

Al 조성이 높은 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x=0.4-0.5$)의 이온 주입법에 의한 도핑 및 활성화 연구

류미이¹, E. A. Moore², Y. K. Yeo², R. L. Hengehold²

¹강원대학교 물리학과, ²Air Force Institute of Technology

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x>0.4$)는 deep ultraviolet(UV) light-emitting diode(LED), laser diode (LD), 그리고 visible-blind UV detector와 같은 소자들의 응용뿐만 아니라 질화물 반도체를 이용한 대부분의 광전소자 및 전기소자에 광범위하게 응용되므로 이 물질에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 소자에 응용하기 위해서는 높은 전도성을 가진 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 이 필수적이다. Al 조성이 높아질수록 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 에서의 전도성이 떨어지므로 도핑이 어렵다. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 의 n-type 도핑을 위해 실리콘을 이온 주입하여 열처리 조건에 따른 전기적, 광학적 활성화에 관한 연구를 하였다. 지금까지 발표된 연구결과는 GaN와 Al 조성이 낮은 ($x<0.3$) $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 에 관한 연구가 대부분이다. 본 연구에서 Al 조성이 40%-50%인 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 에 실리콘 이온을 주입하여 거의 100%의 전기적 활성화 효율을 얻었다. 또한 광학적 활성화 특성도 열처리 온도에 따라 증가함을 보였다.

MEMOCVD 법으로 사파이어 기판위에 성장한 1 μm 두께의 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x=0.4-0.5$)을 본 연구에 사용하였다. 상온에서 200 keV 실리콘 이온($\text{Si}=1\times 10^{14}-1\times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$)을 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 에 주입하였다. 이온 주입시 생긴 결정 결함을 없애고, 실리콘 이온을 활성화시키기 위해 고온에서 20분간 열처리 하였다. 열처리 온도는 1150도에서 1350도까지 변화시켜, 온도에 따른 전기적, 광학적 활성화에 관한 연구를 하였다. 열처리 온도가 증가함에 따라 전기적, 광학적 활성화 효율이 증가함을 보였다. $1\times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 와 $5\times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 의 실리콘 이온을 주입한 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 시료의 경우, 1350도에서 20분간 열처리한 후 100%의 활성화 효율을 얻었다. $1\times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 의 실리콘 이온을 주입한 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 시료는 훨씬 낮은 1200도에서 20분간 열처리한 후 100%의 전기적 활성화 효율을 얻었다. $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 시료는 1300도에서 20분간 열처리 하였을 때, $1\times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 와 $5\times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 의 실리콘 이온을 주입한 시료에 대해 각각 100%와 96%의 활성화 효율을 얻었다. 또한 모든 시료가 열처리 온도가 증가함에 따라 홀 이동도가 증가함을 보였다. 이것은 열처리 온도가 증가함에 따라 활성화된 실리콘 이온 농도가 증가하여 이온 산란이 증가함에도 불구하고 홀 이동도가 증가하는 것은 온도가 증가함에 따라 결정 결함이 감소함을 나타낸다.