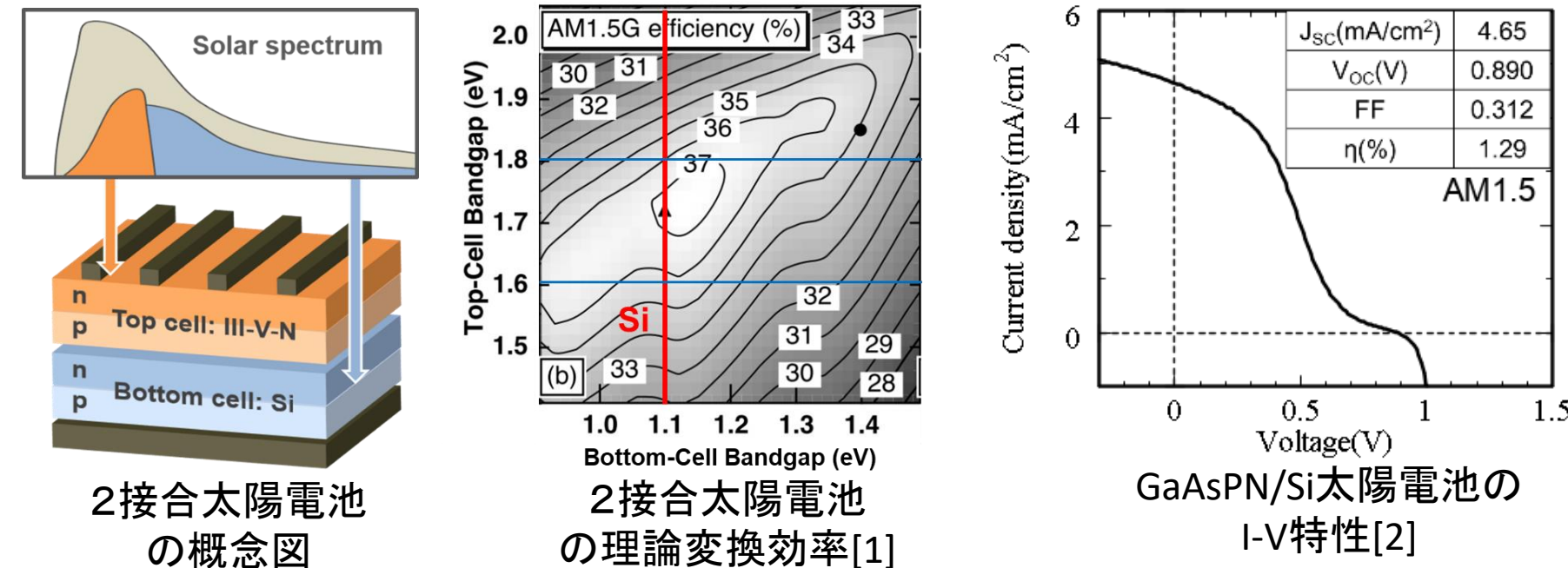


高効率III-V/Si多接合太陽電池実現に向けたInP/GaAsPN 量子ドットの設計

電気・電子情報工学系 山根啓輔, 堀礼人, 若原昭浩

III-V/Si多接合太陽電池

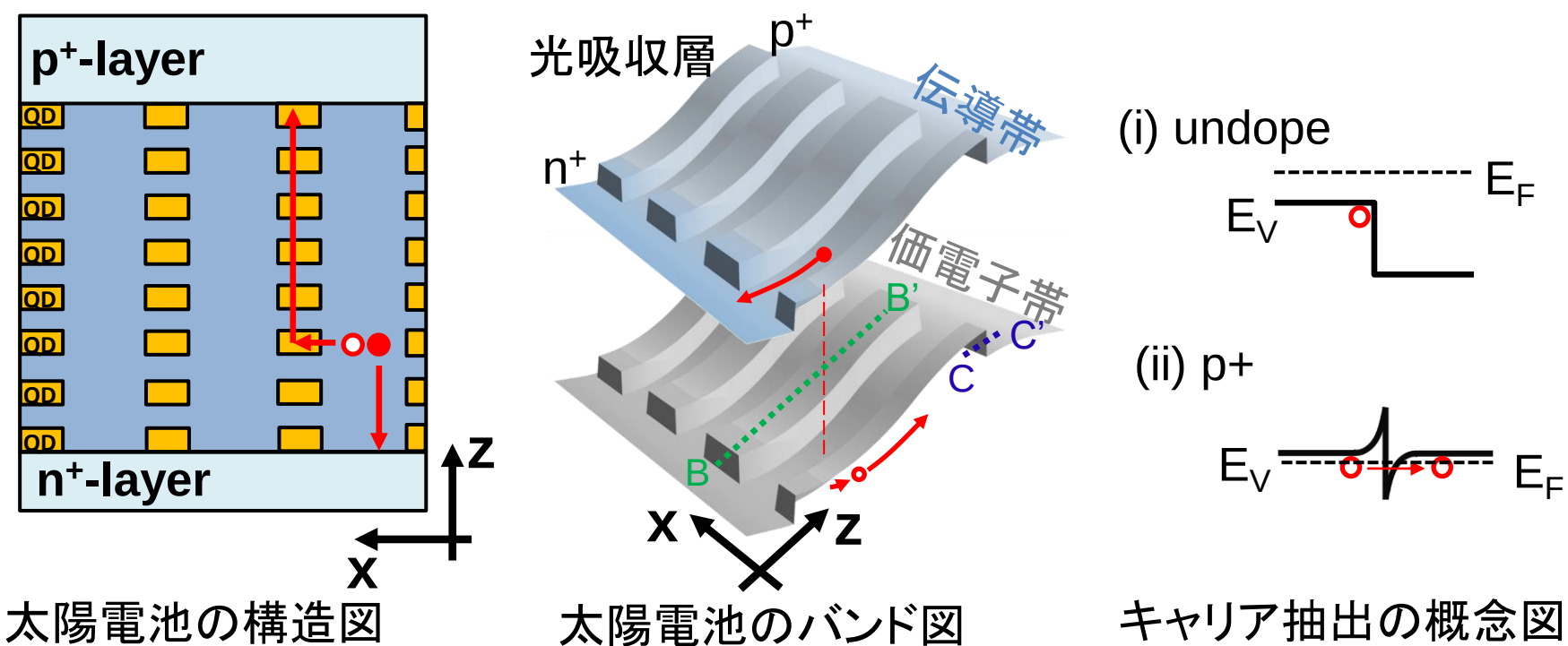


III-V/Si多接合太陽電池 ➡ GaAsPN/Si 2接合太陽電池

- III-V化合物は高効率材料
- Si基板は大面積化が可能
- Si基板上にIII-V化合物を積層
- ⇒ **大面積化・高効率化に期待**
- GaAsPN (As:19%, P:76%, N:5%)
- ⇒ Siのトップセルに適した数少ない材料
- 達成した変換効率は約1.3%程度
- ⇒ **効率の改善が必須**

[1] J.F. Geisz et al. In Proc. 31st IEEE Photovoltaic Specialist Conference pp.695-698(2005) [2] 高地俊貴 et al. JSAP in autumn 2019, 20a-B12-8

Type II型積層量子ドット太陽電池



➡ 電子/正孔を空間分離

電子 ⇒ QD外を伝導
正孔 ⇒ QD内を伝導

**再結合抑制により
キャリアが長寿命化**

➡ 正孔の伝導(B-B')

➢ 積層QDの波動関数が結合
⇒ トンネルにより正孔を輸送

➡ QDからの正孔抽出(C-C')

➢ p⁺バリア層中までQDを成長
⇒ フェルミ準位操作でトンネル誘発

研究目的: InP/GaAsPN量子ドットの設計と基本構造(InP/GaP)の作製

計算によるInP/GaAsPN QDsの設計

➡ 計算条件

使用ソフト : nextnano++
(連続弾性体モデル、密度汎関数論)

QD材料 : InP
QD形状 : 直方体
バリア材料 : GaAsPN
結晶温度 : 300 K
境界条件 : x = y = periodic
z = not periodic

➡ 計算結果

QDサイズ最適値
⇒ 20 × 20 × 5 nm

<面内方向>

- VBO ~ 300 meV
- CBO ~ 230 meV
- >> 26 meV (室温の熱エネルギー)

