4H-SiC エピ層中の積層欠陥近傍における単一光子源の発光効率向上

Radiation Efficiency Enhancement of Single Photon Source near Stacking Fault

in 4H-SiC Epilayer

埼玉大院理工¹、東京大院工²、量研³

(M2)赤堀周平¹、古川頼誉²、松下雄一郎²、大島武³、^O土方泰斗¹

Saitama Univ.¹, The Univ. of Tokyo², QST³

S. Akahori¹, Y. Furukawa², Y. Matsushita², T. Ohshima³, ^OY. Hijikata¹

E-mail: yasuto@opt.ees.saitama-u.ac.jp

【はじめに】炭化ケイ素(SiC)半導体の酸素アニーリング処理により、室温で高輝度に発光する単一光子源 (SPS)の形成が確認され、現在注目を集めている[1]。また、そのようにしてできた SPS(以下表面 SPSと 呼ぶ)は、光励起だけでなく室温電流注入によっても高輝度の単一光子を発することができるが、今現在そ れを可能にするのはダイヤモンド NV センタとこの SiC 表面 SPS のみである。さらに SiC 半導体に関して 言えば、高品質・大口径基板の作製技術が成熟しており、各種デバイス作製プロセスが発達している、極 めて実用性に優れた SPS 母材と言える。しかし、この表面 SPS は発光点によって 600~800 nm の範囲で発 光波長がまちまちである上、発光スペクトルがブロードなものもあり、幾つかの実用上の課題を有する。 この波長変動に関して Lohrmann らは[1]、理論計算に基づき、積層欠陥と素面 SPS 間の相互作用によって 欠陥準位や荷電状態が変化するため、積層欠陥と表面 SPS との距離の違いで生じていることを示唆してい る。ところで、我々は 4H-SiC エピタキシャル層の酸化中、エピ/バルク界面において線状の形を有する積 層欠陥が形成し、UV 照射によってその線状欠陥からダブルショックレー型積層欠陥(2SSF)が生成・拡張 することを見出した[2]。そこで、前報において、2SSF 近傍の様々な表面 SPS に対し発光波長および半値 幅を調べ、2SSF の無い領域での表面 SPS との比較検討を行った[3]。しかし、これら2つのパラメータで は優位な差は見られなかった。今回、発光強度に関して比較してみたところ、2SSF 近傍の表面 SPS に明 らかな優位性が認められたので報告する。

【実験及び結果】 n型 4H-SiC エピタキシャル膜 (N_d =1×10¹⁶ cm⁻³, 厚さ 10 µm, 8° off) に対し乾燥酸素中 1100°Cでの熱処理を 32 h 行い、線状欠陥の発生を確認した後、2SSF 生成のための UV 照射を行った(励起源: 355 nm DPSS レーザー、試料直上強度: 750 W/cm²)。SPS 発光特性の評価には共焦点レーザー蛍光顕 微鏡 (CFM)を用い、600 nm long-pass filter (LPF)を通して室温下で各測定点での PL 強度を測定した。また、 幾つかの発光点については PL スペクトルを取得した。なお、CFM および PL イメージングの詳細につい ては[3]に記す。

Fig.1 は CFM により取得した 2SSF 付近(a)および 2SSF 遠方(b)における 3D PL 強度マップを示す。なお、 別途取得した PL イメージを基に同図(a)に 2SSF の概形を付加した。図より、ほとんどの発光点はエピ層表 面(酸化層/エピ層界面)に形成されていること、バルク層からの DA 発光との相対強度から 2SSF 付近の発 光点はより強い発光強度を有することがわかる。Fig.2 は、2SSF 付近および遠方での発光点からの代表的 な PL スペクトルを示す。同図から、発光点には鋭いピークをもつものとブロードなピークをもつものと があることがわかる。ブロードなピークは phonon side-band によるもので[4]、鋭いピークは phonon side-band が消失して zero-phonon line が孤立している状態にあると考えられる。Fig.3 は、多数の発光点に対する PL 強度のヒストグラムを 2SSF 付近と遠方とで比較している。なお、PL 強度は 4H-SiC エピ層に由来したラ マンピーク (590 nm)強度で規格化した。同図より、2SSF 付近の発光点はより強い発光を有する傾向にある ことが明白に見て取れる。講演では、第1原理計算や低温 PL 測定の結果も踏まえ、2SSF による表面 SPS の発光効率向上のメカニズムや、発光点によっては phonon side-band の消失する理由について議論する予 定である。









Fig.3. Histogram of the PL intensity from the surface SPSs near 2SSF and w/o 2SSF. Intensities are normalized by Raman peak intensity originating from the 4H-SiC epilayer.

Fig. 1. 3D PL maps (a) near and (b) w/o 2SSF $\frac{1}{2}$ (600 nm LPF). [1] A Lohrmann *et al.* Nat Comm **6** 7783 (2015) [2] R

[1] A. Lohrmann *et al.*, Nat. Comm. **6**, 7783 (2015). [2] R. Asafuji and Y. Hijikata, Mater. Res. Express **5**, 015903 (2018). [3] 赤 堀ら, 第 78 回(H29 年)応物秋季講演会(福岡), 6p-A201-16, Y. Hijikata *et al.*, Technical Digest of ICSCRM2017 (Washington D.C.) TH.B1.2. [4] E. Condon, Phys. Rev. **28**, 1182 (1926).