

레이저유기에 의한 GaAs의 건식에칭 Laser induced dry etching of GaAs

박세기*, 인하대학교 전기공학과

Park Se Ki, dept. of Electric Engineering, Inha University

이천, 인하대학교 전기공학과

Lee Choen, dept. of Electric Engineering, Inha University

최원철, 성균관대학교 물리학과

Choi Won Cheol, dept. of Physics, SungKyunKwan University

김부성, 한국과학기술연구원 반도체재료센터

Kim moo-sung, Korea Institute of Science and Technology

민석기, 한국과학기술연구원 반도체재료센터

Min Suk-Ki, Korea Institute of Science and Technology

안명성, 한국과학기술연구원 CFC 대체센터

Ahn Byung sung, Korea Institute of Science and Technology

Introduction

Instead of using CCl_4 , CCl_2F_2 gases, we used a alternative reaction gas of CFCs, which we have developed, for the experiment of laser induced dry etching of GaAs, and compared with the etch rate, etch profile of a usual reaction gas. Laser powers (power density) on the sample surface were varied from 100mW (12.7 MW/cm^2) to 210 mW (27 MW/cm^2). The laser beam was scanned over the sample by moving the cell with a speed ranging from 8.3 $\mu\text{m/sec}$ to 80 $\mu\text{m/sec}$, and the gas pressure also was varied from 260 Torr to 760 Torr. High etching rates up to 136 $\mu\text{m/sec}$ and an aspect ratio of 2.6 have been achieved by single scan of laser beam. The chemical compositions of the reaction products deposited on the etched groove were measured by Auger electron spectroscopy(AES). Etch profiles, including depth and width, were observed by scanning electron microscopy(SEM).

요약

레이저 유기에 의한 GaAs의 건식에칭에 있어서 기존의 CCl_4 나 CCl_2F_2 가스를 에칭가스로 사용하는 대신에 본 연구팀이 새로 개발한 CFCs 대체가스를 사용하여 기존의 가스와의 에칭률과 그 가공된 형태를 비교하였다. 실험은 power 밀도 12.7 MW/cm^2 에서 27 MW/cm^2 까지로 가면서 하면서 하고 에칭가스의 압력은 260 Torr에서 760 Torr 까지 변화를 주면서하였다. 빔의 주사속도는 8.3 $\mu\text{m/sec}$ 에서 80 $\mu\text{m/sec}$ 까지 가변을 시켰다. 그 결과 CHClF_2 가스에서의 에칭율(etch rate)은 최대 136 $\mu\text{m/sec}$ 이고 aspect ratio 는 2.6이 됨을 알 수 있었다. 에칭된 형태를 측정하기 위해서 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 사용하였으며, 사료 표본의 물질 분석을 위해서는 AES(Auger Electron Spectroscopy)를 사용하였다.

1. 서론

레이저 유기에 의한 건식에칭은 기존의 리소그라피(ri-

thography) 방법과는 달리, mask를 사용한 에칭(Wet Etching, RIE : Reactive Ion Etching, Plasma Etching etc.)에서 탈피하여, mask와 photoresist를 사용하지 않고 상온에서 직접 에칭을 할 수 있으므로 기존의 공정을 획기적으로 줄일수 있고, aspect 비가 큰 에칭형태를 구사할 수 있는 에칭방법이다. 레이저빔을 이용한 건식에칭은 제한적인 영역에서의 공정에 유용하고^[1] 주분제작이 가능하며^[2] 직접 에칭을 할 수 있다. 레이저를 이용한 건식에칭은 외국학계에서는 10여년전 부터 활발하게 연구되고 있지만, 국내에서는 본 연구팀이 최초로 시도하고 있는 연구이다. 여기서는 이런 장점을 가지고 있는 건식 에칭에 대해서 소개를 하고자 한다.

에칭용액을 사용하는 습식에칭과는 달리 건식에칭에서는 에칭가스를 사용하는데 기존의 에칭가스의 경우 CCl_4 ,^[2,3] CCl_2F_2 (with O or He),^[3,4] $SiCl_4/SF_6$,^[5] CH_4/H_2 ^[6] 가스등을 사용해왔다. 이중 CCl_4 가스나, CCl_2F_2 가스를 사용한 경우에 에칭 특성이 우수하였으나, 최근 오존층(O_3)을 파괴시키는 주 인자로서 환경규제물질이 되고 있다. 따라서 본 연구팀에서는 이런 환경문제에 대처하기 위하여 새로운 가스를 개발하였다. 이 새로 개발된 CFCs 대체가스를 본 연구에 사용하였으니 에칭가스로서의 가능성을 타진해 보았다.

