

工學碩士 學位論文

DVD-ROM용 레이저 다이오드를 具現하기 위한

포토 에칭에 관한 研究

The study of the photo etching for DVD-ROM laser diode

指導教授 李 三 寧

2004年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科 金 鐘 成

工學碩士 學位論文

DVD-ROM용 레이저 다이오드를 具現하기 위한

포토 에칭에 관한 研究

The study of the photo etching for DVD-ROM laser diode

指導教授 李 三 寧

2004年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科 金 鐘 成

本 論文을 金鐘成의
工學碩士 學位論文으로 認准함.

委 員 長 梁 啓 印

委 員 張 志 豪 印

委 員 李 三 寧 印

2004年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科

목 차

Abstract

1. 서 론	1
2. SGBR 구조를 위한 photo 및 화학 에칭 공정기술	5
2.1 Ridge 형성을 위한 photo 및 화학 에칭 공정기술	7
2-2 화학 에칭.....	13
3. 결 론	63
참 고 문 헌	65

The photo etching study for the laser diode using in DVD-ROM

Jong Seong Kim

Major in Semiconductor Physics

Graduate School, Korea Maritime University

Supervised by Professor Sam Nyung, Yi

Abstract

It was researched the fabrication of 650nm DVD-ROM laser diode which has the selective growth buried ridge(SGBR) structure. The experiment was especially focused to the stabilization of unit fabrication about photolithography and wet etching. The HBr line was used as etchant in order to etch all the materials used in the fabrication of SGBR LD structure. It was studied the variation of component in HBr source to find the etching condition. As a result, $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ was selected as a first etching source and $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1(47^\circ\text{C})$ was used as second and third etchant. It was also constructed the new etching fabrication flow as follows. In this thesis, the chemical etching fabrication flow was proposed newly to make the SGBR LD structure. These researches are to be expected to contribute in the stabilization of unit fabrication about chemical wet etching.

1. 서 론

최근의 정보 산업의 발전에 의해 많은 정보를 대량으로 고속 처리하는 필요성이 절실히 요구되고 있다. 21세기 Digital 정보산업에 의한 super-highway 구상은 광 정보처리의 능력을 현재의 수준에서 수배이상 개선해야 하는 상황에 직면해 있다. 광을 이용한 정보 처리의 적용에는 아직 미 확정적인 부분이 많이 존재하며 이를 위한 노력이 절실히 요구되고 있다.

광 정보 처리에 이용되고 있는 소자에서 가장 중요한 요소는 동작속도에 있다고 하겠다. 반도체 레이저의 동작 속도는 펄스 구동시 단일 펄스의 발생에 있어 피코(pico)초 영역 대까지의 고속 펄스가 가능하며 이는 수 기가(giga) 헤르츠의 동작이 가능하게 된다. 또한 광 정보처리의 특징으로는 병렬처리의 가능성이 일찍부터 지적되어 왔으며 이를 위한 반도체 레이저의 필요성이 절실히 요구되고 있다. 소형, 경량, 고 휘도, 저 소비전력을 가진 반도체 발광 소자는 그 응답 속도가 빠르고 IC와 직접 구동이 가능하며 반도체 소자로서 수명이 길며 신뢰도가 우수하다는 장점을 지니고 있다.

DVD (Digital Video Disk)는 CD(compact disk)와 LD(laser disk)의 장점만을 취하여 디지털 방식으로 고화질 및 고음질을 실현하였으며 많은 data의 고화질 영상을 수록 할 수 있어 CD, LD는 물론 VCR(video cassette recorder) 까지 통합 할 수 있는 미래의 멀티미디어 기기이다. 2층 구조의 17Gb 양면 disc의 개발과 더불어 data의 저장구조가 표면에 가까워 reading time이 짧다. 또한 data의 저장 밀도가 높아 전송률은 4배속 CD롬 드라이브와 비슷하지만 빠르게 회전시킬 필요가 없어 실제로는 9배속의 효과가 있다. DVD플레이어는 그 기본 특성 뿐만 아니라 음악용 CD, 비디오(VCD)를 모두 호환할 수 있는 선별기능과 자동으로 disc 중

류를 판별 작동할 수 있는 기능도 개발되고 있다. 또한, TV와 접속해 영상을 재생하는 물론 PC 기억장치, 게임기, 자동차 항법장치(GPS) 등에도 적용이 된다. 그 핵심 기술로는 광 픽업 기술 등이 있으며, 그 중 가장 중요한 기술은 DVD용 레이저 다이오드의 개발이라고 하겠다.

DVD 상품이 상품으로써의 경쟁력을 갖추려면 소형화, 경량화가 필요하고 여기에는 광 픽업 구동장치를 더욱 얇게 하고 레이저 다이오드와 수광 다이오드를 일체화하는 등의 다양한 제조 기술이 필요하다. 이를 위해 적색레이저의 개발과 더불어 보다 파장이 짧은 청색레이저의 개발 또한 시급한 문제라고 할 수 있다. 원천기술 개발은 선진업체보다 기술력이 뒤지고 있는 국내 업체들에게는 반드시 이루어야 할 필요 과제라고 할 수 있다.

Photo & 화학 etching은 반도체 소자 제조 공정에서 가장 중요한 기술 중의 하나로서 GaAs와 같은 III-V족 화합물 반도체 재료기술의 급속한 발전과 초고속 소자 및 광 반도체 소자의 개발에 의해 그 기술의 중요성이 매우 증대하고 있다 [1]. 특히 반도체 소자 제작에 있어 화학 에칭은 재작업을 할 수 없기 때문에 반드시 재현성 있는 안정된 기술이 요구된다. 일반적으로 lithography란 마스크의 pattern을 wafer위에 옮기는 기술이며 화학에칭을 통해 wafer에 완성된 pattern을 만들게 된다. Lithography에는 exposing energy beam의 종류에 따라 photolithography, e-beam lithography 그리고 x-ray lithography 등이 있다. photolithography는 1 μ m의 resolution을 얻을 수 있으며, e-beam lithography는 0.5 μ m의 resolution 그리고 x-ray lithography는 0.5 μ m이하의 resolution을 얻을 수 있다. 그 외에 수 100 Å의 resolution을 얻을 수 있는 ion-beam lithography 방법이 개발되고 있다. 한편 exposure 방법에 따라 contact printing, proximity printing 그리고 projection printing이 있으며 contact printing 방법이 가장 널리 사용되고 있다. 본 실험에서는 광원으로 UV

(ultraviolet)를 사용하며 resist가 입혀진 wafer가 마스크에 접촉하여 exposure 되는 contact printing 방법의 photolithography 방법을 이용하였다.

화학에칭(wet etching)은 etchant로 화학용액을 사용하는 공정으로 반응물(reactant)이 결정의 표면에서 화학 반응을 일으켜 표면을 녹여 내리는 과정이다. 이러한 화학 에칭은 결정 표면 결함을 제거하기 위한 에칭, lapping과 polishing을 위한 에칭 그리고 structural 에칭 등으로 구분 할 수 있다. 일반적으로 화학 용액은 산화제, 환원제 그리고 희석제로 혼합하여 구성된다. GaAs etchant로서 가장 널리 사용되는 것으로는 H_2SO_4 계와 HCl계 그리고 NH_4OH 계 등이 있으며, InGaAlP etchant로서는 H_2SO_4 그리고 HF계, H_3PO_4 계 등이 있다. 한편 InGaP etchant로서는 Br계가 있다.

GaAs 또는 InP등은 zinc-blende 격자 구조를 가지며 결정면에 따라 에칭 속도가 다른 비등방성(anisotropic) 에칭을 하게 된다. 따라서 이러한 성질에 의해 photomask의 방향에 따라 에칭 모양이 다르게 나타난다. 화학 에칭은 일반적으로 3단계로 설명할 수 있다. 첫째 과정은 반응물이 결정의 표면을 에칭이 되기 쉬운 산화상태의 물질로 ion화 하는 것이며, 둘째 이렇게 ion화된 물질들이 에칭 용액과 반응을 일으켜 산화층을 녹이며, 셋째 표면으로부터 용액 속으로 녹아 들어 가는 과정이다. 즉, 산화와 환원 과정으로 결정 표면으로부터 구성원자들을 에칭 용액으로 녹여 제거 시킨다 [2,3]. 예로 본 실험에 사용된 HBr계의 경우 H_2O_2 이 산화제로 작용하며, HBr이 다시 이 산화층을 녹여내는 용액으로 작용되며 H_2O 는 희석제로 작용된다고 할 수 있다.

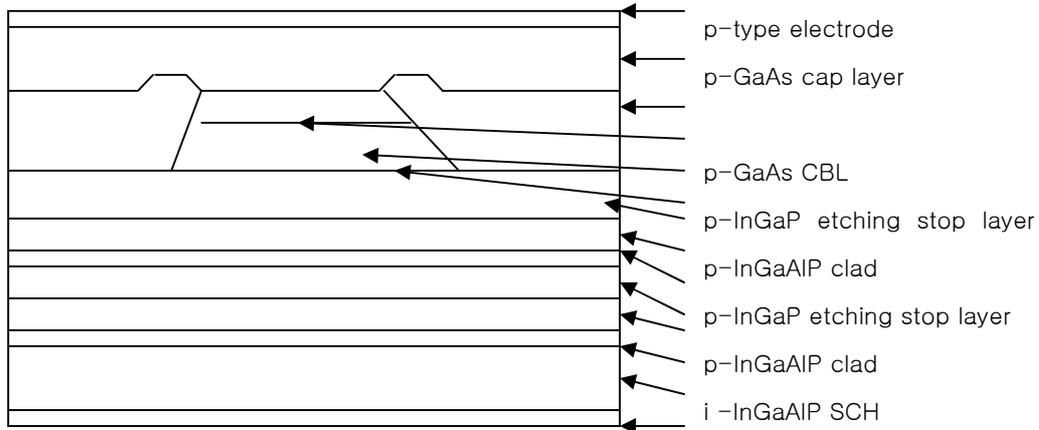
single cristal(GaAs, InP 등)은 결정면의 방향에 따라 원자 배열 밀도 및 원자간 결합이 다르며 에칭되는 면에 따라 에칭속도가 다른 비등방성(anisotropic) 성질을 갖는 zinc-blende 격자 구조를 하고 있다. GaAs 격자에서 원자 결합은 Ga과 As가 하나의 공유결합을 하고 있으며 Ga은 다시 위 혹은 아래의 층과 3개의 공유

결합을 하고 있으며 마찬가지로 As 도 위 혹은 아래의 층과 3개의 공유결합을 하고 있다. (111) 면은 하나의 공유결합을 하는 Ga과 As이 분리된 면으로 그 표면은 Ga 혹은 As 의 한가지 종류의 원자들만 남아 있게 된다. (111)Ga 면은 5개의 가전자($31\text{As}-5s^25p^1$)가 모두 결합을 이루어 자유전자가 발생하지 않으며, (111)As 면은 5개의 가전자($33\text{As}-4s^24p^3$) 중 2개의 자유전자를 발생할 수 있어 표면 원자는 에칭이 되기 쉬운 산화 상태로 되며 그 결과 (111)Ga 면 보다는 (111)As 면이 더 빠른 에칭 속도를 가지게 된다. 결정면에 따른 에칭 속도는 $(110) > (111)\text{As} > (100) > (111)\text{Ga}$ 의 순으로 나타난다 [3]. 따라서 mask의 방향에 따라 에칭 모양이 변화하게 되어 (011-) 방향으로서는 v-groove의 형태를, (011) 방향으로서는 dovetail 모양을 형성 시킬 수 있다. 이때 v-groove 경사각은 (100) 표면이 0° off 된 경우는 대략 55° 가 발생하며, dovetail 모양의 둔각은 125° 정도가 나타나게 된다. 본 실험에서는 15° off된 GaAs(100)기판을 사용하여 v-groove 형태의 각을 이용하여 ridge 형태를 형성하게 되므로 예상되는 각은 한 쪽 각이 40° 다른 한 쪽 각은 70° 정도로 추측할 수 있다.

