

微細構造解析プラットフォームにおける利用成果

化合物半導体デバイスの分析

^a三菱電機(株)

日坂 隆行^a, 佐々木 肇^a, 門岩 薫^a

【目 的】

AlGaN/GaN HEMTは、高い飽和ドリフト速度と絶縁破壊耐圧を有することから、高出力・高効率動作が可能性な小型軽量で高い信頼性の高周波増幅器が実現可能なデバイスとして注目され、人工衛星搭載用デバイスとして期待されている。宇宙環境では、宇宙放射線、それが衛星に衝突して発生するX線やγ線に曝されるため、デバイスはこれらに十分な耐性を確保することが要求されている。超高压電顕内MeV電子照射の弾き出し効果によりデバイス中に生成する欠陥をその場観察し、放射線耐性の解明を目的とした。

【成 果】

AlGaN/GaN HEMT試料において、図1に示すように、高エネルギー重イオン、および電子による照射効果を、光学測定とデバイス特性解析を用いて比較した。図2左写真に示すように、18 MeVのNiイオン照射により、1.5 μm厚さの試料中に格子間原子型転位ループが形成されることを、H-3000超高压電顕観察から明らかにした。また図2右グラフに示すように、このイオン照射欠陥はデバイス特性解析より電界集中やリーク電流に寄与しない良性の欠陥であることがわかった。一方、2MeV電子照射で生成する欠陥を超高压電顕内その場観察し、図3に示すように2次欠陥集合体である転位ループの形成過程を直接観察した。イオン・電子いずれの照射においても、素子特性の劣化につながる漏れ電流や電界強度の増加は認められなかった。以上のように、宇宙用途のためのAlGaN/GaN HEMTの高い放射線耐性を実証することができた。

(1) H. Sasaki, T. Hisaka, K. Kadoiwa, T. Oku, S. Onoda, T. Ohshima, E. Taguchi, H. Yasuda, Microelectronics Reliability 81 (2018) 312-319.