➢ 電子-正孔間で波動関数の
オーバーラップなし

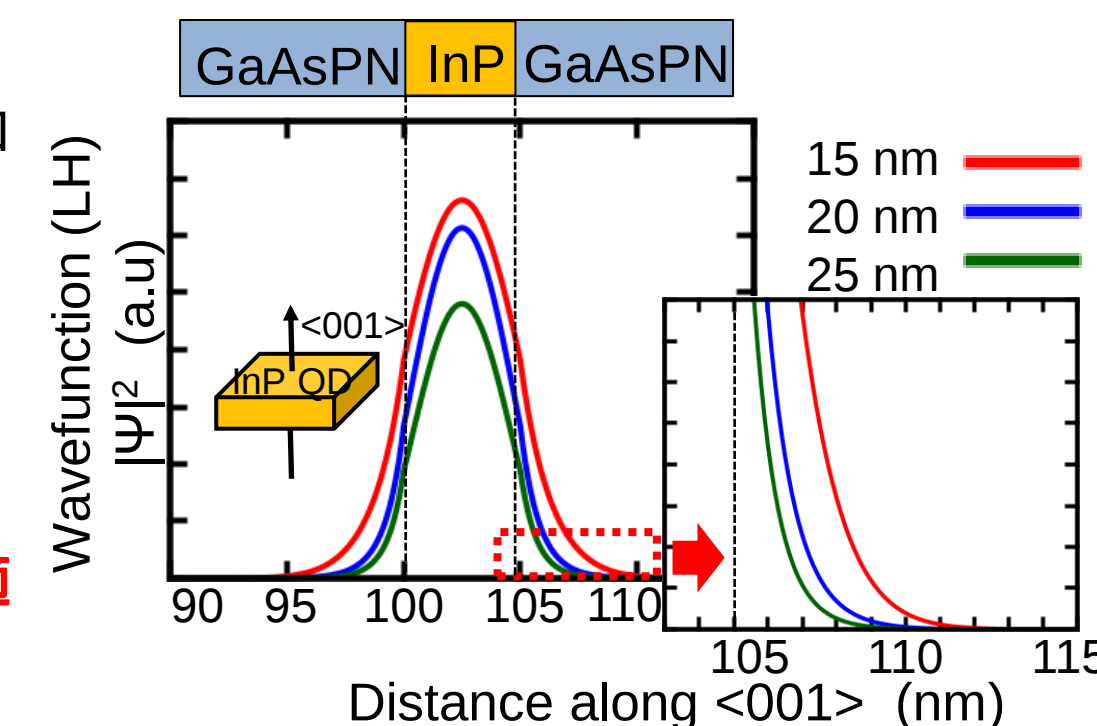
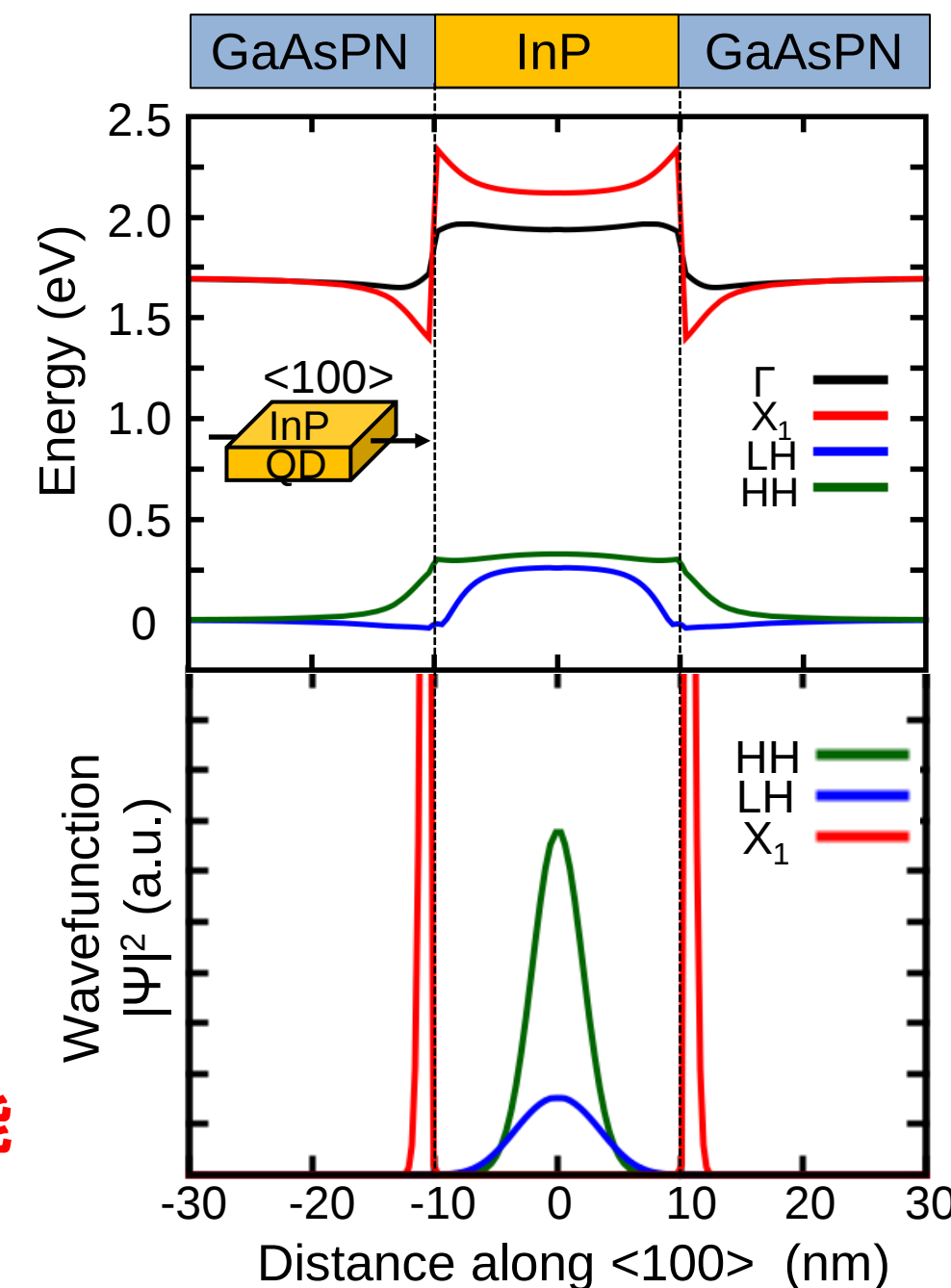