본 연구에서는 650 nm DVD-ROM 용 반도체 레이저 다이오드로서 SGBR 구조를 형성하기 위한 Photo 및 화학에칭에 관한 공정 기술과 안정화에 관한 연구를 실시하였다.

2. SGBR 구조를 위한 포토 및 화학 에칭 공정기술

1985년 GaAs 와 격자 정합을 이루는 InGaAlP 계에서 발진 파장 670-680 nm 의 반도체 레이저가 처음으로 발진되었다 [4-6]. 이러한 재료는 고품질의 GaAs 와 격자정합을 하는 범위에서 580 nm - 680 nm의 발진 파장이 가능 하다. 이러한 재료는 에피택시 성장 기술의 급속한 발달에 의해 MOCVD(metal organic chemical vapor deposition), MOVPE (metal organic vapor phase epitaxy) 그리고 MBE(molecular beam epitaxy) 방법 등으로 성공적으로 개발 되고 있다. InGaAlP 계에서의 레이저 구조로는 처음에 개발된 이득 도파형 구조 [4]에서 지금은 단일 횡모드형의 구조 [7]가 개발되고 있다. InGaAlP 계의 반도체 레이저 다이오드는 고성능의 레이저가 개발 됨과 동시에 고출력화, 단파장화를 위해 많은 연구 개발이 뒤따르고 있다. SGBR(selective growth buried ridge) 구조는 LG Innotek 광소자 사업팀에서 독자적으로 개발한 구조로서 단일 횡 모드형 구조의 일종이다. <그림 1>에서는 SGBR 구조의 개략도를 나타내었다. 이러한 SGBR 레이저 구조는 횡모드 도파로 구조 즉, ridge를 형성한 후 전류 제한 층의 성장과 전류 제한 층에 다시 전류를 흘릴 수 있는 층을 성장하기 위해 3회에 걸친 결정 성장을 필요로 하고 있다. SGBR 구조를 실현하기 위해서는 2차에 걸친 포토 및 화학 에칭이 필요로 하며 본 연구에서는 1차 포토 및 화학에칭인 ridge 형성에 관해 다루고자 한다.



<그림 1>. SGBR 구조의 개략도

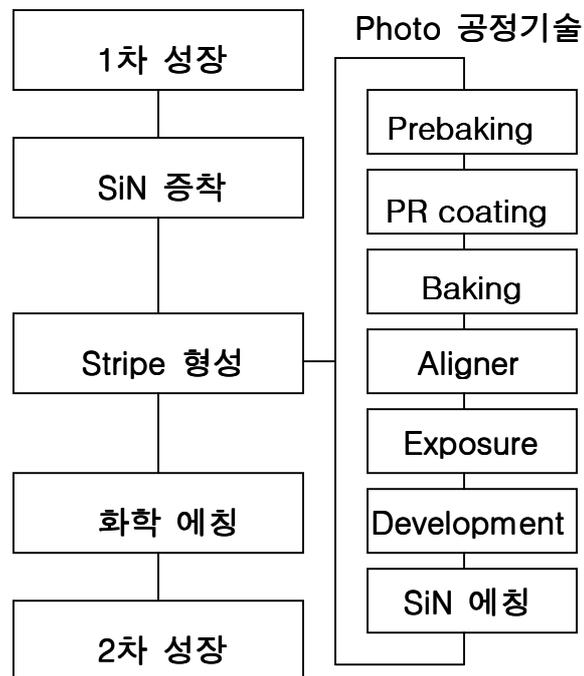
2-1. Ridge 형성을 위한 photo 및 화학 에칭 공정 기술

Ridge 형성을 위한 photo 및 화학 에칭 공정 기술에는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 화학 에칭을 위한 masking 작업으로 1차 wafer 위에 증착된 SiN_x 를 photo 작업을 통하여 stripe를 얻어 내는 공정이며, 둘째는 이러한 SiN stripe mask를 이용해 원하는 모양의 ridge를 화학 에칭하는 공정으로 구분할 수 있다. 첫째 공정을 본 report에서는 간단히 photo 공정이라 하고 두 번째 공정 기술을 화학 에칭 이라고 정의 하고자 한다.

2-1-1. Photo 공정기술

일반적으로 photo 공정기술이란 wafer 위에 photoresist를 도포하여 mask pattern을 옮기는 기술을 말한다. 앞에서 서술한 것과 같이 expose energy beam으로 UV(ultraviolet) 광원을 사용하며 exposure하는 방법에 따라 세가지로 구분된다. 첫째는 mask와 wafer가 접촉되어 exposure되는 contact printing 방법과 mask와 wafer가 일정한 간격을 유지하여 exposure되는 proximity printing 방법 그리고 비교적 복잡한 광학 장치를 사용하여 exposure하는 projection printing 방법이 있다. 이 가운데 contact

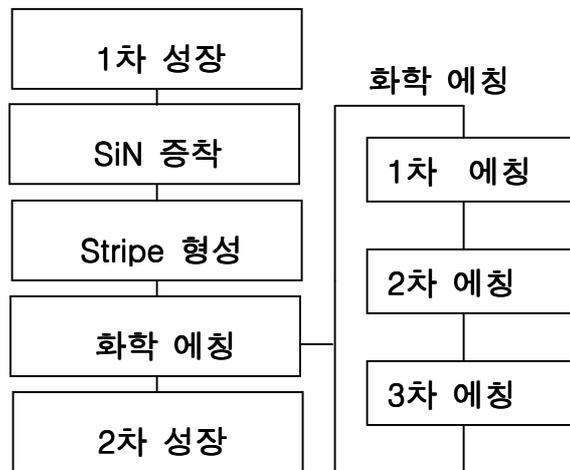
printing 방법은 간단한 장치로 1 μm 의 resolution 을 쉽게 얻을 수 있어 가장 널리 사용되고 있다. Photoresist에는 positive와 negative 의 두 종류가 있다. Positive resist는 exposure 된 resist 가 development 과정을 통해 제거되며, negative resist 는 exposure 된 resist 가 남아 있게 된다. Positive resist 는 감광성 화합물과 염기성수지 그리고 유기용매로 구성되며, exposure 전에는 감광성 화합물은 developer에 의해 용해되지 않으나 염기성수지는 알칼리성 developer에 0.1 nm/sec 정도로 용해된다고 알려져 있다 [8]. SGBR ridge를 형성하기 위한 photo 공정기술에는 그림 2와 같은 주요 공정 흐름도가 필요로 한다. stripe 폭이 3.5 μm 인 mask를 사용하며, SiN stripe는 3 $\mu\text{m} \pm 0.2 \mu\text{m}$ 를 목표로 하고 있다. 또한 에칭 후 ridge의 아래 폭을 3.5 ~ 4.5 μm 를 최종 목표로 하고 있다 <그림 2>.



<그림 2>. 주요 photo 공정기술 흐름도

2-1-2. 화학 etchant 의 선택

Ridge 형성<그림 1>을 위한 1차 화학 에칭에는 <그림 3>에서와 같은 공정 흐름도가 요구된다. 공정 흐름도에서 볼 수 있듯이 화학 에칭을 3단계에 걸쳐 에칭하는 이유는 SGBR 구조가 특이한 에피 층으로 구성된 것에 기인하게 된다. <그림 4>에서 볼 수 있듯이 1차 성장된 wafer는 (1) InGaP etching stop 층과 (2) InGaAlP-clad 층, (3) InGaP etching stop 층 그리고 (4) GaAs 층으로 구성되어 있다. 따라서 3종류의 서로 다른 물질을 에칭 해야 하는 어려움이 있다. 각각의 물질에 대해 현재 많이 사용되고 있는 etchant를 표1에 나타내었다. InGaP의 경우는 HCl, Br, HNO₃계열에 에칭이 되나, HF, H₂SO₄ 등에 전혀 에칭 되지 않는 것을 알 수 있다. 그리고 HCl계에 대해서는 GaAs에 대한 선택적 에칭 또는 비선택적 에칭이 가능한 것으로 알려져 있다 [9-11].