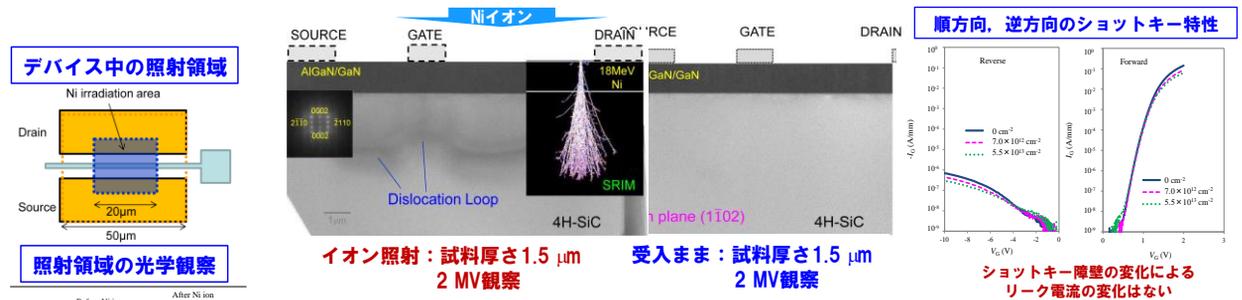


図2. イオン照射試料の断面構造解析と照射にともなうショットキー特性の変化

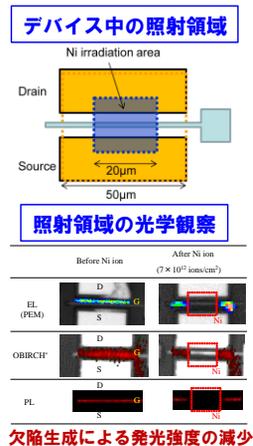


図1. デバイス照射領域を示す模式図と光学測定による変化

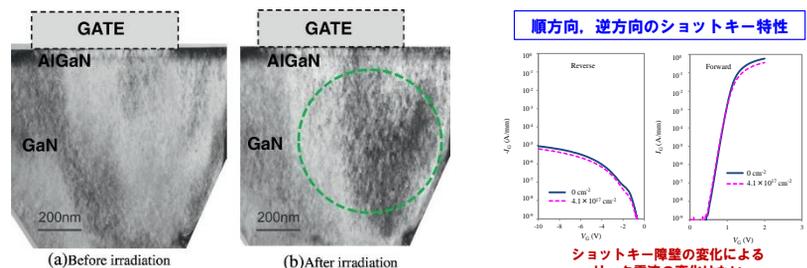


図3. 超高压電顕内電子照射による欠陥生成のその場観察と照射にともなうショットキー特性の変化

平成30年度トピックス

微細構造解析プラットフォームにおける利用成果

Si基板上に作製した低次元ナノ構造のTEMによる評価

^a滋賀医科大学成瀬 延康^a

【目 的】

低温廃熱回収の社会実装に向けて有力な熱電変換材料の一つに、可視光に対して透明で、光エネルギーを吸収可能なZnO薄膜がある。ZnO薄膜へのナノ構造の導入による熱伝導率低減が有望とされているが、社会実装に必要な、低い熱伝導率と高い熱電力率の同時実現が達成されていなかった。本研究では、ZnOナノ構造薄膜化によるフォノン散乱の増大とZnOナノワイヤ界面のドーパント制御によるエネルギー障壁制御をねらい、Si基板上にZnOナノワイヤの埋め込み構造を作製し、設計通りの薄膜であることをTEMにより評価するとともに、高い熱電特性と構造の関係を明らかにすることを目的とした。

【成 果】

Si基板上的ZnOナノワイヤの埋め込み構造において、断面TEM観察（HF-2000）、およびエネルギー分散型X線分光法（EDX）によるナノワイヤ界面のZn組成評価を行った。図1は、ZnOナノワイヤの断面TEM像である。ナノワイヤ界面の高分解能TEM像のFFT解析からコアシェル構造を確認した。さらに、コアシェル界面のZn組成濃度が0濃度と比較して有意に減少しており、狙い通りに局所的にドーパント制御ができていたことがわかった。これらの試料の熱電特性である出力因子は薄膜の2倍を達成していた。さらに、これらの試料の移動度を低温下で評価した結果、本構造内の界面は、 21 ± 0.7 meVの低エネルギー障壁を有することがわかった（ゼーベック係数では22 meV）。これらの移動度は高密度のナノワイヤ埋め込み構造だけでは説明できなかった。移動度の温度依存性から、高エネルギーキャリアが粒界散乱に影響を受けないことがわかった。以上のことから、界面におけるドーパント濃度の制御により、高エネルギーキャリアだけの準バリスティック輸送が可能になっていることを明らかにした。

(1) Takafumi Ishibe, Atsuki Tomeda, Kentaro Watanabe, Yoshinari Kamakura, Nobuya Mori, Nobuyasu Naruse, Yutaka Mera, Yuichiro Yamashita, and Yoshiaki Nakamura, ACS Applied Materials & Interfaces, Vol. 10 (2018) pp. 37709-37716.

