

量子知能デバイス研究室 佐藤威友

半導体ポーラスナノ構造の自己組織化形成 ～ 寸法の精密制御を目指して

酸化反応や還元反応を制御して半導体表面処理や加工を施す電気化学的手法は、新しい半導体ナノ構造の形成法の1つとしても注目されています。なかでも、陽極法（半導体を正電位）により形成される「半導体ポーラス（多孔質）構造」は、シリコン(Si)や種々の化合物半導体を対象に、広く研究が進められてきました。ポーラス構造は、表面に直径数10～100nmの孔（あな）が高密度に形成した構造で、一般的に孔の深さは数μm以上にも達します。このようなユニークなナノ構造は、従来のリソグラフィとエッチング技術で作製することは難しく、その構造的特徴を活かした独自の素子応用が考えられてきました。

今回は、高速通信デバイスにも使われるインジウムリン(InP:化合物半導体)を使ったポーラス構造の形成と、本研究グループで開発した、ポーラス寸法の精密な制御法について紹介します。

陽極法によるポーラス構造の形成

塩酸系電解液中でn形InP基板に4～7V程の正電圧を加えると、表面に周期的に配列した孔が形成されます。図1は、InP基板に正電圧4Vを60秒間加えた後の電子顕微鏡写真です。表面の写真から、平均で直径108nm、壁の厚さ28nmの孔が、蜂の巣状に整然と配列しているのが分かります。このようなポーラス構造は、リソグラフィなどの人工的な位置制御をせずに形成されることから、「自己組織化形成されるナノ構造」と呼ばれます。一方、断面写真から、孔の深さは約20μmに

も達することが分かりました。孔は途中で曲がったり枝分かれすることなく、構造全体にわたって優れた直線性が保たれています。

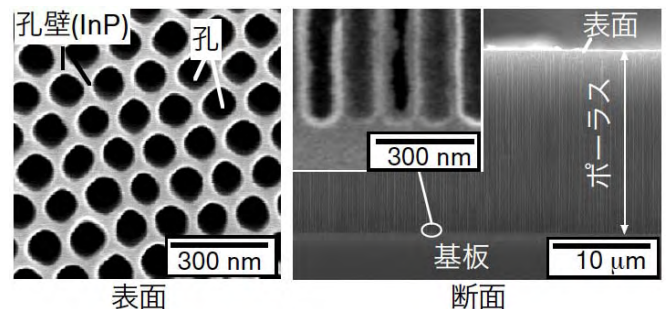
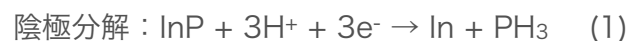


図1 InPポーラス構造の電子顕微鏡写真

ポーラスサイズのナノスケール制御

次に、ポーラス構造の一部を電解液に溶解させることにより、孔の直径や壁の厚さを制御する取り組みを紹介します。電気化学反応を利用して、半導体表面をエッチングする（削る）際には、一般的に陽極酸化反応が用いられますが、より精密な寸法制御を実現するため、ここでは陰極反応を利用しました。図2(a)は、作製したポーラス構造に負電圧-0.75Vを80秒間加えた後の試料表面です。負電圧を加えることにより、孔壁の厚さは平均で28nm→17nmと薄くなることが分かりました。具体的には、次のようなInPの陰極分解反応がポーラス孔の内壁で起こったと考えられます。



また、電子顕微鏡写真から、化学的に安定な{100}結晶面が残るようにInP孔壁が溶解すること

が分かりました。さらに、陰極条件により孔壁の厚さがどのように制御されるか調べてみました。図2(b)が示すように、分解時間が長くなるにつれ、壁の厚さは徐々に薄くなります。また、壁の溶解速度は、陰極電圧の増加 (-0.5V → -1.0V) とともに、0.08nm/s→0.3nm/sへと増大することが分かりました。陰極分解により得られた溶解速度は、通常のウェットエッチングより遅く、複雑な形状のInPポーラス孔の寸法を、陰極時間や電圧により精密に制御することが可能と言えます。

