

量子ドット太陽電池

2012年3月

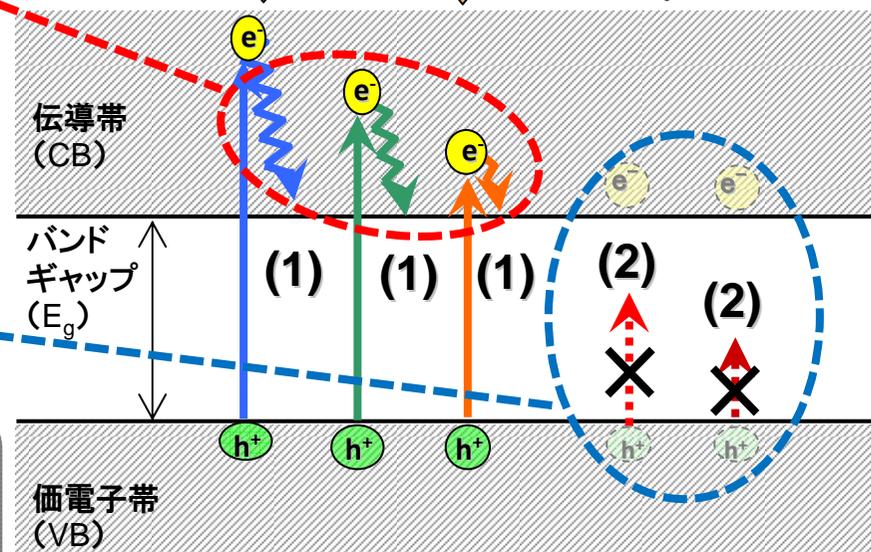
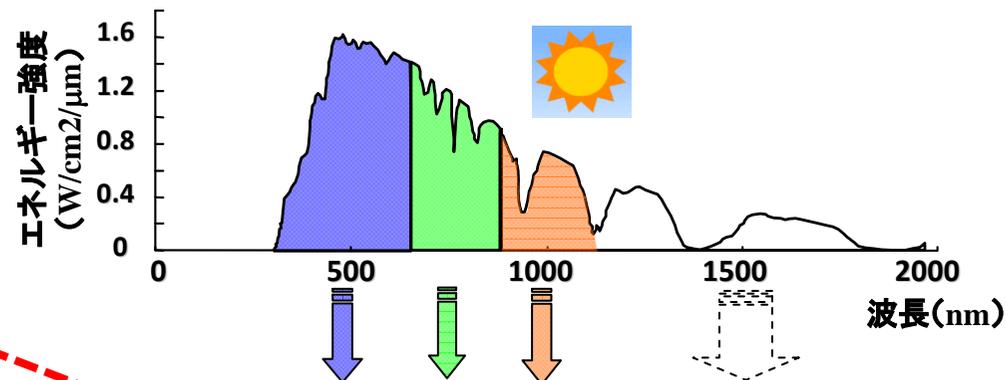
技術研究組合 超先端電子技術開発機構(ASET)
「量子ドット型太陽電池研究会」