<그림 3>. 화학 에칭의 공정흐름도

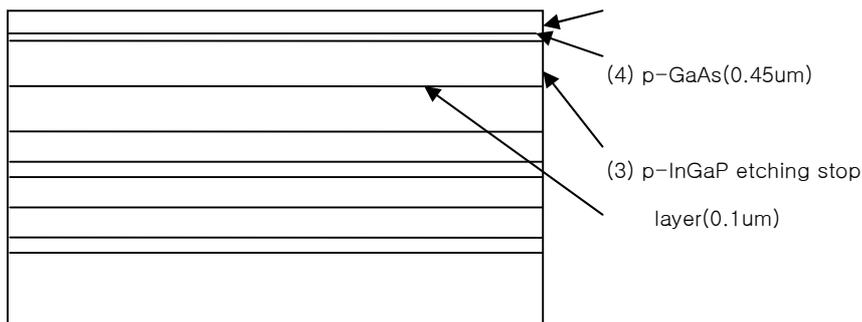
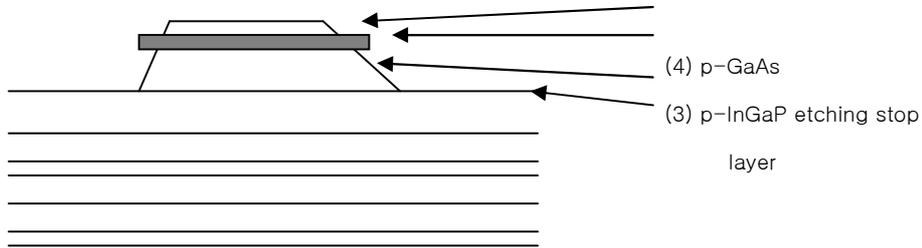


그림 4>. 1차 성장 wafer의 개략도

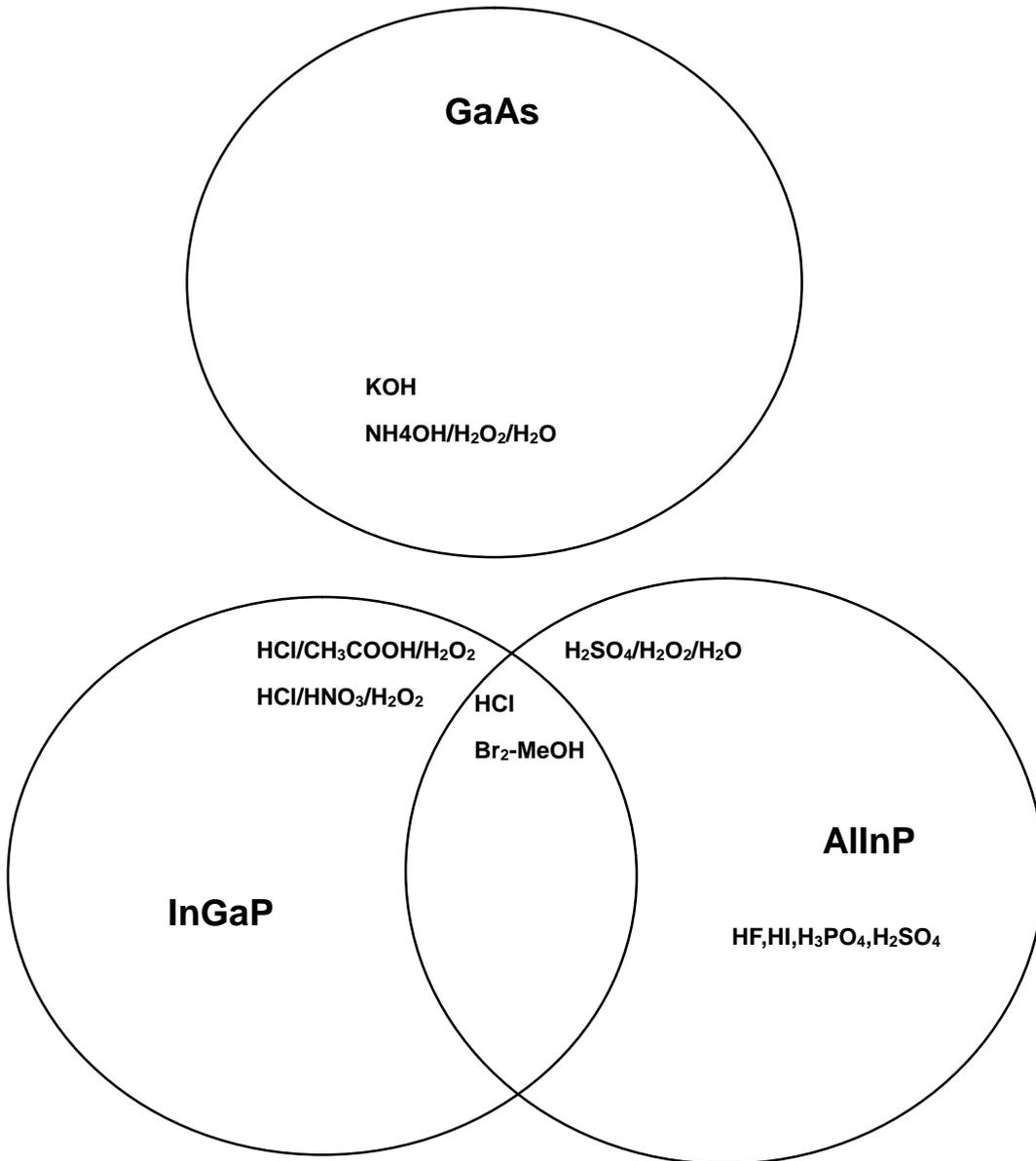


<그림 5>. 버섯 모양의 undercut 형상의 개략도

표1. 물질에 따른 wet etchant

etchant	materials	etch rate[Å/min]	mask type
HF(49%)	InAlP	910	PR
	InGaP	no etch	
	GaAs	no etch	
HI(55%)	InAlP	1,300	PR
	InGaP	no etch	
	GaAs	no etch	
H ₂ SO ₄ (96%)	InAlP	2,200	PR, Si ₃ N ₄ , SiO ₂
	InGaP	no etch	
H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ /H ₂ O	GaAs	20,000	Si ₃ N ₄ , SiO ₂
H ₃ PO ₄ (95%)	InAlP	2,400	PR, Si ₃ N ₄ , SiO ₂
	InGaP	no etch	
	GaAs	no etch	
HCl(37.4%)	InAlP	> 50,000	PR, Si ₃ N ₄ , SiO ₂
	InGaP	20,000	PR, Si ₃ N ₄ , SiO ₂
HCl/CH ₃ COOH/H ₂ O ₂	GaAs	20,000	PR, Si ₃ N ₄ , SiO ₂
HNO ₃ (75%)	InAlP	1,400	PR, Si ₃ N ₄ , SiO ₂
	InGaP	30,000	PR, Si ₃ N ₄ , SiO ₂
	GaAs	available, not known	
(COOH) ₂ ·2H ₂ O(10%)	InAlP	no etch	
	InGaP	no etch	
	GaAs	may not be etched, not known	
C ₆ H ₈ O ₇ (20%)	InAlP	250	PR, Si ₃ N ₄ , SiO ₂
	InGaP	no etch	
	GaAs	no etch	
1% Br ₂ -MeOH	InAlP	>100,000	Si ₃ N ₄ , SiO ₂
	InGaP	160	Si ₃ N ₄ , SiO ₂
	GaAs	6,700	Si ₃ N ₄ , SiO ₂

한편 GaAs에 대한 etchant는 H_2SO_4 , Br, HCl, NH_4OH 계 등이 있다 [12-14]. InGaAlP 혹은 InAlP계에 대해서는 Al 성분에 대한 etchant가 주류를 이루고 있으며 HCl, Br, HNO_3 , H_3PO_4 , HF, H_2SO_4 계 등이 있다 [10]. 따라서 3종류의 물질을 모두 에칭 할 수 있는 etchant로서 HBr 계가 적당하다.



<그림 6>. GaAs, InGaP, InGaAlP 물질에 대한 etchant

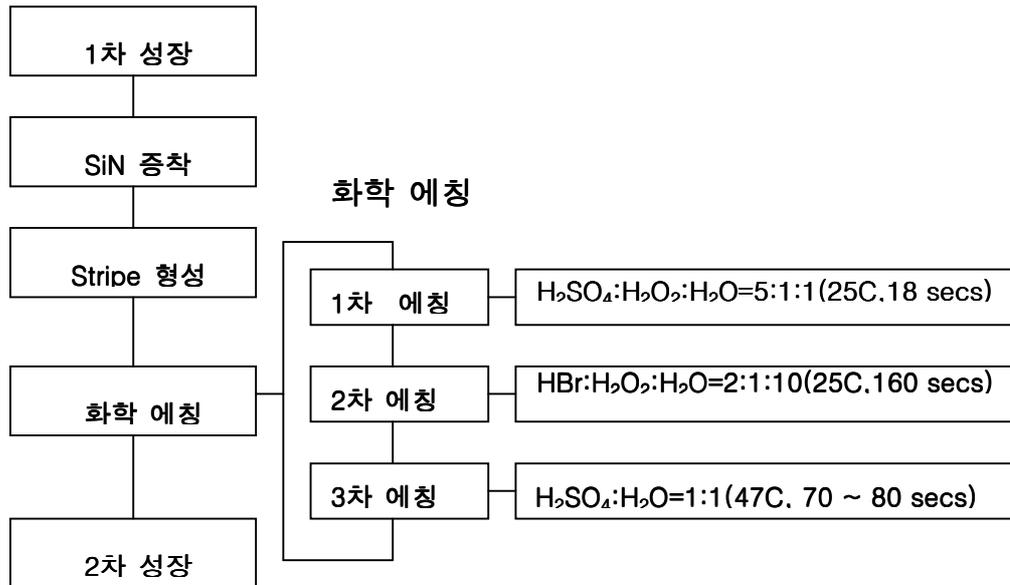
만약 각 층을 따로 에칭할 경우에는 (3)의 InGaP etching stop 층의 선택성이 다른 etchant에 비해 월등히 크기 때문에 버섯 모양의 undercut 형상이 두드러져<그림 5> LD 특성에 영향을 미치게 된다. 따라서 3가지 모두 에칭 할 수 있는 etchant를 이용하여 한번에 InP, InGaAlP 그리고 GaAs층을 에칭 하여야 한다. <그림 6>에서 3물질에 대한 공통 etchant를 표시하였다. 표1에 의해 공통적인 etchant를 찾을 수 있으며, Br 계열이 InGaP, GaAs 그리고 InGaAlP에 대해 모두 에칭 할 수 있다. HCl 이나 HNO₃계는 etchant의 특성에 의해 잘 사용하지 않는다. 따라서 본 technical report에서는 1차 에칭에서 사용할 etchant로서 HBr계를 선택하고자 한다. HBr 계를 이용하여 최대한 깊게 (1)의 InGaP etching stop 층<그림 5> 근처 까지 에칭을 하여 <그림 5>에서의 undercut 현상을 최소화 하고자 한다. 한편 HBr계는 그 에칭의 특성에 의해 에칭 후의 edge 의 모양이 둥글게 되는 단점이 발생 한다. 따라서 이를 보완 하기 위해서는 InGaP 층과 InGaAlP층에 선택성이 큰 H₂SO₄계를 이용하여 edge에 각이 형성되도록 에칭을 하여야 한다.

본 연구에서는 H₂SO₄를 2차 etchant로 선택하고자 한다. 또한 SGBR ridge 의 모양을 최적화 하기 위하여 다시 H₂SO₄를 이용하여 3차 에칭을 하도록 한다. 이때 주의점은 (1)의 InGaP etching stop<그림 5>이 에칭되지 않도록 선택성이 매우 큰 etchant를 설정하여야 한다.