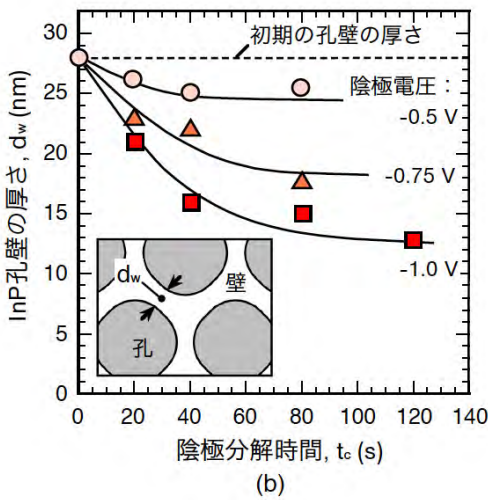
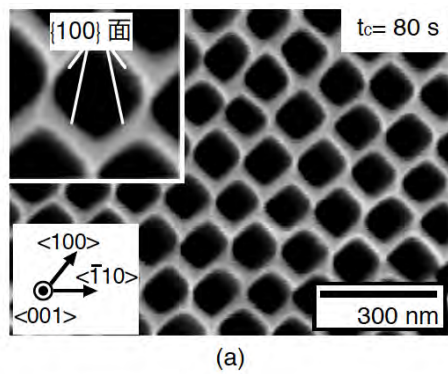


図2 (a)-0.75Vを印加した後の電子顕微鏡写真
(b) 孔壁厚さと陰極分解時間の関係

ポーラスナノ構造の光学的評価

最後に、作製したInPポーラスナノ構造のフォトルミネッセンス(PL)特性を評価しました。これは、試料表面にレーザー光を照射して、試料内部で励起生成した電子-正孔対が再び再結合で消滅する際の発光を測定する方法です。図3に測定したPLスペクトルを示します。通常のInP基板は、1.34eV付近に発光ピークがあります。この値はInPの禁制帯幅に相当し、バンド端再結合による発

光を示しています。一方、ポーラス構造の発光スペクトルは、高エネルギー側にシフトしました。基準値からのピークシフト量は、陰極分解により壁の厚さが26nm → 17nmと薄くなるにつれ、14meV→35meVと増大することが分かりました。これは、理論的に求められる量子井戸の量子準位間隔とほぼ一致することから、ポーラスInPの孔壁において、量子力学的現象が発現したものと考えられます。

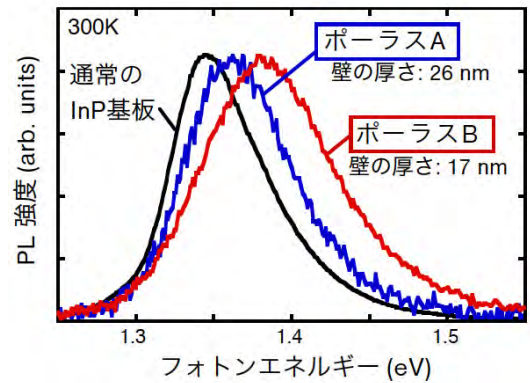


図3 InPポーラスナノ構造のフォトルミネッセンス(PL)スペクトル

まとめ ~ 今後の展望

InPポーラス構造は、電気化学的手法により自己組織的に形成される超高密度ナノ構造です。陰極反応を利用した表面のエッチングにより、精密な寸法制御が可能となり、新たな素子応用の可能性が広がったと言えます。現在、ポーラスナノ構造の大きな表面積を利用した高感度化学/バイオセンサの開発や、新しい量子ナノデバイスへの応用を模索するなど、将来の情報エレクトロニクスへの貢献を目指して研究に取り組んでいます。

参考) T.Sato et al: Electrochem. Solid-State Lett, vol. 10, no.5, (2007), H153-H155

佐藤威友 (さとうたけとも) / 准教授

北海道大学情報科学研究科 量子知能デバイス研究室
居室: 量子集積エレクトロニクス研究センター 302室

E-mail: taketomo@rciqe.hokudai.ac.jp

HP: 検索サイトで「佐藤威友」。

または、<http://hydrogen.rciqe.hokudai.ac.jp/~taketomo/home/index.html>

Tel: (81) 011-706-7175, Fax: (81) 011-716-6004