太陽電池の変換効率の限界を決めている要因

(1) バンドギャップを超える余剰のエネルギーは熱(格子振動)となり、利用できない

(2) バンドギャップより小さいエネルギーの光は吸収されず、利用できない

量子ドットを用いることにより
(1)、(2)を改善可能



結晶シリコン単接合太陽電池の
バンド構造

太陽光エネルギーの効率的な利用

～太陽光スペクトルに整合したエネルギー変換～

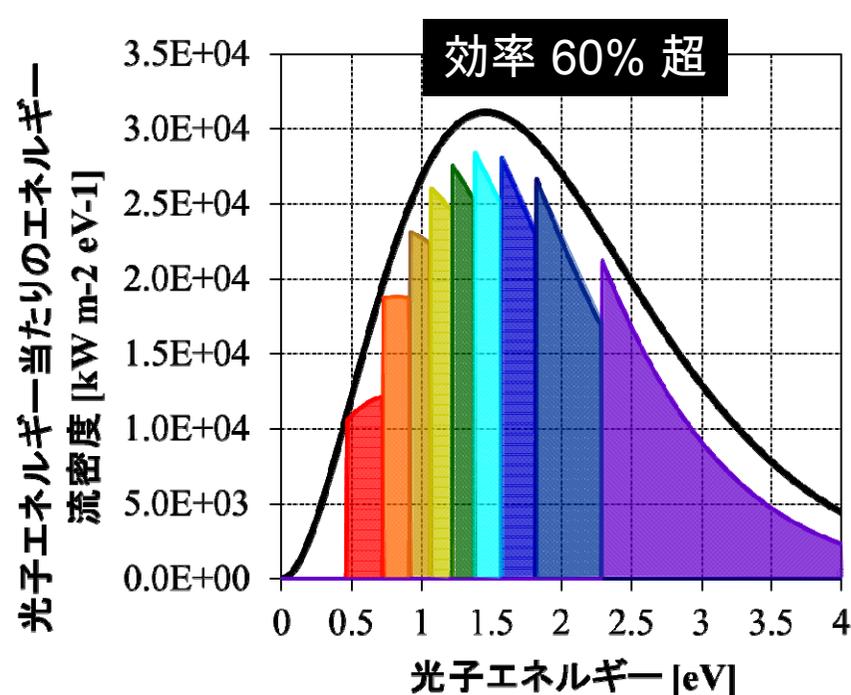
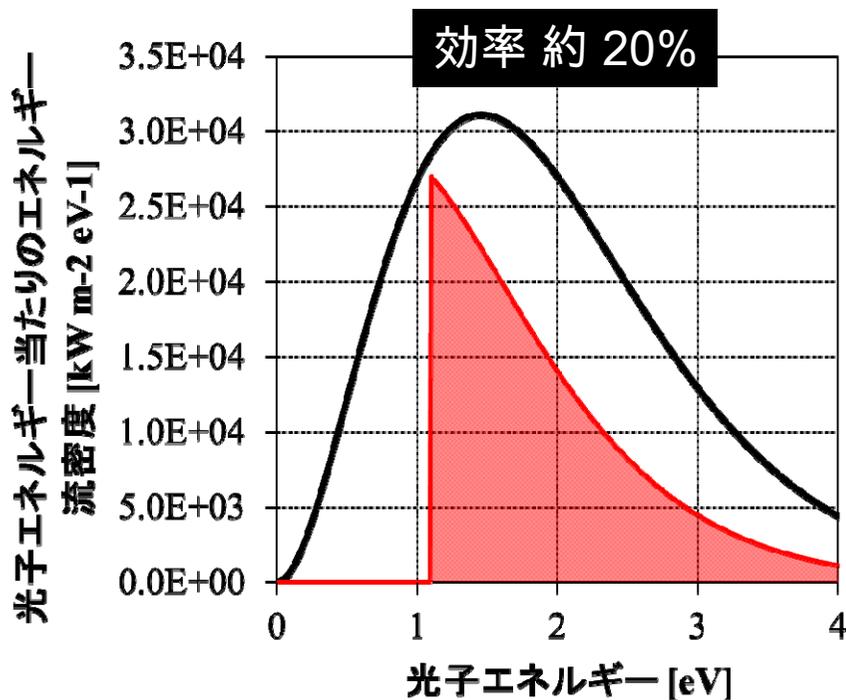
$$\text{エネルギー変換効率} = \frac{\text{ソーラーセルで利用されるエネルギー(色付領域)}}{\text{太陽光の全エネルギー(実線領域)}}$$

現在の太陽電池(結晶シリコン単接合):