2-2. 화학 에칭

2-2-1. 기존의 화학에칭의 문제점

기존의 SGBR ridge 형성은 3단계의 화학 에칭을 거치게 된다. <그림 7>에서는 기존의 화학 에칭 공정 흐름도를 나타내었다.



<그림 7>. 기존의 화학 에칭 공정 흐름도

1차 에칭으로 $H_2SO_4 : H_2O_2 : H_2O = 5 : 1 : 1$ ($25^\circ C$)의 etchant로 그림 5에서의 (3)의 InGaP etching stop 층 까지 에칭을 하게 된다. 2단계의 에칭으로 $HBr : H_2O_2 : H_2O = 2 : 1 : 10$ ($25^\circ C$) etchant로 그림 5에서 (2)의 InGaAlP 층을 에칭하여 (1)의 InGaP etching stop 층으로 부터 약 3000Å 위에 까지 에칭을 한다. 그리고 $H_2SO_4 : H_2O = 1 : 1$ ($47^\circ C$)의 etchant를 이용하여 최종 3단계의 에칭을 하게 된다. 이러한 에칭에 의한 SGBR ridge의 형태는 <그림 5>에서 볼 수 있듯이 버섯 모양의 undercut 형성이 많이 나타났으며 이는 2차 CBL 성장과 3차 성장시 큰 문제점으로 드러나고 있다. 또한 ridge의 아래 폭과 <그림 5>에서의 (3)의 InGaP etching stop 층의 폭의 비가 0.55~0.65 정도로 상당히 좋은 값을

보이나 그 편차가 매우 큰 결과를 보여 줌으로서 LD 의 고품질화에 많은 영향을 주고 있다. 그 이유로는 1차 에칭에 의해 GaAs 층이 에칭이 되며, 2차 에칭에 의해 다시 GaAs, InGaP 그리고 InGaAlP층이 에칭이 되므로 GaAs 층의 손실이 더해 지게 된다. 한편 ridge 폭의 비가 작게 나타나는 이유로는 1차 에칭 후에 2차 에칭 시 HBr에 의한 edge 의 둥근 현상이 GaAs가 없어 짐으로써 더욱 크게 나타났다고 생각된다. 따라서 기존의 1차 화학 에칭은 SGBR ridge를 형성하기 위해 불필요한 공정으로 판단되므로 본 report 에서는 기존의 1차 화학 에칭 공정을 배제하고 새로운 3차 에칭 공정 기술을 도입하고자 한다.

2-2-2. 1차 에칭 조건

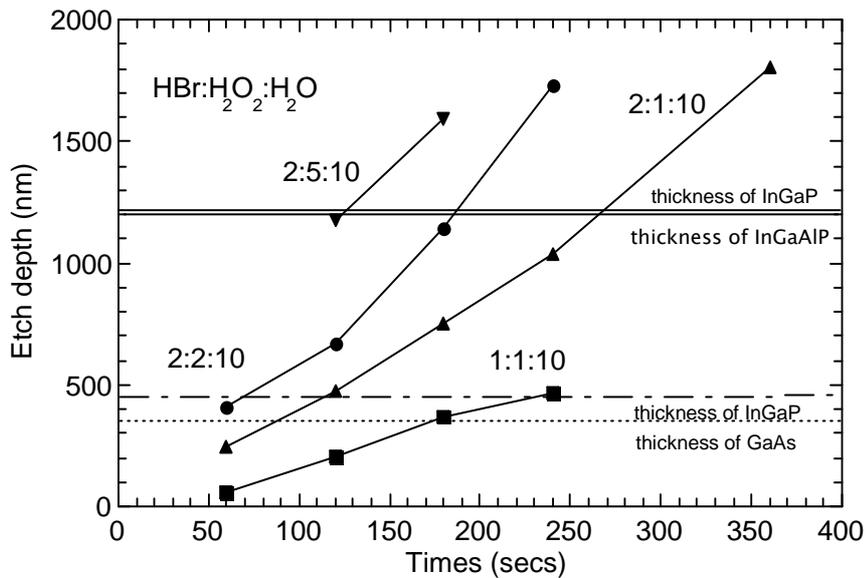
앞에서 서술 한 것 과 같이 1차 etchant로 3가지 물질을 모두 에칭 할 수 있는 HBr 계를 선택하였다. HBr 계는 그 특성이 거의 모든 화합물 반도체에 대하여 에칭 할 수 있으며 그 에칭 속도도 빠른 것으로 알려져 있다. 따라서 에칭 시간의 조절과 물질에 따른 에칭 조건의 변화 등을 고려하여 실험을 하였으며 본 장에서는 특히 에칭의 재현성에 초점을 두어 실험을 하였다.

표 2. 본 실험에 사용된 HBr 계의 몇 가지 조성비

용액	조성	시간(sec)					비고
		60	120	180	240	360	
HBr:	2 : 1 : 10	A-2-1	A-2-2	A-2-3	A-1-1	A-1-2	
	2 : 2 : 10	A-3-1	A-3-2	A-3-3	A-5-1	A-5-2	
H ₂ O ₂ :	1 : 1 : 10	A-4-1	A-4-2	A-4-3	B-2-1	B-2-2	
H ₂ O	2 : 5 : 10	B-2-3	B-2-4	B-3-1	B-3-2	B-3-3	

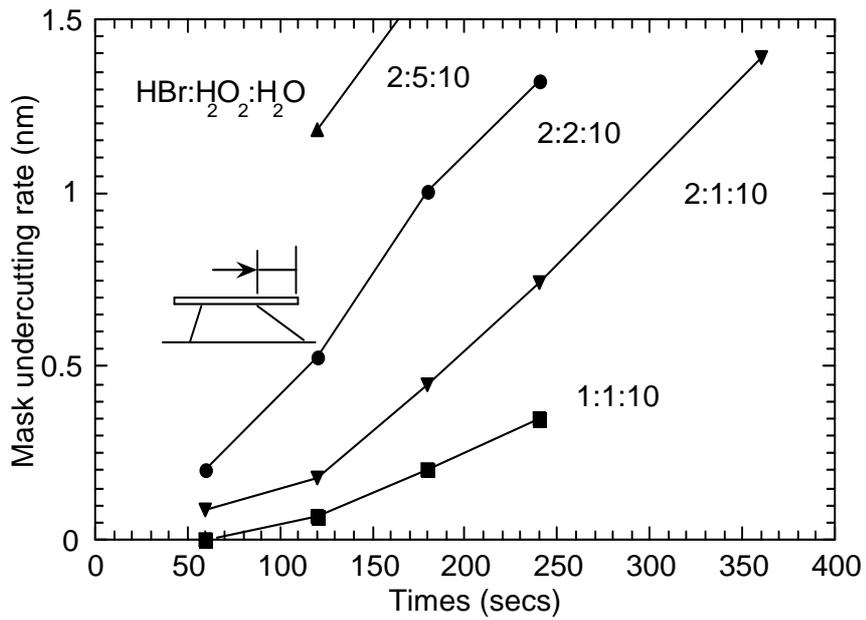
먼저 etchant의 비를 선택하는 것이 중요한 문제라고 할 수 있다. 본 technical report 에서는 기존 사용중인 비를 중심으로 몇 가지 etchant의 비에 관

한 실험을 하였다. 표 2에서 몇 가지 실험에 사용된 조성비를 보여주고 있다. 기존에 사용되고 있는 것을 기준으로 하여 산화제 역할을

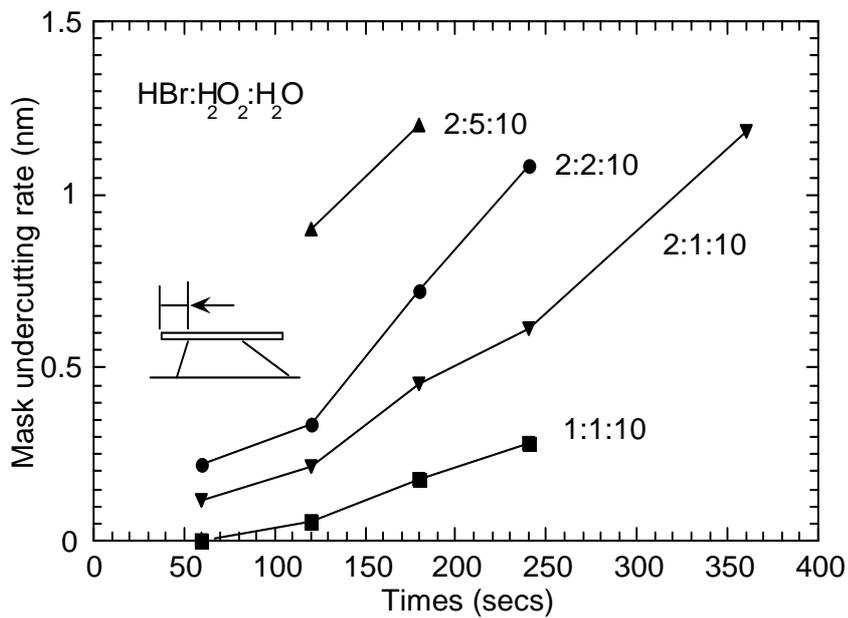


<그림 8>. HBr:H₂O₂:H₂O etchant의 조성비에 대한 etch depth 비

하는 H₂O₂의 조성을 변화 시켰으며 희석제의 H₂O의 변화도 비교 할 수 있도록 하였다. 먼저 각각의 etchant에 대한 etch depth 비를 조사하였으며 그 결과를 그림 8에 나타내었다. <그림 8>에서 볼 수 있듯이 산화제인 H₂O₂의 양을 증가 시킴으로써 에칭 속도가 증가 함을 알 수 있다. HBr:H₂O₂:H₂O의 조성비가 2:5:10의 경우는 그 에칭 속도가 빨라 본 실험의 etchant로서는 적합하지 않다. 또한 1:1:10은 에칭 속도가 너무 느려 부적합한 것으로 판단된다. 에칭 속도는 본 구조에서의 깊이 뿐만 아니라 undercutting 비 그리고 에칭 profile에도 상당한 영향을 주기 때문에 잘 선택되어 져야 한다. <그림 9와 10>에서는 mask undercutting 비를 나타내었다



