

ZnO 単結晶の絶対輻射量子効率測定

Measurement of the absolute value of quantum efficiency of radiation in a ZnO single crystal

東北大多元研

°小島一信, 秩父重英

IMRAM-Tohoku Univ.

°K. Kojima and S. F. Chichibu

E-mail: kkojima@m.tohoku.ac.jp

【はじめに】実用的な近紫外発光素子[1,2]を、酸化物半導体を用いて実現するには ZnO は大変魅力的な材料である。特に、励起子束縛エネルギーが極めて大きい(59 meV)ことから、励起子効果に基づいた新奇な光現象を、室温において発現させることができる可能性をも秘めている。しかし、その発光強度は未だ非輻射再結合過程に律速されている。特に、Zn 空孔に起因する点欠陥は、ZnO における支配的な非輻射再結合中心である[3]。したがって、結晶の品質を輻射効率として定量評価し、これを向上する、すなわち、Zn 空孔に起因する点欠陥を排除することが、ZnO に基づく高性能光デバイスの実現に不可欠である[3]。そこで、全方位フォトルミネセンス(ODPL)法[4]に基づく、ZnO 単結晶の絶対輻射量子効率(AQE)測定を行った結果について報告する。

【試料構造と実験概要】試料には、水熱合成法にて作製した ZnO 単結晶を用いた。試料の AQE は、積分球を用いた ODPL 法[4]を用いて評価した。PL の励起には 325.0 nm (3.81 eV) の連続レーザー光を用い、励起光強度は 60 W/cm² とした。測定は室温、窒素雰囲気下において実施した。

【結果】図 1 は、ZnO 単結晶の ODPL スペクトルである(ただし、励起レーザーのスペクトルを別途取得し、試料によるレーザーの吸収率を考慮して、試料の発光スペクトルから差し引いてある)。3.26 eV と 3.10 eV のピークを持つバンド端近傍

(NBE) の発光と、2.3 eV 付近にピークを持つ深い準位からの発光帯が観測された。ODPL スペクトルにおいて、NBE 発光に含まれる光子数と、試料に吸収された励起レーザーの光子数との比として AQE を評価したところ、1.79%であることが分かった。ところで、ODPL 法は、試料表面の法線方向へ出射される PL を主に集光する通常の PL 測定と異なり、試料を積分球内部に設置して PL を計測する。このため、NBE 発光に通常の PL では見られない双峰状のスペクトルが観測される(図 1、2)。図 2 において、規格化した ODPL スペクトルと PL スペクトルの形状が一致しない部分(ODPL の低エネルギー側)は、試料の基礎吸収がほとんどない透明領域に相当し、PL が試料表面ではなく試料内を伝搬して、端面や裏面から外部へ放出

された成分をあらわす。一方、ODPL と PL が一致している部分は、試料表面近傍の励起部分から、表面を介して直接外部へ放出された PL 成分であることから、光取り出し効率(LEE)の算出が容易(およそ 3.49%)である。そこで、AQE が計測できる ODPL と、LEE の算出が容易な PL を組み合わせて、内部量子効率を計算[4]した結果、24.7%に達することが分かった。この値は、高品質な GaN 単結晶に迫る大きな値であり、ZnO が発光材料として優れていることを示すと言える。

【謝辞】本研究の一部は、ダイナミック・アライアンスと科研費(若手研究(A) 26706003)により実施された。【参考文献】[1] Tsukazaki, et al., *Nature Mater.* **4**, 42 (2005) [2] Nakahara, et al., *Appl. Phys. Lett.* **97**, 013501 (2010), [3] Chichibu, et al., *Semicond. Sci. Technol.* **20**, S67 (2005), [4] Kojima, Chichibu, et al., *J. Appl. Phys.* **120**, 015704 (2016).

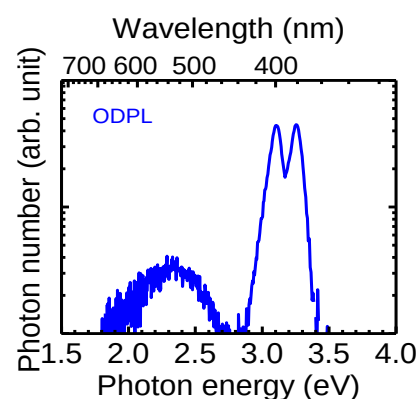


図 1 ZnO の ODPL スペクトル。

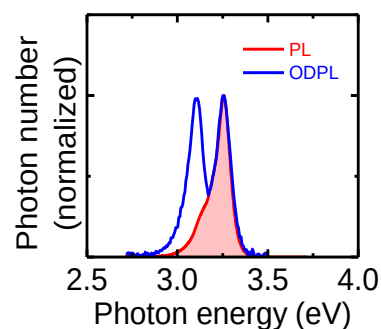


図 2 ZnO の NBE における PL および ODPL スペクトル。