- ・低エネルギー赤外光
→光が透過する為、利用できない
- ・非透過赤外光、可視光
→光子吸収エネルギー帯が1つで、熱損失大

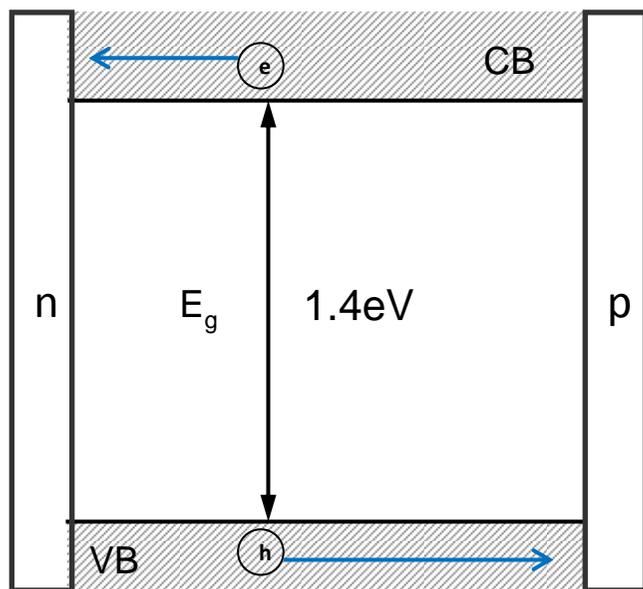
量子ドット(4中間バンド)型:

- ・ほとんど全ての波長の太陽光エネルギーを利用できる為、高効率(光子吸収エネルギー帯が9つに増加する為)

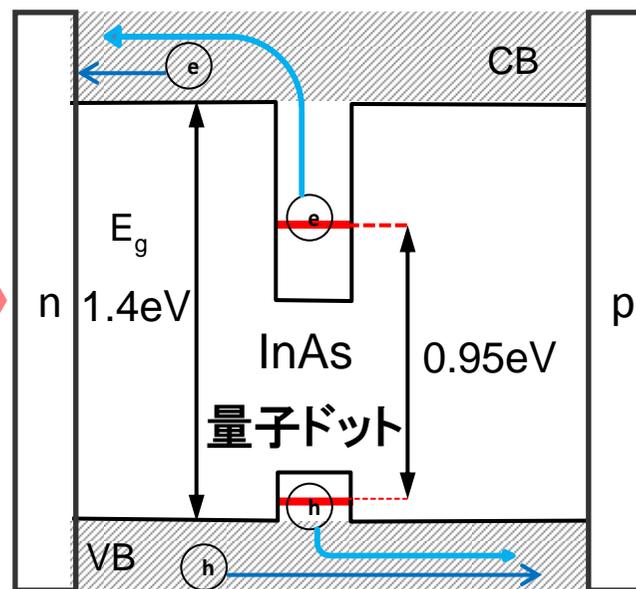
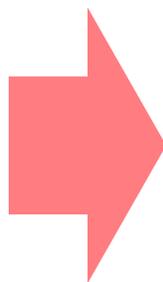


量子ドット

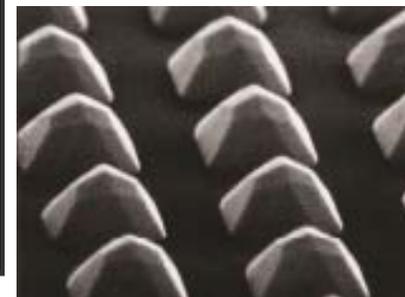
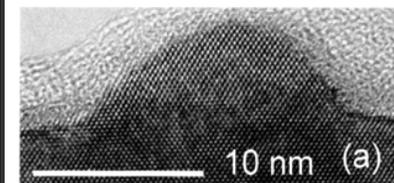
- ・1982年に東大の荒川教授らが提唱した数nm程度の寸法のナノ構造
- ・量子ドットに閉じ込められた電子のエネルギー準位は離散化する。
- ・電子のエネルギーは量子ドットのサイズで自由に変えられる。
- ・量子ドットレーザーは既に市場化済み