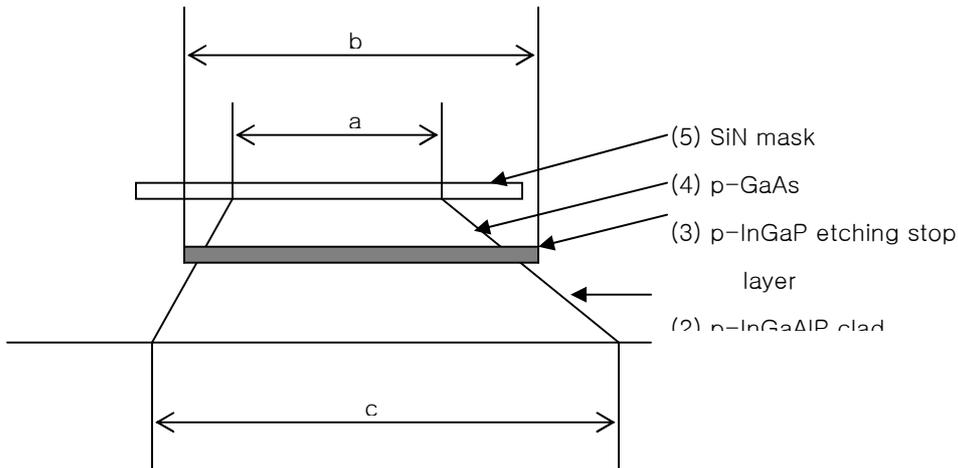
<그림 9>. HBr:H₂O₂:H₂O etchant의 조성비에 대한 undercutting 비



<그림 10>. HBr:H₂O₂:H₂O etchant의 조성비에 대한 undercutting 비

SGBR LD 구조의 경우 ridge profile 의 형태에 있어 그림 11과 같이 a/b, a/c 혹은 b/c의 비가 매우 중요하다. 특히 b/c의 경우는 LD 의 Beam

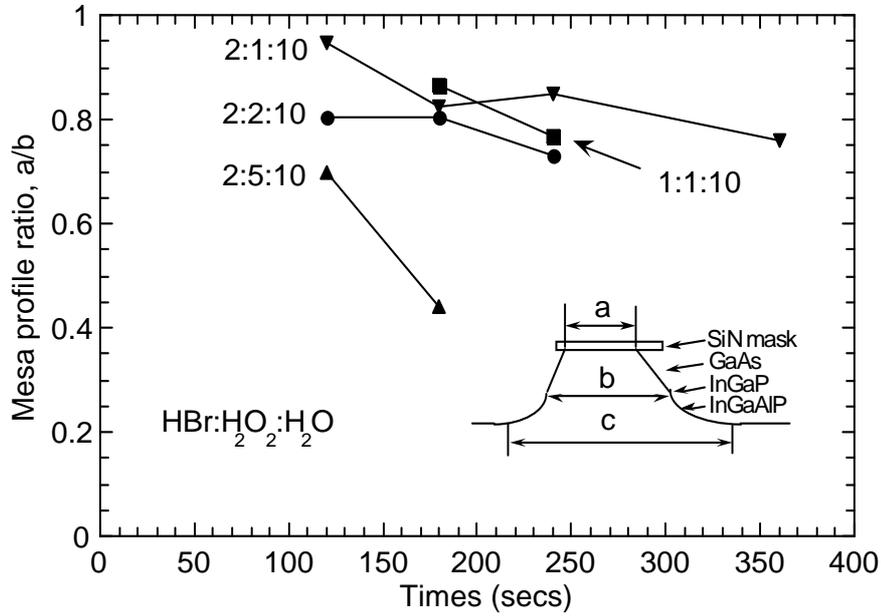
divergence(Parallel to junction) 의 값이 최소 7° 에서 12° 로 되기 위해서 0.6 이상의 균일한 값을 요구하고 있기 때문에 1에서 3차의 에칭을 통해 매우 주요한 요소로서 작용하게 된다.



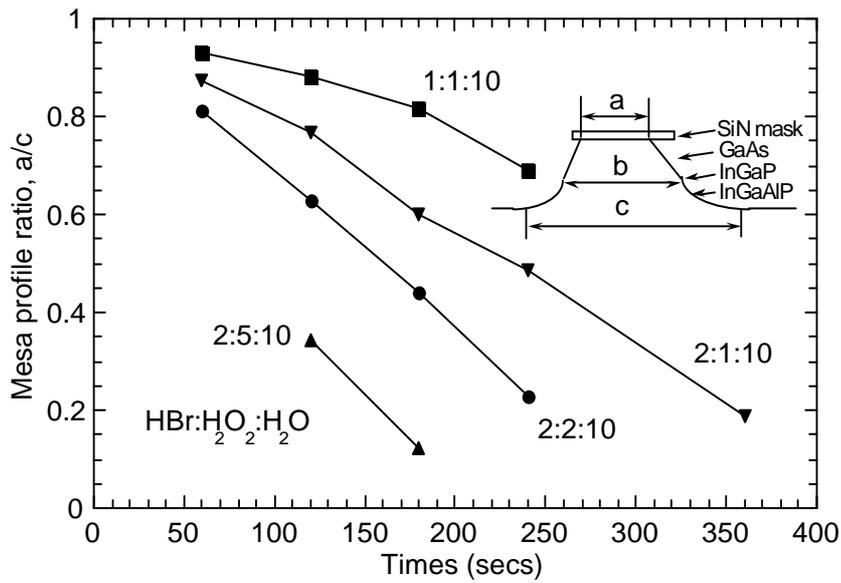
<그림 11>. SGBR LD 구조의 ridge profile 형태 비의 예

본 연구에 이용된 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ 의 여러 가지 구성에 대한 SGBR LD 구조의 ridge profile 형태 비의 실험 결과를 <그림 12, 13> 그리고 <그림 14>에 나타내었다. a/b 의 비는 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ 에 의해 에칭되는 GaAs의 형태를 알 수 있다. <그림 12>에서 이 비가 0.8에서 안정된 값을 보여 주는 것으로 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 의 조성비를 볼 수 있으며, 이는 에칭 시간의 변화에도 불구하고 GaAs 에칭 profile이 안정된 형태를 유지하고 있음을 알 수 있다. <그림 13>에서와 같이 a/c 의 비는 그다지 중요하지 않으며 HBr 계의 에칭 특성인 edge가 둥글게 되는 현상의 영향으로 매우 짧은 에칭시간에도 불구하고 0.3이하의 값을 가짐을 알 수 있다. <그림 14>에서는 b/c 의 비를 볼 수 있다. 앞에서 설명한 것과 같이 b/c 의 비는 광의 모양에 매우 큰 영향을 주기 때문에 0.6이상의 비를 유지하기 위하여 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ 의 조성 비가 1:1:10, 2:1:10 혹은 2:2:10의 etchant를 선택하여야 함을 알 수 있다. 그러나 1:1:10의 경우는 에칭비가 작기 때문에 좋은 etchant가

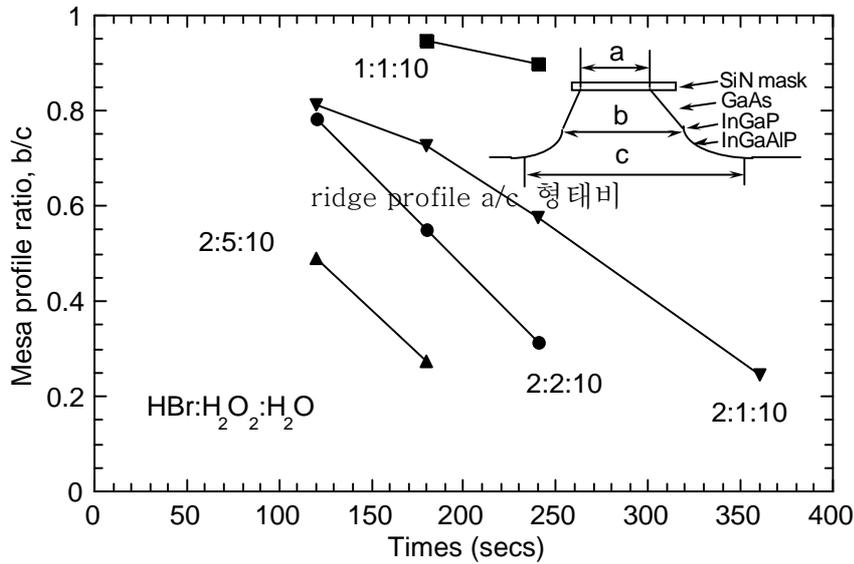
될 수 없다. 그림에서 볼 수 있듯이 2:1:10과 2:2:10의 경우 0.6 이상의 비를 얻기 위해서는 에칭 시간의 변수가 중요한 요소로 작용하고 있음을 알 수 있다.