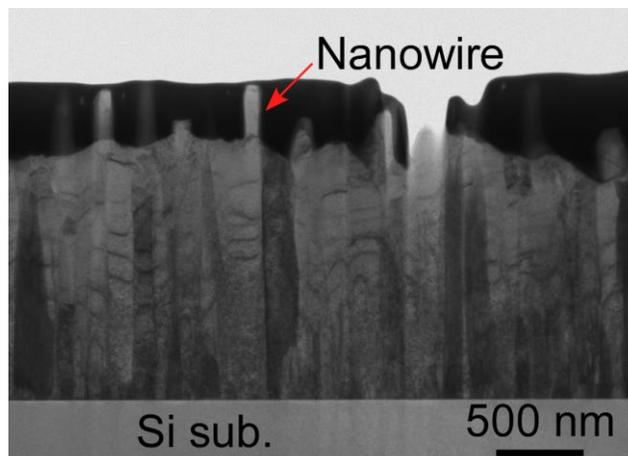


図1. ZnOナノワイヤの断面TEM像

微細構造解析プラットフォームにおける利用成果

次世代蓄電池用負極材料の微細構造解析

^a鳥取大学薄井洋行^a, 道見康弘^a, 坂口裕樹^a

【目 的】

ナトリウムイオン電池(NIB)は、定置用大型電源として有望な蓄電デバイスであり大きな注目を集めている。その負極にPとSnの化合物(Sn_4P_3)を用いると、イオン液体電解液中において優れた性能を発揮することをこれまでに見出してきた。これは初回充電時に Sn_4P_3 が分相した際に、Snナノ粒子が非晶質的なPのマトリックス中に分散した組織を形成することで、Snの凝集を抑制しつつ、Na-P相の乏しい電子伝導性をSnが補ったためと考えられる。この Sn_4P_3 電極であっても200サイクル以降においては、急激な容量衰退を示すことが確認されている。本研究では、この容量衰退が起こった後の微細構造を調べることで、性能劣化の要因を解明するとともにその克服を試みることを目的とした。

【成 果】

負極活物質はメカニカルアロイング法により調製し、銅箔基板の上に塗布し、リン化合物負極を作製し、充放電試験を実施した。 Sn_4P_3 の微細構造の変化を調べるため、Na脱離後の試料に対しHR-TEM観察(HF-2000)を行った。図1は、1サイクル後と容量衰退が起こった後のサイクル(280サイクルに相当)における活物質のHR-TEM像を示す。1サイクル後においては、これまでの解析により黒いコントラストの粒子がSn微結晶、白いコントラストの領域は非晶質的なPであることがわかっている。これに対して容量衰退後の活物質においては、大きく成長したSn結晶の存在が確認された。Sn粒子の凝集は、その大きな体積変化で生じる応力をP相が緩和できずに電極崩壊を引き起こすと同時に、活物質層内の電氣的孤立を招くため、充放電容量の急激な減少につながるようになった。それを抑制した結果を図2に示す。Snの体積変化を抑えた場合では120サイクルまでに容量が衰退したのに対し、Pの体積変化を抑えたところ、400サイクル以上わたってその容量を全く損なうことなく維持する非常に優れたサイクル性能が得られた。

(1) Y. Tanaka, H. Usui, Y. Domi, M. Ohtani, K. Kobiro, and H. Sakaguchi, "Mesoporous Spherical Aggregates Consisted of Nb-Doped Anatase TiO_2 Nanoparticles for Li and Na Storage Materials", ACS Appl. Energy Mater., 2, 636-643 (2019).

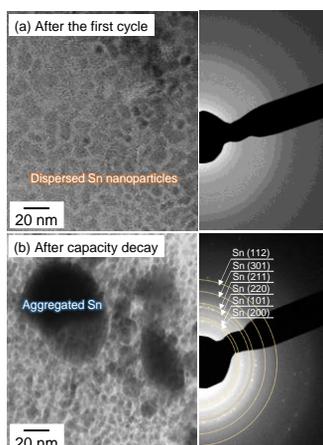


図1. 1サイクル後と容量衰退が起こったサイクルの後の活物質のHR-TEM像

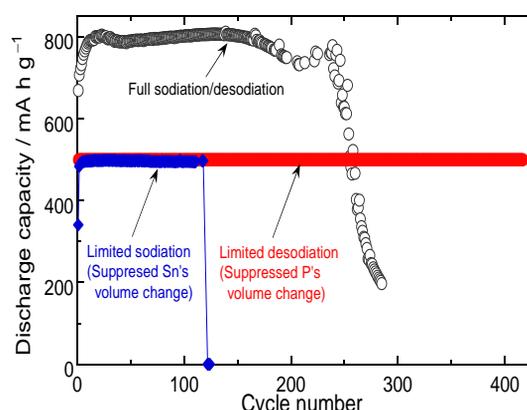


図2. Sn粒子の凝集を抑制した後の充放電容量のサイクルによる変化