バルクGaAsのバンド構造



InAs量子ドットを埋め込んだ
バルクGaAsのバンド構造

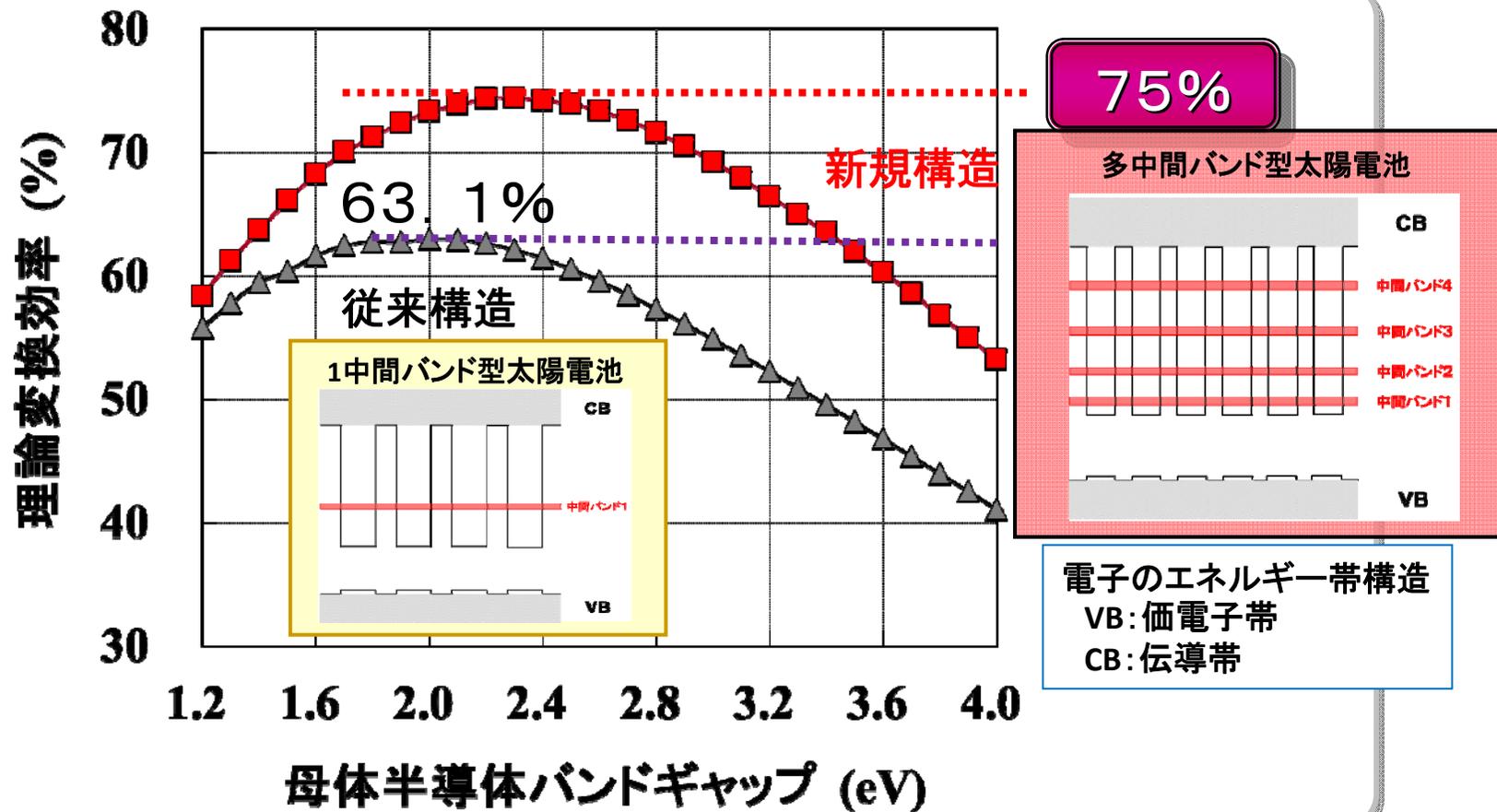


量子ドット太陽電池の種類

種類	①中間バンド(IB)型 (Intermediate Band)	②多励起子生成(MEG)型 (Multiple-Exciton-Generation)	③ホットキャリア型 (Hot Carrier)	④タンデム接合型 (Multi-Junction)
コンセプト				
現時点での技術課題	<ul style="list-style-type: none"> (1)出力電圧の低下 (2)非発光再結合速度との競合 (3)光吸収率向上 	<ul style="list-style-type: none"> (1)マルチエキシトンの生成効率が低い (2)量子ドットから電極へのキャリア注入速度が遅い 	<ul style="list-style-type: none"> ・量子ドットから電極へのキャリア注入速度が遅い 	<ul style="list-style-type: none"> (1)多種類の量子ドット層を形成する必要あり (2)タンデム接合の設計
今後の解決策	<ul style="list-style-type: none"> (1)歪みが小さく、転位の少ない量子ドット作製手法の探索 (2)最適材料・構造の探索、量子ドット層の厚膜化 	<ul style="list-style-type: none"> (1)マルチエキシトン生成効率の高い材料、構造の探索 (2)キャリアを効率的に取り出せる量子ドット-電極間構造の探索 	<ul style="list-style-type: none"> 熱緩和する前にキャリアを効率的に取り出す量子ドット-電極間構造の探索 	<ul style="list-style-type: none"> (1)多種類の量子ドット作製手法の探索 (2)母体材料の探索 (3)高効率タンデム接合の実現
研究機関	<ul style="list-style-type: none"> ・A. Luque Gr. マドリード工科大学(スペイン) ・Lawrence Berkeley National Lab ・Texas大学(米国) ・Imperial College London(英国) ・荒川教授Gr.[東京大学] ・岡田教授G.[東京大学] ・山口教授Gr.[電気通信大学] ・山田教授Gr.[東京工業大学] ・産業技術総合研究所、他 ・寒川教授Gr. [東北大学]、他 	<ul style="list-style-type: none"> ・V.I. Klimov Gr. Los Alamos National Lab ・A. J. Nozik Gr. National Renewable Energy Lab (米国) ・金光教授・太野垣准教授Gr. [京都大学] 	<ul style="list-style-type: none"> ・A. J. Nozik Gr. National Renewable Energy Lab. (米国) ・M.A. Green Gr. New South Wales大学 (オーストラリア) 	<ul style="list-style-type: none"> ・M.A. Green Gr.[New South Wales大学 (オーストラリア)] ・小長井・山田教授Gr. [東京工業大学]