<그림 12>. HBr:H₂O₂:H₂O의 여러 가지 조성에 대한 ridge profile a/b형태 비



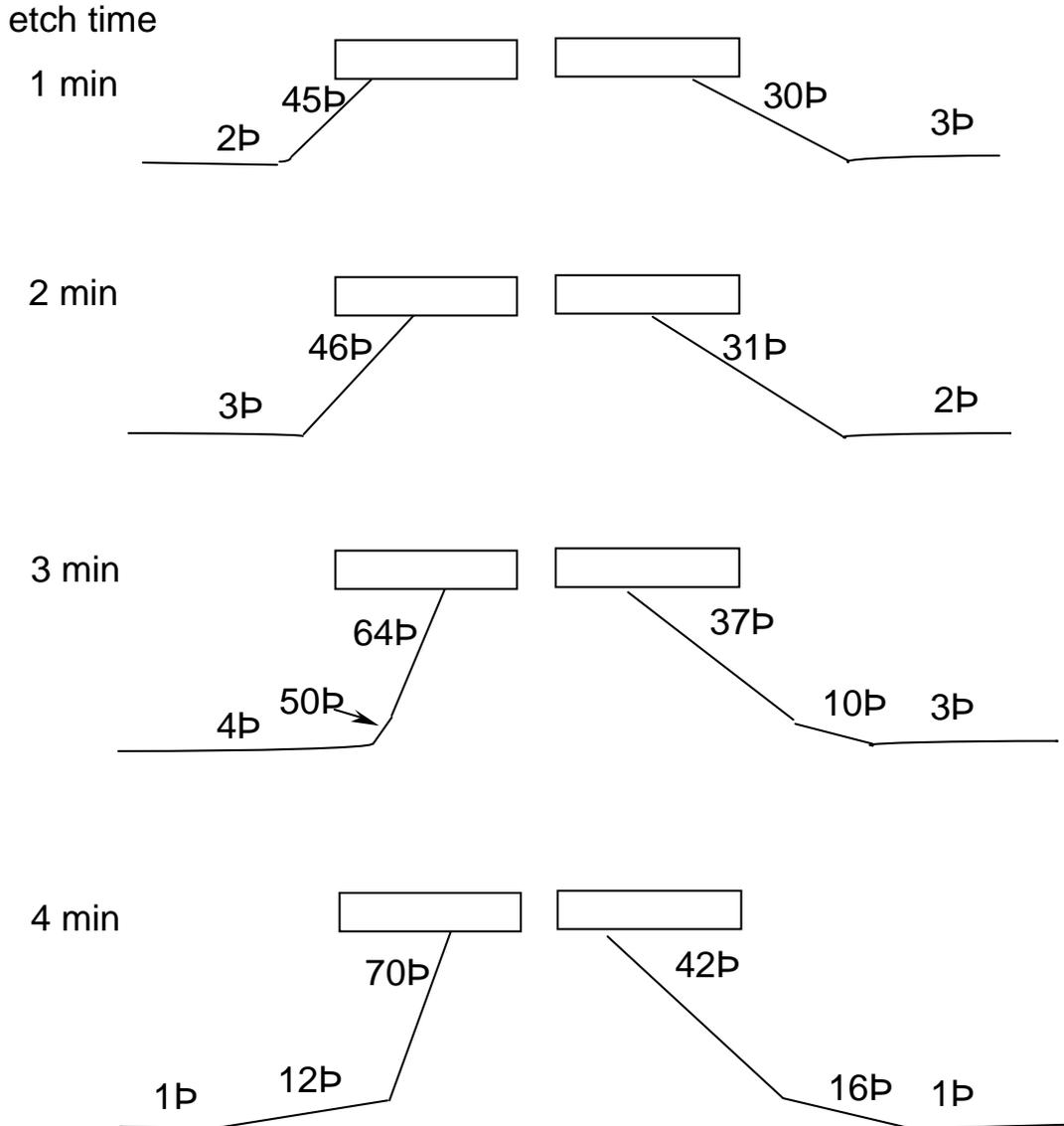
<그림 13>. HBr:H₂O₂:H₂O의 여러가지 조성에 대한



<그림 14>. HBr:H₂O₂:H₂O의 여러가지 조성에 대한
ridge profile b/c 형태비

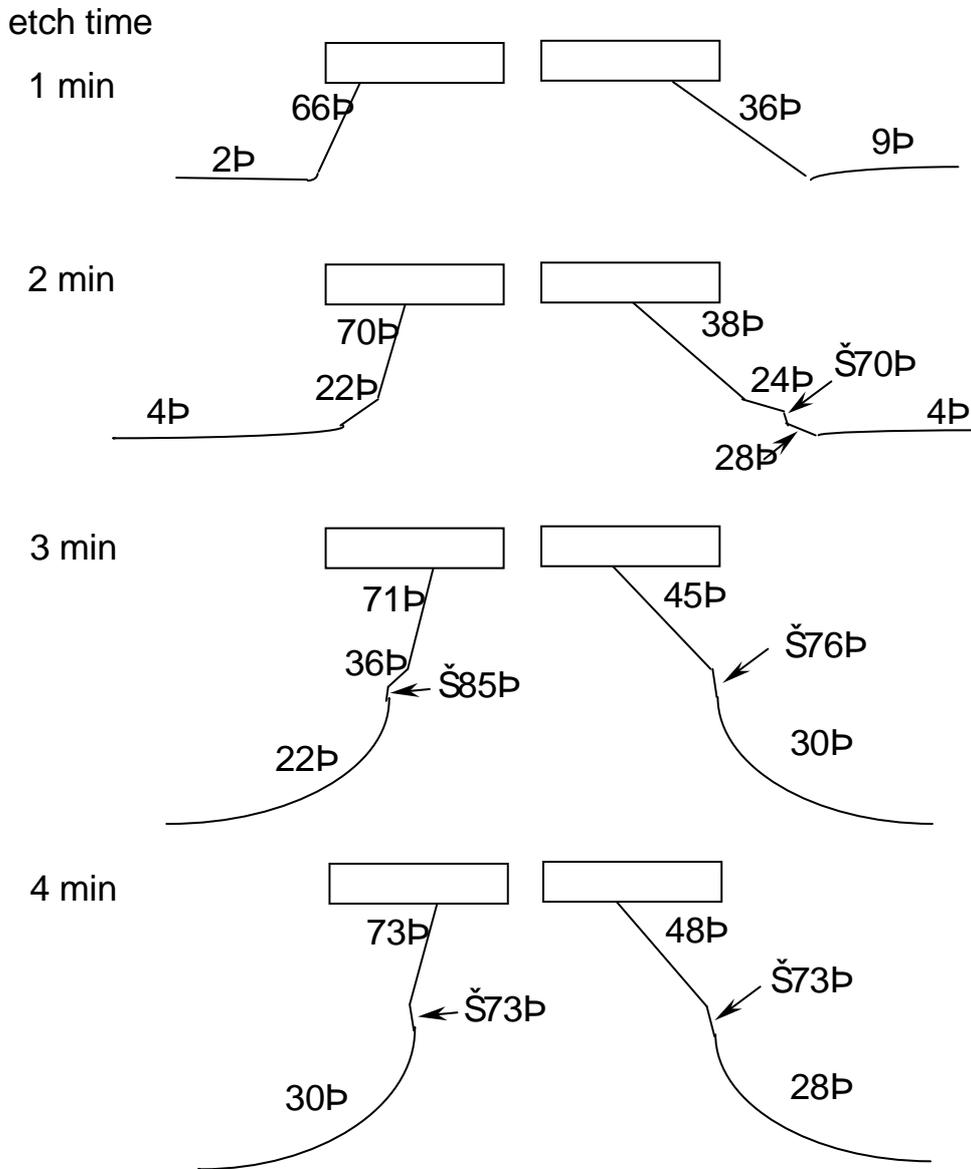
한편 에칭 profile에 있어 가장 중요한 것의 하나로는 에칭에 의한 ridge 경사면의 각도를 들 수 있다. 앞에서 언급한 것과 같이 결정면에 따른 에칭 속도는 (110)>(111)As>(100)>(111)Ga의 순으로 나타나며, 따라서 mask의 방향에 따라 에칭 모양이 변화하게 되어 (011-) 방향으로서는 v-groove의 형태를 얻을 수 있다. v-groove 경사각은 (100) 표면이 0° off 된 경우는 대략 55°가 발생하며, 본 실험에서는 15° off된 GaAs(100)기판을 사용하여 v-groove 형태의 각을 이용하여 ridge 형태를 형성하게 되므로 예상되는 각은 한 쪽 각이 40° 다른 한 쪽 각은 70° 정도로 추측할 수 있다. 그러므로 최대한 효율적인 방법에 의해 GaAs 층과 InGaAlP 층의 profile 각을 40° 그리고 70°로 유지 시켜 준다면 <그림 14>에서 보듯이 ridge profile b/c 형태 비가 매우 큰 값을 얻을 수 있음을 예측할 수 있다. 특히 본 실험에서는 3개의 서로 다른 층을 HBr과 같은 한가지의 etchant로 에칭하여야 하기 때문에 HBr의 조성에 따른 profile 각은 etchant를 결정하는데 매우 중요하다고 판단된다. <그림 15, 16, 17> 그리고 <그림 18>은 각각의 조성에 따른 에칭 profile 각의 변화를 에칭 시간에 따라 변화됨을 개략적으로 보여 주고 있다.

Etching profiles of SGBR etched in the solution of the
 $\text{HBr} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 10$



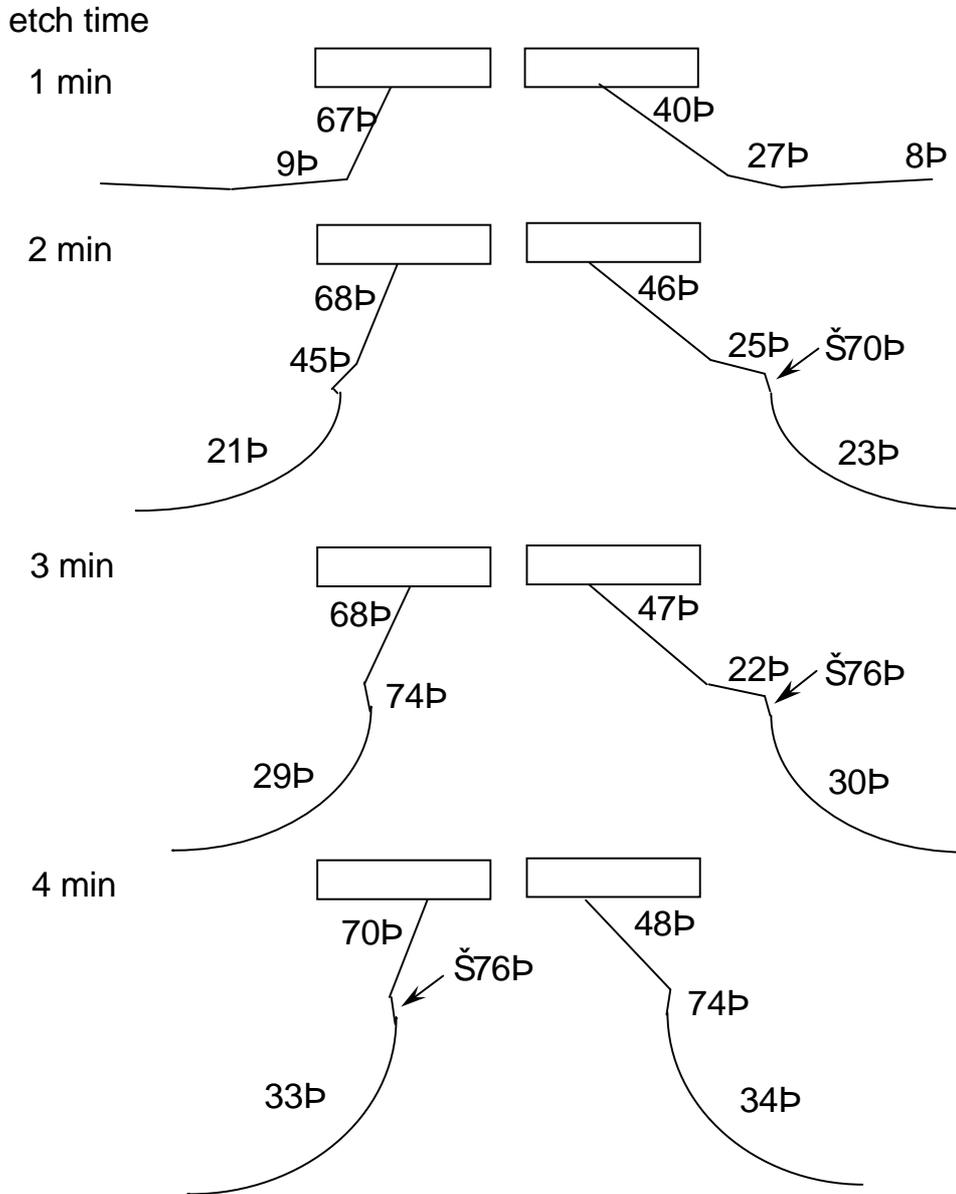
<그림 15> $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:1:10$ 의 에칭 시간에 따른
 ridge profile 각 변화 개략도