2. 실험

사용된 시료는 Si이 도핑된 n-type GaAs(10^{18} cm^{-3}) 이고, X,Y,Z축으로 이동이 가능한 stage위에 시료를 놓았다. 시료는 진공도 10^{-3} Torr인 진공 chamber 안에 놓였으며, X,Y,Z 축으로 이동이 가능하게 하였다. Stage의 구동은 DC 모터를 사용하였다. 속도제어에는 일반적으로 스텝모터를 사용하는데, stage의 안정성을 고려하여 DC 모터를 사용하였으며 속도의 제어는 기어박스로서 하였다. 레이저 빔의 빔의 주사속도는 $8.3 \mu\text{m}/\text{sec}$ 에서 $80 \mu\text{m}/\text{sec}$ 까지이다. 레이저빔은 광학계를 통과시켜서 직경 $1 \mu\text{m}$ 까지 집속시켰으며, 빔은 고정되어있고 sample stage를

이동시켜서 scanning이 가능 하도록 하였다.

진공 chamber는 내부식성을 고려하여 stainless steel을 사용하였고, chamber내에 빔을 조사시키기 위해서 석영(quartz) 유리로 창을 만들었다. 또한 chamber 내에 진공을 실현하기 위해서 로타리 펌프를 사용하였으며 그 진공도를 측정하기 위해서 진공 게이지를 장착하였다.

한편, chamber 안에 주입되어지는 에칭가스의 미세조정을 위해서 needle valve 와 압력 게이지를 chamber와 연결시켰다. 레이저는 아르곤 이온 레이저를 사용하였으며 파장은 다중파장을 사용하였다.

실험에 있어서 사용한 가스는 CFC 대체물질인 $CHClF_2$ 가스와 $C_2H_2F_4$ 의 두가지 가스를 사용하였으며, 에칭가스압에 따른 에칭율의 비교를 위해서 기존에 사용하던 CCl_2F_2 가스도 사용하였다. 레이저 빔의 power 밀도는 $12.7 \text{ MW}/\text{cm}^2$ 에서 $28 \text{ MW}/\text{cm}^2$ 까지 변화를 시켰다. 에칭 형태를 보기위해서 SEM(Scanning Electron Microscopy)를 사용하였으며 시료표면의 물질 분석을 위해서는 AES(Auger Electron Spectroscopy)를 사용하였다.

3. 결과 및 토의

(그림1)은 $CHClF_2$ 가스에서 가스압 260 Torr, 빔 주사속도 $8.35 \mu\text{m}/\text{sec}$, 빔 power(power density) $170\text{mW}(21.65 \text{ W}/\text{cm}^2)$ 에서 에칭한 시료의 SEM 사진이다.

기존의 에칭가스인 CCl_2F_2 와 CFC 대체물질인 $CHClF_2$, $C_2H_2F_4$ 의 세가지 에칭가스를 비교 실험한 결과 가스압력 260 Torr, 주사속도 $8.35 \mu\text{m}/\text{sec}$,인 조건에서 $CHClF_2$ 가스는 CCl_2F_2 보다는 에칭 threshold는 10mW 정도가 낮은것으로 나타났다(그림2). GaAs와 에칭가스중에 포함 되어있는 Cl(chlorine)과 F(fluorine)의 에칭반응에 기여도를 조사하기 위해서 임화기가 없는 $C_2H_2F_4$ 가스를 사용해보았다. CCl_2F_2 가스와 $C_2H_2F_4$ 가스를 비교 해보면 낮은 빔 power(150mW 이하)에서는 CCl_2F_2 가스가 $C_2H_2F_4$ 가스보다 aspect 비가 좋음을 알수 있었다. 하지만 power를 높여줄에 따라서 aspect 비가 서로 비슷해 짐을 알 수 있었다(그림3). 한가지 특이 할 만한 것은 임화기

가 있는 가스를 반응가스로 사용하면 시료표면에 퇴적 물들이 많이 쌓여 에칭형태가 깨끗하지 못함을 알 수 있었다. 한편 불소기가 있는 가스의 경우는 표면에 깨끗하고 V groove를 만들기에 좋았음을 알 수 있었다.

또한 에칭된 후의 시료표면에 있는 물질의 성분을 분석한 결과 oxide와 carbon이 발견되었는데 산소는 chamber와 needle valve의 연결부위에서의 leak때문에 생긴 것이라고 생각한다. 또한 carbon은 에칭을 한 부위에만 생겼고 에칭이 되지 않은 부위에서는 나타나지 않은 것으로 GaAs와 에칭가스가 반응하여 생긴 물질이 퇴적되었음을 알 수 있었다. 본 연구에서 얻어진 결과는 CFC대체 가스인 CHClF_2 를 사용한 경우, 기존의 CCl_2F_2 가스로 에칭을 하였을 때^[7] 보다 낮은 에칭율(136 $\mu\text{m}/\text{sec}$)을 보이고 있으나 앞으로 최적조건을 찾는다면 충분히 반응가스로 사용이 가능하리라 생각된다.

