

## 표면광 레이저에 집적된 산화막 광검출기

Oxide Photodetector Integrated on Vertical Cavity Surface  
Emitting Laser

한일영, 이용희

한국과학기술원 물리학과

\*s\_photon@cais.kaist.ac.kr

광픽업으로 사용되는 레이저는 안정된 출력을 위해 출력 모니터링(monitring)이 필요하다. 출력 모니터링으로부터 레이저를 피드백(feedback)하여 안정된 출력을 유지하는 것이다. 표면광 레이저 (Vertical-Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL)는 GaAs의 밴드갭보다 파장이 짧은 레이저 발진시 측면광 레이저(edge emitting laser)처럼 뒷면에서 레이저를 모니터링할 수 없으므로, 레이저 출력경에 검출기를 집적하는 방법이 필요한데, 이 때 필요한 점은 자발 방출에 의한 광전류가 없어야 한다는 점, 레이저 출력에 대한 높은 반응성을 지녀야 한다는 점 등이 있다.

이를 해결하기 위한 노력으로 공진기내 공진(intracavity resonant) 검출기가 제안되었는데<sup>(1)</sup>, 레이저 출력이 최대가 되는 지점에 양자우물 검출기를 집적함으로써 넓은 밴드를 갖는 자발 방출에 의한 광전류를 감소시킬 수 있었다. 그러나 하표면광 레이저의 경우 GaAs의 밴드갭보다 파장이 짧은 레이저에서 사용할 수 없다는 단점과 상표면광의 경우 전류가 증가함에 따라 발진파장이 미세하게 변화하는 데 따라서 검출기의 반응성이 변한다는 단점이 있다.

여기서 제안하는 검출기는 그림 1에서 보는 바와 같이 검출기에 Al 산화막 구경을 도입함으로써 자발 방출에 의해 검출기에서 발생하는 광전하(photocarrrier)를 양쪽 산화막의 비발광 중심을 통해 제거하는 것이다. 하지만 레이저는 산화막 구경을 통해 출력되며 일부는 GaAs 검출 부분에 의해 흡수, 광전류로 측정된다. 이렇게 해서 자발방출에 의한 광전류를 제거하게 되면 레이저 출력만의 광전류만 모니터링할 수 있게 된다.

그림 1에서의 780nm 표면광 레이저는 GaAs 기판 위에 40.5쌍의 n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As/Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As 반사경 (Distributed Bragg reflector)과 4개의 80Å Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>As 양자 우물이 있는 1 파장 공진기와 26쌍의 p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As/Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As 반사경으로 구성되어 있다. 이렇게 길러진 표면광 레이저 구조에 검출기 구조를 재성장했다. 길러진 검출기 구조는 GaAs 검출 부분이 있고, 그 양쪽에 Al 산화막을 위한 AlAs가 있다. 780nm 표면광 레이저는 이온 주입식 레이저로 제작되었으며, 검출기의 AlAs는 습식 산화 과정을 거쳐 여러 가지 크기의 Al 산화막 구경을 형성했다.

이 구조에서 검출기의 산화막 구경에 따라 어떤 양상을 보일 것인가에 대해 계산을 통하여 예측해 보았다. 외부에서 주입되는 전류로부터 전하밀도를 구한 후 문턱전류 아래에서 이 전하밀도가 공간적으로 가우시안(Gaussian) 형태로 분포된다고 가정하여 자발방출을 내는 것으로 하였다. 문턱 전류를 지나면서 역시 레이저 모드도 공간적으로 가우시안 형태로 가정하고, 실험에서 구한 레이저의 경사 효율 (slope efficiency)로부터 검출기에서 검출되는 광전류를 계산하였다. Al 산화막에서 생성되는 광전류는 모두 제거되는 것으로 가정했다. 그 결과가 그림 2에 나타나 있다.

그림 2 는 검출기의 Al 산화막 구경에 따른 계산된 광전류 결과이다. 이온 주입 구경은 10 $\mu$ m, 레이저의 경사 효율은 0.3 mW/mA로 가정했다. 그림에서 Al 산화막 구경이 15 $\mu$ m 이상이 되면 문턱전류 전의 기울기가 문턱전류 후의 기울기보다 더 크며, 문턱 전류 전의 기울기와 문턱 전류 후의 기울기 차이가 가장 크게 나는 경우가 Al 산화막 구경이 4 - 7 $\mu$ m인 경우라는 걸 알 수 있다.

그림 3은 표면광 레이저에 집적된 검출기와 외부 검출기를 이용하여 표면광 레이저의 전류에 따른

출력 특성을 측정한 것이다. 광출력은 외부에서 측정했고, 광전류는 집적된 검출기로 측정된 것이다.

