

3 次元 Si 量子ナノディスク超格子構造における光吸収・電導特性 Optical Absorption and Electric Conductivity in three-dimensional silicon nanodisk superlattice

¹ 東北大 流体研, ² 東北大 WPI-AIMR, ³ JST-CREST

○五十嵐誠^{1,3}, Mohammad M. Rahman^{1,3}, Weiguo Hu^{1,3}, 寒川誠二^{1,2,3}

¹ IFS Tohoku University, ² WPI-AIMR Tohoku University, ³ JST-CREST

○M. Igarashi^{1,3}, M. M. Rahman^{1,3}, W. Hu^{1,3}, and S. Samukawa^{1,2,3}

E-mail: samukawa@ifs.tohoku.ac.jp

【はじめに】

Si 量子ドット太陽電池は次世代の高効率太陽電池として期待されており、特に 3 次元的なミニバンドの形成が実現でき、吸収係数やキャリア移動度を大幅に改善できる量子ドット超格子構造の実現が急務となっている。しかし、Si 量子ドットはボーア半径が小さいため、超格子構造を実現するためには 5nm 程度のサイズでばらつきを 10% 以下に抑え、高密度 ($>10^{12}\text{cm}^{-2}$)・低欠陥で作製しなければならない。さらに、キャリアを電力として効率的に引き出すためには 3 次元方向のミニバンド形成が特に重要であり、量子ドットを 3 次元方向に結合させることが要求される。これまでに我々は、バイオテンプレート技術と中性粒子ビームエッチング (NBE) を組み合わせ、Si 量子ドット超格子として Si ナノディスク (Si-NDs) アレイを作製し、極低温から室温においてサイズ効果等の量子効果を確認してきた[1]。バイオテンプレートとしてリステリア Dps (タンパク直径 12nm、鉄コア直径 4.5nm) を用いた場合、直径 6.4nm、厚さ 2~10nm、1 層当りの密度 $1.4 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ の均一な Si-ND 超格子が作製できる[2]。本研究では、Si-ND 超格子におけるミニバンド形成と光吸収特性および電気伝導性との関係性について検討を行った。

【実験方法】

単体 Si-ND、2 次元超格子 Si-ND、3 次元超格子 Si-ND などを作製することでミニバンドの形成状態を切り分け、基板に対し縦方向の電流特性を導電性 AFM を用いて調べた。以下、3 次元超格子 (4 層) の作製手順を例として示す。まず、Si(4nm)/SiC(2nm)/Si/SiC/Si/SiCSi/SiC/Si 基板構造を真空一環で作製する。次に、表面に SiO₂ 薄膜を成膜し、フェリチンまたはリステリア Dps を配列する。熱処理によりタンパク質を除去し、基板表面に残った鉄コアアレイをエッチングマスクに利用する。NF₃ 処理により表面 SiO₂ 膜を高選択エッチングし、その後 NBE で Si/SiC 積層構造をエッチングする。鉄コアおよび表面の SiO₂ を除去した後、スパッタにより SiC を埋め込み、最後に裏面電極を形成してプロセスは終了する。塩素中性粒子ビームを用いた場合、Si/SiC 層を一括で垂直にエッチングすることが出来き、縦方向にもアライメントされた量子ドット 3 次元超格子が作製できる。

【結果と考察】

図 1 に示すように、2 次元、3 次元ミニバンドが形成するにつれて導電性が向上していることが解った。これはミニバンド幅の増大に伴って電流が向上したものと考えられる。

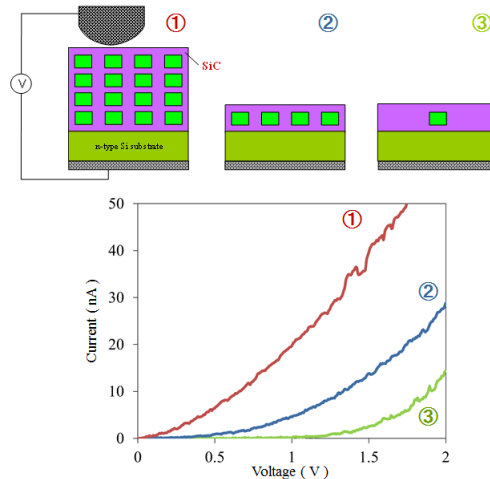


図 1 Si-ND サンプルにおける電流特性

[1] C. H. Huang et al., Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 04DL16

[2] 五十嵐誠 他, 第 72 回応用物理学会学術講演会