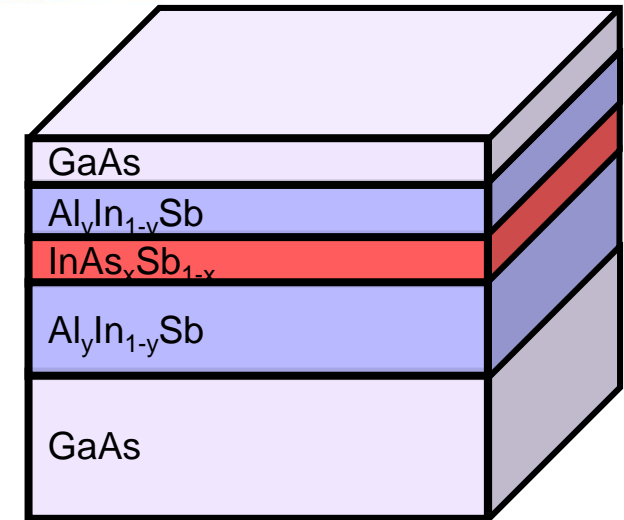
バリア高さの観点(界面散乱の抑制)

$$x \geq 0.4$$

格子整合の観点(散乱抑制)

$$\text{Vegard側 } y \sim 1.22x$$

$$y = x + 0.1 \quad (0.3 \leq x \leq 0.6)$$



最適組成組み合わせ

InAs_xSb_{1-x}/Al_yIn_{1-y}Sb QW

$$x = 0.4 - 0.6$$

$$(\text{このときの } y = x + 0.1)$$

実用化に向けた課題

これまでの結果から、本組成範囲のウエハを作製できれば、**従来のデバイスの特性を大きく向上し、応用分野が広がるのは間違いない。**

しかし、本組成範囲のウエハ作製はまだ行われていない。

実用化に向けた課題

- ウエハ作製
- 実際のウエハ特性の確認

企業への期待

- ウエハの試作
- 素子駆動方法を含めた高感度化への共同研究
- 微小電流センサへのパッケージ化の共同研究

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 半導体積層体
- 出願番号 : 特願2020-196657号
- 出願人 : 福岡大学
- 発明者 : 真砂卓史、笠原健司、柴崎一郎

お問い合わせ先

福岡大学

知的財産センター

TEL: 092-871-6631 (代表)

Fax: 092-866-2308

e-mail: sanchi@adm.fukuoka-u.ac.jp