Etching profiles of SGBR etched in the solution of the
 $\text{HBr} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 2 : 1 : 10$



<그림 16> $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:1:10$ 의 에칭 시간에 따른
 ridge profile 각 변화 개략도

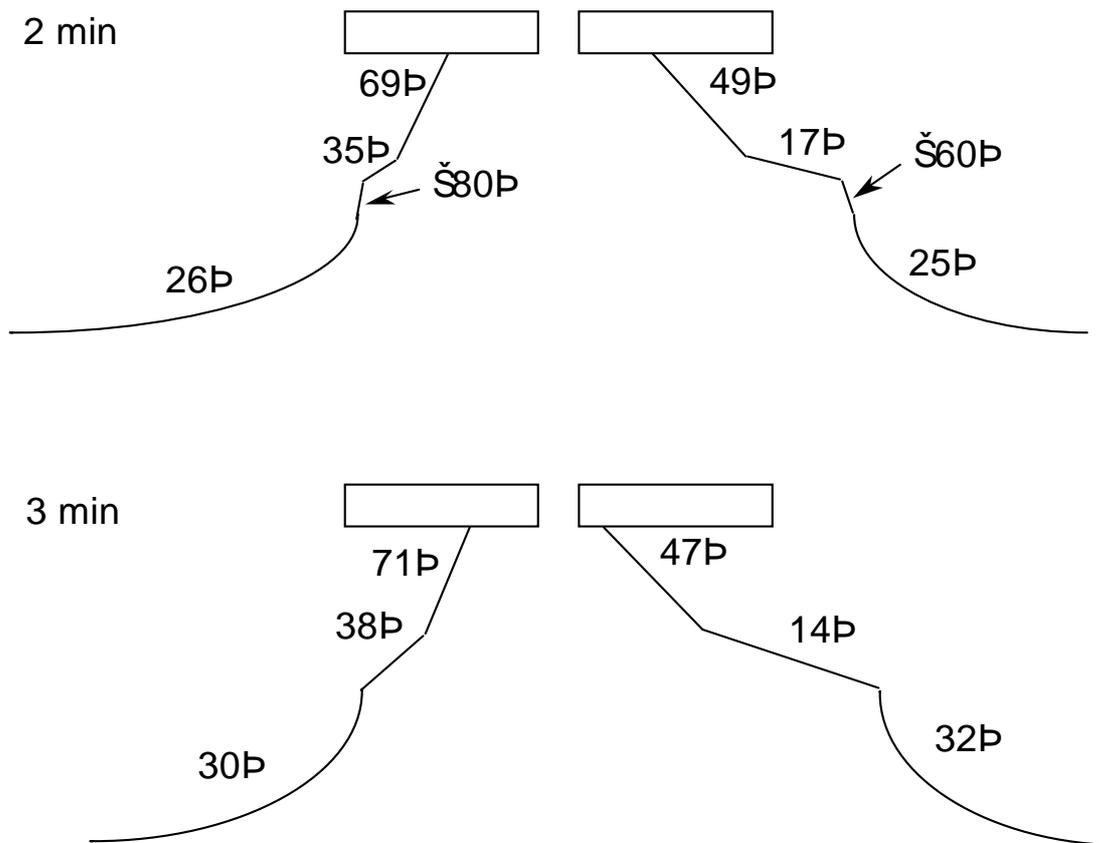
Etching profiles of SGBR etched in the solution of the
 $\text{HBr} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 2 : 2 : 10$



<그림 17> $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 의 에칭 시간에 따른
 ridge profile 각 변화 개략도

Etching profiles of SGBR etched in the solution of the
 $\text{HBr} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 2 : 5 : 10$

etch time



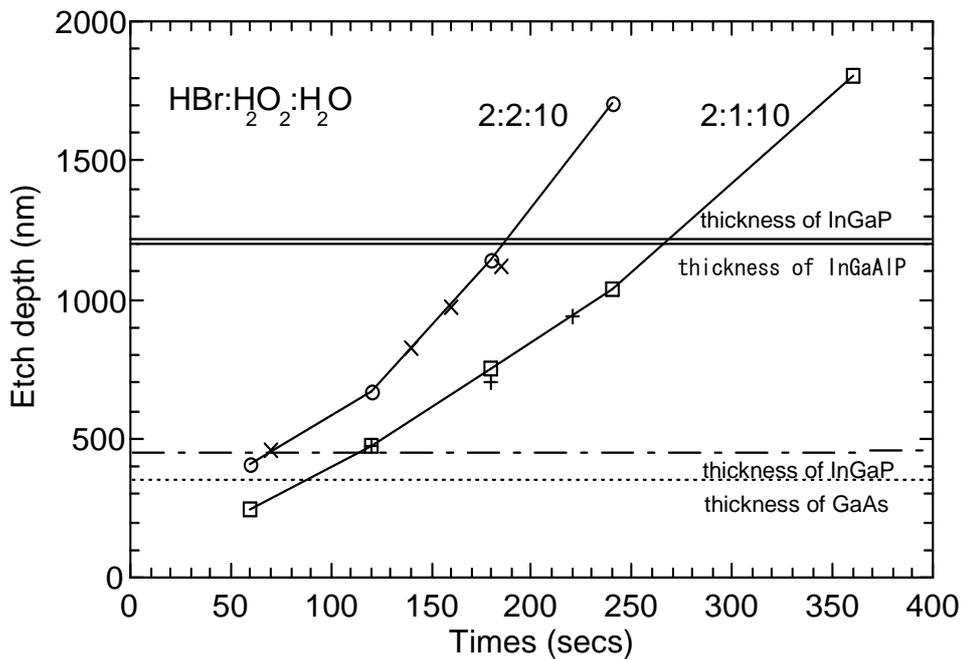
<그림 18> $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:5:10$ 의 에칭 시간에 따른
 ridge profile 각 변화 개략도

<그림 15>에서와 같이 . HBr:H₂O₂:H₂O=1:1:10은 에칭 속도가 느리기 때문에 4분 이내에서는 InGaP의 층을 겨우 에칭 할 정도이다. 그러나 시간이 점차 증가 함으로서 profile 각이 예상과 같이 40° 그리고 70° 에 가까워 짐을 알 수 있다. HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10 <그림 16> 과 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10 <그림 17>의 경우는 2:1:10의 3분에 해당하는 에칭 profile 각을 2:2:10에서는 2분 정도에서 얻을 수 있다. 한편 두 번째 층인 InGaP 에칭 stop 층의 모양이 HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10 과 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10에서 전혀 다르게 나타남을 볼 수 있으며, 이는 앞으로 두 가지의 etchant 중 한가지를 선택하는 가장 중요한 요소로 작용될 수 있음을 예상하게 한다.

2-2-3. 1차 etchant 의 선택

1차 etchant의 선택을 위하여 앞에서 실험한 결과를 토대로 HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10 과 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10에서의 재확인 실험을 하였다. 2:1:10은 현재 사용 중인 etchant로서 SGBR LD 구조의 ridge를 형성하는데 별 문제없이 에칭 비와 profile 등이 잘 조절되고 있다. 2:2:10의 경우는 새로이 조성을 형성한 것으로 2:1:10보다 에칭 시간을 좀더 빨리 하고자 하는 의도에서 시도한 etchant이다. 앞의 경우 III-II-I장에서 기존의 화학에칭의 문제점을 지적한 것과 같이 3단계의 화학 에칭을 거치게 되며, <그림 7>에서와 같이 H₂SO₄ : H₂O₂ : H₂O = 5 : 1 : 1 (25° C) 의 etchant로 InGaP 에칭 stop 층 까지 에칭을 한 후 2단계의 에칭으로 HBr : H₂O₂ : H₂O = 2: 1: 10 (25° C) etchant에 InGaAlP 층을 에칭하여 InGaP etching stop 층으로부터 약 3000A 위 까지 에칭을 한다. 따라서 에칭 속도가 느린 것이 좋았으며 그 결과 HBr 계의 특징인 둥근 edge 가 형성 되었다. 그러나 본 실험에서는 기존의 1차 에칭을 불필요 한 것으로 판단 하였으므로 GaAs 층과 함께 HBr 계로 에칭을 하여야 한다. 그 결과 기존의 2:1:10 보다 에칭

속도가 좀더 빠른 etchant의 선택이 필요하게 되었다. 본 장에서는 HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10 과 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10에서의 실험을 재확인 하였으며, HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10 과 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10을 비교하는 것을 목적으로 하고 있다. <그림 19>에서는 그림 8에서 얻은 결과에 다시 재확인한 결과를 추가한 것이다.



<그림 19> 재확인된 HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10과 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10의 etch depth 비

에칭 비는 HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10의 경우 0~250초 구간에서는 4.47 nm/sec, 250~360 sec에서는 6.36 nm/sec의 에칭 비를 가지고 있다. 한편 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10의 경우는 0~180초 구간에서는 5.83 nm/sec, 그리고 180~240초 에서는 10 nm/sec의 에칭 비를 가짐을 알 수 있다. 두 etchant 모두 두개의 에칭 구간이 있는 것은 가장 오랜 시간 에칭한 결과의 오차에 의한 것이 주

요 원인이라고 할 수 있다. 따라서 두 etchant에 대한 정확한 에칭 시간의 조절은 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:1:10$ 의 경우 250초 이내에서 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 의 경우는 180초 이내에서 하는 것을 권장하고자 한다. <그림 20>은 두 etchant의 SEM 사진을 나타낸 것이다. $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:1:10$ 은 220초 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 은 160초 에칭 하여 두개의 에칭 깊이가 대략 같은 경우에서 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 전체적인 에칭 profile에는 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 그러나 InGaP 층에 주목하면 그 모양이 확연히 차이가 남을 알 수 있다. 두 경우 그림 20에서 보듯이 a와 b의 변화가 $a' > a$, $b' < b$ 로 나타남을 확인 할 수 있다. 이러한 원인은 에칭 속도에 기인 한 것으로 판단되며 이 결과는 본 실험에서 도입된 둥근 edge를 개선하기 위한 2차 에칭 그리고 3차 에칭을 통해 기존에 문제가 되었던 버섯 모양의 InGaP층의 undercutting 문제를 해결하는데 매우 중요한 요소가 될 수 있다고 판단한다.