新規構造量子ドット中間バンド型太陽電池

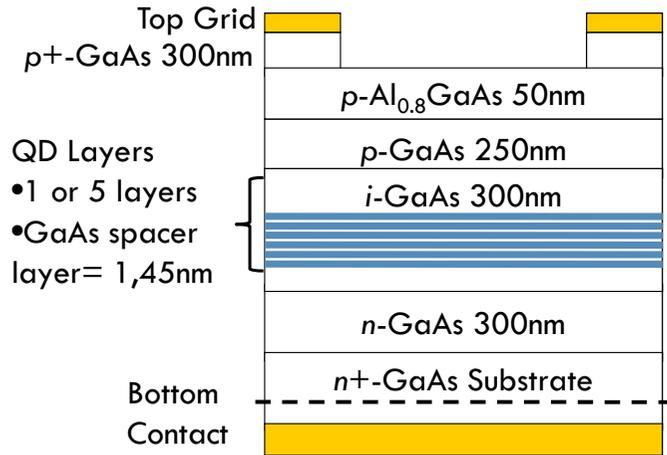
理論変換効率



T. Nozawa, Y. Arakawa, Applied Physics Letters 98 171108 (2011)

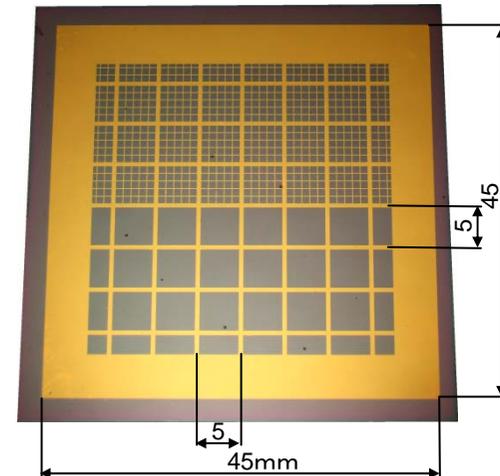
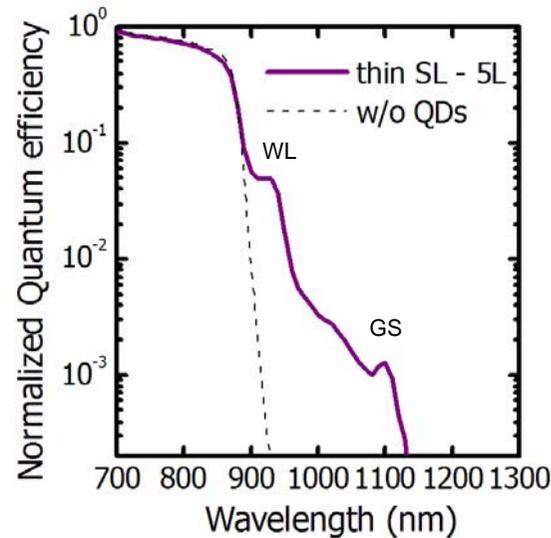
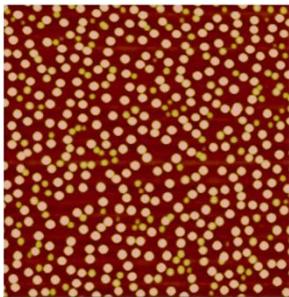
理論変換効率限界を15年ぶりに塗り替えた

量子ドット中間バンド型太陽電池



日本が得意とするナノテクノロジーを駆使し、量子ドットのサイズ、密度、配置・配列、又材料を選択することによって中間バンドの数、位置等を自由に制御することにより、エネルギー変換効率を大幅に向上

2012年 変換効率: ~18.7% → 2020年~ 30%超 → 2030年~ 60%超



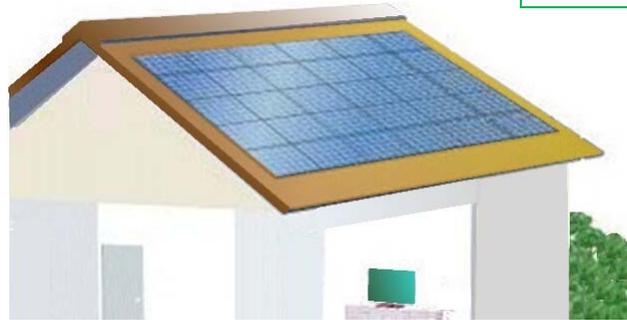
量子ドット型太陽電池の試作例
(東京大学 荒川研究室)

D. Guimard, Y. Arakawa, Appl. Phys. Lett. **96**, 203507 (2010)

量子ドット太陽電池の展望

(1) 住宅用ソーラー

~2012年

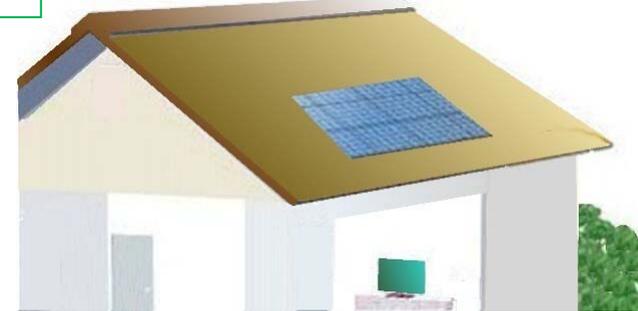


太陽電池: 24m²、4KW

量子ドット太陽電池により
発電効率3倍 → 受光面積1/3

量子ドット太陽電池
→

2030年代~



太陽電池: 8m²、4KW
さらに高倍率集光で出力向上

(2) 携帯電話



太陽電池: 12cm²の受光面積で
1充電分の通話が可能

(3) ソーラーEV



太陽電池: 1.8KW/3m²
500km/日走行可能な乗用車
ガソリンを一滴も使わない自動車