

水素イオン注入 ZnO バルク単結晶のラザフォード後方散乱法による 格子変位の評価

The evaluation of lattice displacement in hydrogen-ion implanted ZnO bulk single
crystals by Rutherford backscattering spectrometry

法政大学¹, 大阪教育大学²

○甲斐田 卓也¹, 上岡 一馬¹, 伊田 孝寛¹, 栗山 一男¹, 串田 一雅²,

Hosei Univ.¹, Osaka kyouiku Univ.²

○Takuya Kaida¹, Kazuma Kamioka¹, Takahiro Ida¹, Kazuo Kuriyama¹, Kazumasa Kushida²

E-mail: 09x2035@stu.hosei.ac.jp

我々は電子線照射 ZnO バルク単結晶中に誘起された伝導帯近傍のドナー様欠陥および価電子帯近傍のアクセプター様欠陥の存在について明らかにしてきた[1]。水素イオンの質量は電子の質量に比べ約 2000 倍大きいことから、より欠陥を誘起することが期待できる。本研究では ZnO バルク単結晶に水素イオンを注入し、ラザフォード後方散乱による格子変位の評価と電気伝導特性の関連について評価を行った。

水素イオン注入は TRIM シミュレーションに基づいて注入エネルギー 500 keV、ピーク濃度 $1.45 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ で行った。出発材料は水熱合成法で成長させたバルク単結晶を使用した。

ラザフォード後方散乱(RBS)測定には、分析ビームとして加速エネルギー 1.5 MeV のヘリウムイオン($^4\text{He}^+$)を用いた。RBS チャネリング測定の結果、 $\chi_{\min}$ (整軸イオン収量 (aligned yield) / ランダム方向イオン収量 (random yield)) とチャネリングディップの半値角はそれぞれ未注入試料において 3.84% と 0.80° 、水素イオン注入試料において 4.14% と 0.83° であったことから顕著な Zn 原子の変位は認められない。

Van der Pauw 法によるホール効果測定を行った結果、各試料共に n 型伝導を示し、比抵抗は未注入試料の $2.47 \times 10^3 \Omega \text{ cm}$ から、水素イオン注入の $6.47 \Omega \text{ cm}$ であり、4 桁の低抵抗化を示した。この低抵抗化の原因は RBS の結果から格子間 Zn による浅いドナー ($\sim 30 \text{ meV}$ [2]) に起因しない。Van de Walle によると格子間中の水素は酸素と複合体を形成し浅いドナーとして作用することが理論的に報告されている[3]。したがって、水素イオン注入試料で観測された低抵抗化の原因として、ZnO 中での一部の水素と酸素の複合体によるものと考えられる。また、キャリア濃度の温度依存性測定から活性化エネルギーを算出すると 30 meV であった。

フォトルミネッセンス(PL)測定により、注入直後の試料でグリーン帯発光が 540 nm 付近に観測された。ガウス関数のフィッティングを行うと 465、529、576 nm の 3 つの PL スペクトルに分離され、グリーン帯発光は亜鉛原子空孔(V_{Zn} (アクセプター): 490 nm)、酸素原子空孔(V_{O} (ドナー): 520 nm)、格子間酸素(O_i (アクセプター): 580 nm) に起因している[4, 5]。 V_{Zn} に起因するピーク強度は V_{O} 及び O_i のピーク強度に比べ非常に低かった。このことから水素イオンを注入したことにより、亜鉛原子の欠陥はほとんど存在せず、酸素に関する欠陥が生成されていることが明らかとなった。

[1] T. Oga, Y. Izawa, K. Kuriyama, K. Kushida, and Q. Xu The American Institute of Physics Conference Proceedings 1399, Physics of Semiconductors, 30th International Conference on the Physics of Semiconductor, 67 (2011).

[2] D. C. Look, J. W. Hemsky, and J. R. Sizelove, Phys. Rev. Lett. 82, 2552 (1999).

[3] C. G. Van de Walle, Phys. Rev. Lett. 81, 73 (2002).

[4] T. Oga, Y. Izawa, K. Kuriyama, K. Kushida, and A. Kinomura, J. Appl. Phys. 109, 123702 (2011).

[5] X. L. Wu, G. G. Siu, C. L. Fu, and H. C. Ong, Appl. Phys. Lett. 78, 2285 (2001).