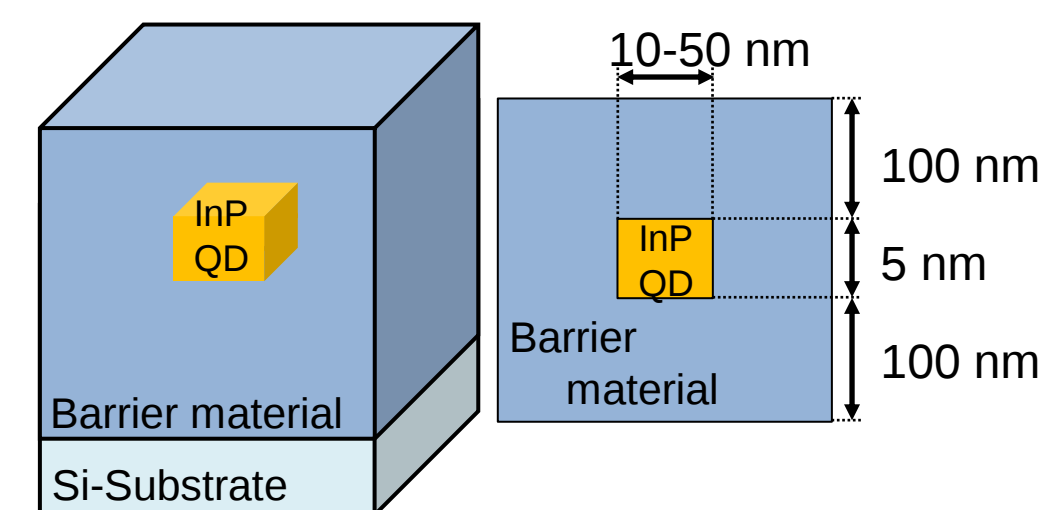
**面内方向において室温での
電子/正孔の空間分離が可能**