그림 3 (a)에서 보면 외부에서 측정한 전류 대 레이저 출력의 곡선과 집적된 검출기에서 측정한 전류 대 레이저 출력의 곡선이 비슷한 양상을 띠는 것을 볼 수 있다. 그러나 여전히 문턱전류 아래에서 광전류가 검출되는 것을 볼 수 있는데, 이는 검출기의 Al 산화막 구경이 10 $\mu\text{m}$ 로 자발방출을 어느 정도 검출하기 때문이다. 그림 3 (b)는 산화막 구경이 50 $\mu\text{m}$ 인 경우이다. 이 경우 자발 방출의 흡수가 그림 3 (a)보다 증가하므로, 문턱 전류 전후의 기울기 차이를 관찰할 수 없다. 따라서, 자발방출의 광전류를 제거하려면 산화막 구경을 감소시켜야 하지만, 또 레이저 출력을 충분히 흡수하려면 산화막 구경이 어느 정도의 크기를 가져야 한다.

이러한 문턱전류 아래에서의 광전류를 감소시키기 위해 좀 더 정확한 습식 산화 공정의 확립으로 Al 산화막 구경의 조절이 필요하며, GaAs 검출 부분을 레이저 출력광 최대 위치에 위치시키고, 두께를 감소시켜 레이저 흡수율을 유지하는 한편 자발방출 흡수율을 감소시켜 자발방출에 의한 광전류를 감소할 수 있을 것이다.

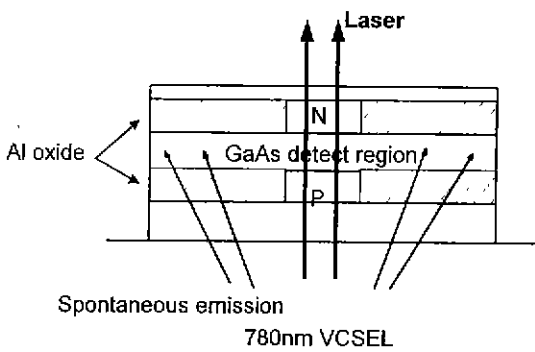


그림 1. 산화막을 이용한 검출기의 개략도

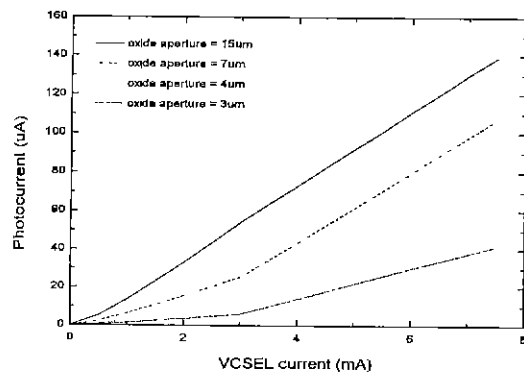
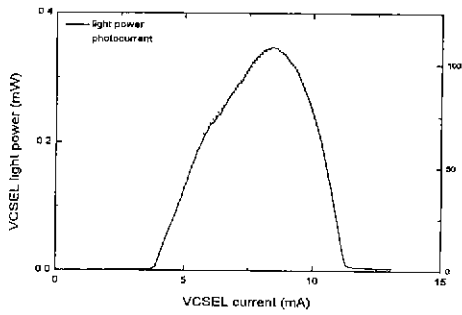
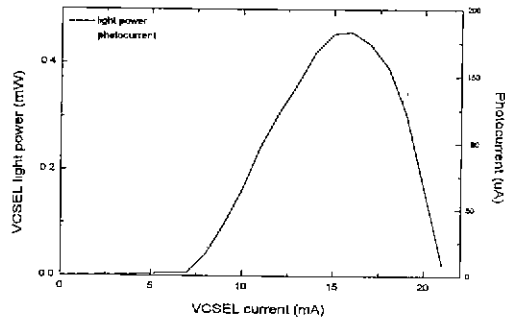


그림 2 검출기의 Al 산화막 구경에 따른 계산된 광전류

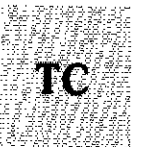


(a) 이온 주입 구경 = 10  $\mu\text{m}$ , 산화막 구경 = 10  $\mu\text{m}$



(b) 이온 주입 구경 = 20  $\mu\text{m}$ , 산화막 구경 = 50  $\mu\text{m}$

그림 3 표면광 레이저에 집적된 검출기와 외부 검출기로 측정된 표면광 레이저의 전류-출력 특성



[ 참고 문헌 ]

1. S. F. Lim, G. S. Li, W. Yuen, and C. J. Chang-Hasnain, "Vertical-Cavity Lasers with an Intracavity Resonant Detector", IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron. 3, 2-416 (1997)