결론

레이저 유기에 의한 GaAs의 건식에칭은 고도의 aspect ratio를 갖는 마이크로구조를 얻을 수 있다.^[7] 본 연구에서 얻어진 결론은 기존의 에칭 공정(Wet Etching, RIE : Reactive Ion Etching, Plasma Etching etc.)과 비교하여 볼때에 에칭 형태가 좋으며, 좀 더 험소한 지역에서의 에칭이 가능함을 알 수 있었다. 특히, 환경규제물질에 대한 대체 물질로서 CHClF_2 와 $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ 의 두가지 가스에 대한 건식에칭용 반응가스로서의 가능성을 타진해보았으며, 그 결과 좀 더 나은 조건과 시스템에서의 연구가 이루어진다면 앞으로 가능성은 충분하다는 결론을 얻게 되었다. 또한 이러한 반응가스들은 상온에서 수기압까지 압력을 높일 수 있으므로 더 좋은 에칭율을 기대할 수 있다. 본 연구에 의한 에칭기술이 확립되면 그 응용범위는 도파로(wave guide), 소자분리(isolation), 기판절단(cutting)등에 이용될 수 있을것이라 생각된다.

[참고문헌]

1. S. I. Bozhevolnyi, I. V. Potemkin, and V. B. Svetovoy, *J. Appl. Phys.* **71**(4) 2030-2032 (1992)
2. R. H. Burton and G. Smolinsky, *J. Electrochem. Soc.* **129** 1599 (1982).
3. S. J. Pearton and M. J. Vasile, *J. Appl. Phys.* **65**(3) 1281 (1989)
4. N. Yabumoto, M. Oshima, and S. Maeyama, in *Proceeding of the Symposium on Dry Process*, edited by J. Noshizawa(Institute of Electrical Engineers of Japan, Tokyo, 1982) pp. 73-38
5. S.Salimian, C. B. Cooper III, and M. E. Day, *J. Vac. Sci. Technol. B* **5**, 1606 (1987)
6. R. Cheung, S. Thoms, S. P. Beamont, G. Doughty, V. Law, and C. D. W. Wilkinson, *Electron. Lett.* **23**, 857 (1987)
7. Cheon Lee, Hirokazu Sayama, Susumu Namba, and Mikio Takai, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 236*. 3 (1992)

* 본 연구의 일부는 인하대 연구비와 KIST 전분성 신화연구(2N12237)의 보조로 이루어 졌음.



Fig.1 SEM photograph of the etched groove obtained by a laser power of 170 mW(power density 21.65 MW/cm²), scan speed of 8.35 $\mu\text{m}/\text{sec}$, and CHClF_2 pressure of 260 Torr.

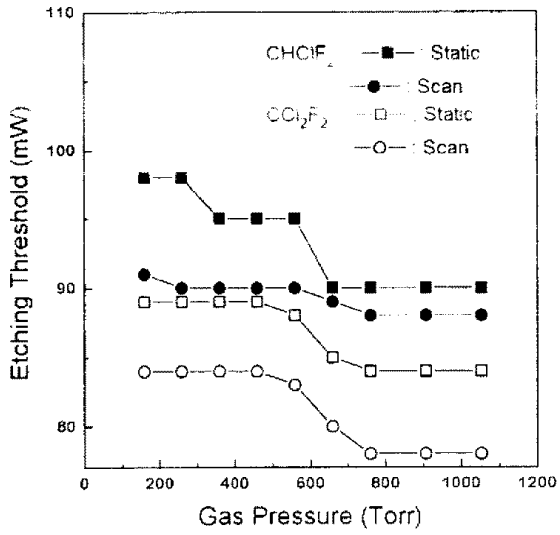


Fig.2 Etching threshold power of CHClF₂, CCl₂F₂ gases as a function of gas pressure.

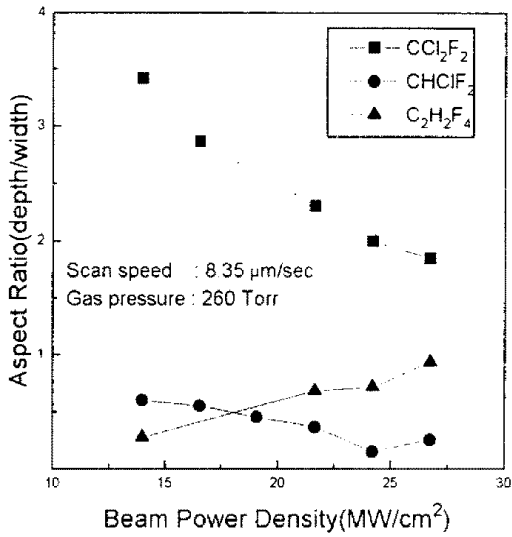


Fig.3 Aspect ratio as a function of beam power density for three reaction gases at a scan speed of 8.35 μm/sec, a gas pressure of 260 Torr.