<積層方向>

QDサイズ縮小に伴い染み出し量増加

20 × 20 × 5 nmの場合
単一QDから外部への染み出し距離
⇒ **3 nm ~ 4 nm 程度**

積層時上下のQDの染み出し考慮
⇒ **積層間隔は6 nm以下が最適**



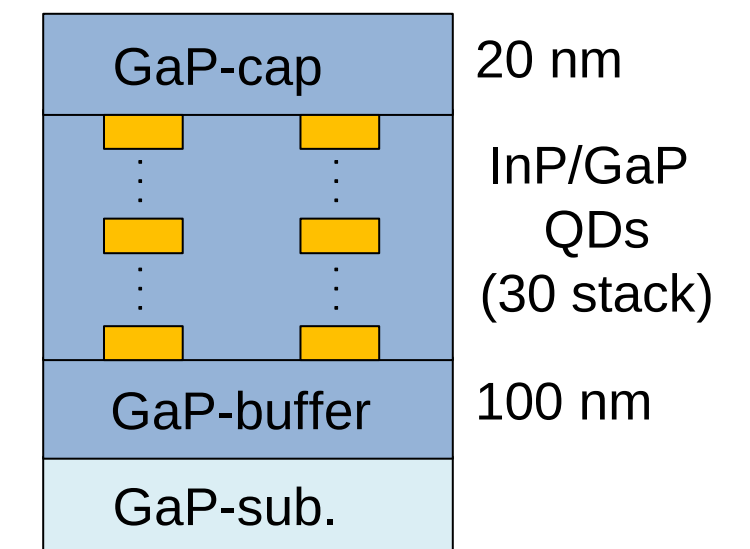
InP/GaP 積層QDsサンプルの作製

<設計指針>

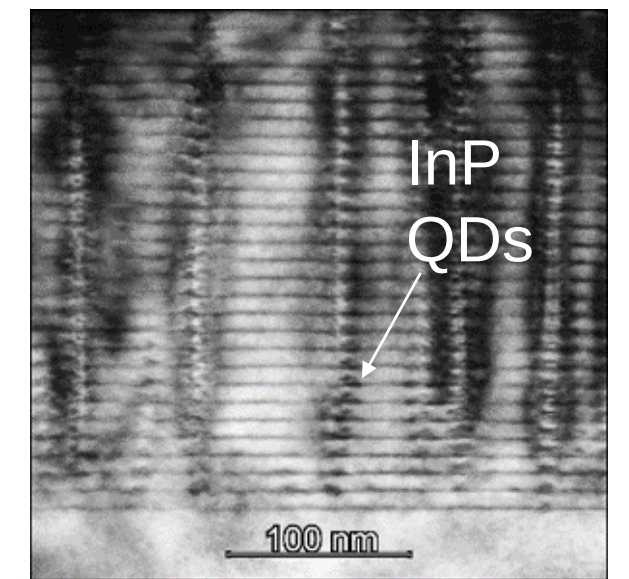
QDサイズ : 20 × 20 × 5 nm 積層間隔 : 6 nm 以下

<成長条件>

成長方法 : MBE法
GaP-成長温度 : 480°C
GaP-V/III比 : 3
InP-成長温度 : 480°C
InP-V/III比 : 20
InP-成長レート : 0.025 ML/s
InP-厚さ : 1.8 ML



試料構造



InP/GaP QDsの断面TEM像

<作製結果>

QD高さ : 3 nm ~ 5 nm
QD径 : 15 nm ~ 25 nm
積層数 : 30

設計指針に沿った量子ドット構造30層の成長に成功

総括

➡ 本稿の総括

III-V/Si多接合太陽電池の高効率化実現のために電子正孔分離型太陽電池の提案を行い、コンセプトを達成可能なInP/GaAsPN量子ドットの設計指針をバンド構造と量子計算から示した。その設計指針に基づき、基本構造であるInP/GaP積層量子ドットを30層にわたって成長することに成功した。

➡ 今後の進展

<計算面>

✓ 積層時のバンド構造、波動関数分布を検討し、太陽電池全体を最適化

<結晶成長面>

✓ QDサイズの均一性向上
✓ 理想構造に近い材料を用いてのサンプル作製(GaPN, GaAsPN)

謝辞: 本研究は八洲環境技術振興財団の助成を受けて行われた。