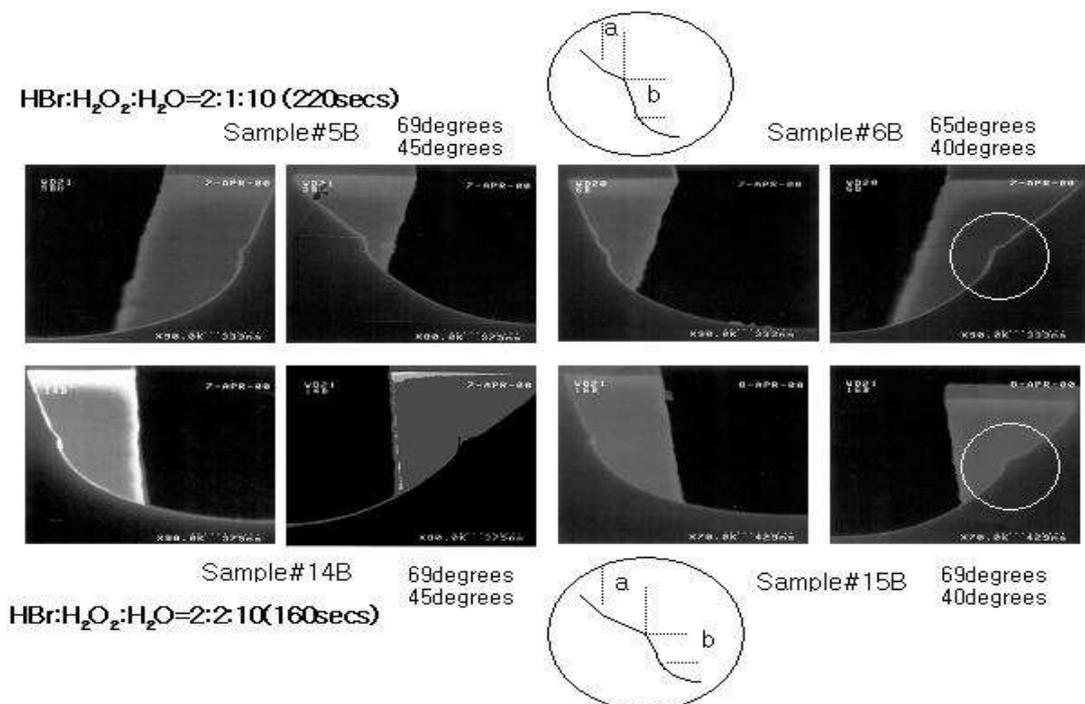


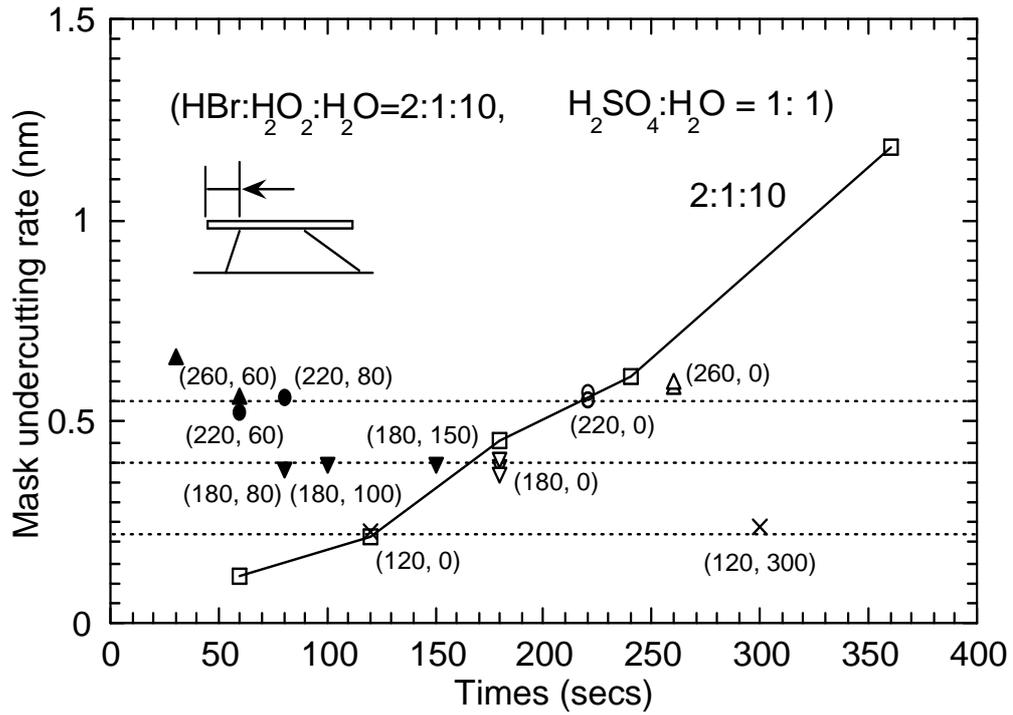
그림 20. $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:1:10$ 과 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ etchant의 SEM 사진

2-2-4. 1차 etchant 의 선택과 2차, 3차 에칭

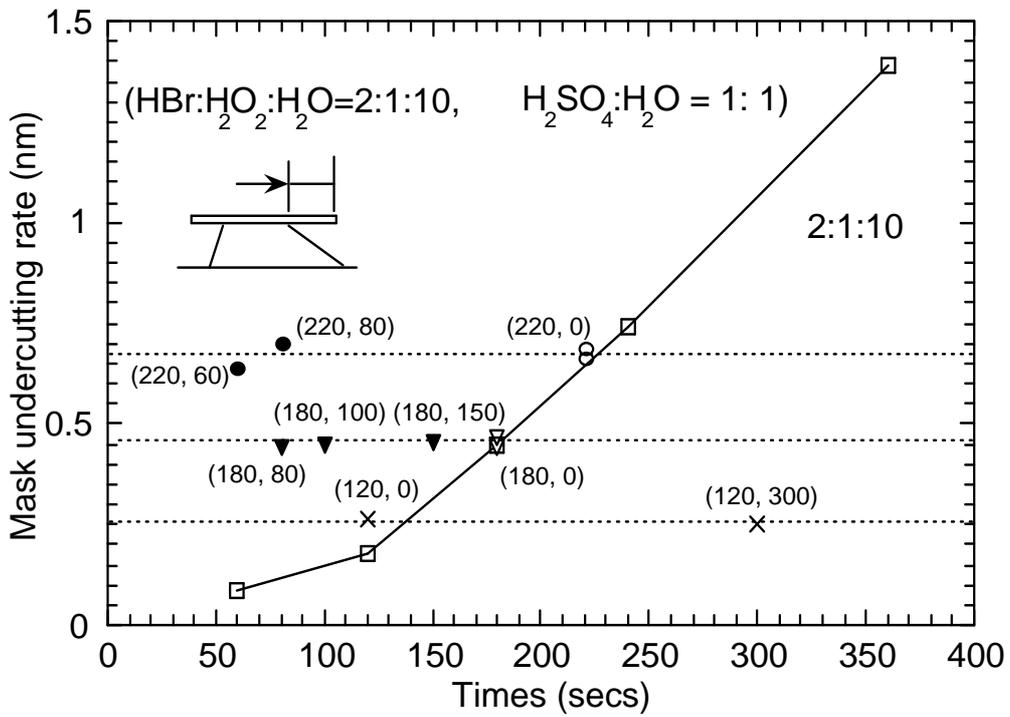
1차 etchant를 선택하기 앞서 먼저 황산계 etchant와의 연관성을 조사하여야 한다. 본 실험에서는 황산계 etchant로서는 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)을 이용 하였다. 이 용액은 InGaAlP층과 GaAs 및 InGaP층에 대해 매우 큰 선택적 에칭 특성을 가지고 있다. 본 실험에서는 InGaAlP층을 에칭한 후의 180초 이내에서는 GaAs 및 InGaP 층에서 에칭이 되지 않는 것으로 확인 되었다. 이러한 선택성이 큰 황산계 용액을 사용한 이유로서는 HBr 계에 의한 둥근 edge를 개선하기 위한 것으로 이에 의해 그림 14에서 언급한 것과 같이 b/c의 비를 0.6이상 균일한 값을 가지도록 개선할 수가 있게 된다. 또한 HBr 계에 에칭한 후 표면 처리 등의 효과도 가지고 있다.

앞서서 언급한 것과 같이 GaAs층에 대한 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$) etchant의 영향을 조사한 결과를 그림 21, 22, 23, 그리고 그림 24에 나타내었다. <그림 21>과 <그림 22>는 $HBr:H_2O_2:H_2O=2:1:10$ 에 에칭한 후 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 에칭한 결과를 보여주며, <그림 23>과 <그림 24>는 $HBr:H_2O_2:H_2O=2:2:10$ 에 에칭한 후 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 에칭한 결과를 보여주고 있다. 괄호안의 숫자는 에칭 시간을 나타내며, 앞의 시간은 HBr계의 에칭 시간이며 뒤의 시간은 2차 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)의 에칭 시간을 나타내고 있다. GaAs층이 에칭이 되는지의 판단은 GaAs층의 undercutting 비를 조사함으로써 알 수 있다. 각각의 HBr계의 에칭 시간 변화에 따라 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$) 에칭 시간의 변화에도 불구하고 GaAs층의 undercutting 비는 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서 GaAs 층은 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$) etchant에 에칭 되지 않음을 결론 지을 수 있다. 따라서 1차 etchant인 HBr 계에 의해 GaAs층의 경사각이 형성되면 본 실험에서의 둥근 edge를 개선 하기 위한 2차 3차 황산계의 에칭에는 전혀 영향을 받지 않는다고 결론 지을 수 있다. 그러므로 초기 1차 에칭의 etchant의 선택이 매우 중

요함을 알 수 있다. <그림 21>, <그림 22>, <그림 23>, 그리고 <그림 24>에서의 실선은 <그림 9>와 <그림 10>에서의 undercutting 값에 본 실험의 결과를 추가하여 나타낸 것이다.



<그림 21> GaAs의 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 대한 영향
 (HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10의 경우)



<그림 22> GaAs의 H₂SO₄:H₂O=1:1 (47° C)에 대한 영향
(HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10의 경우)

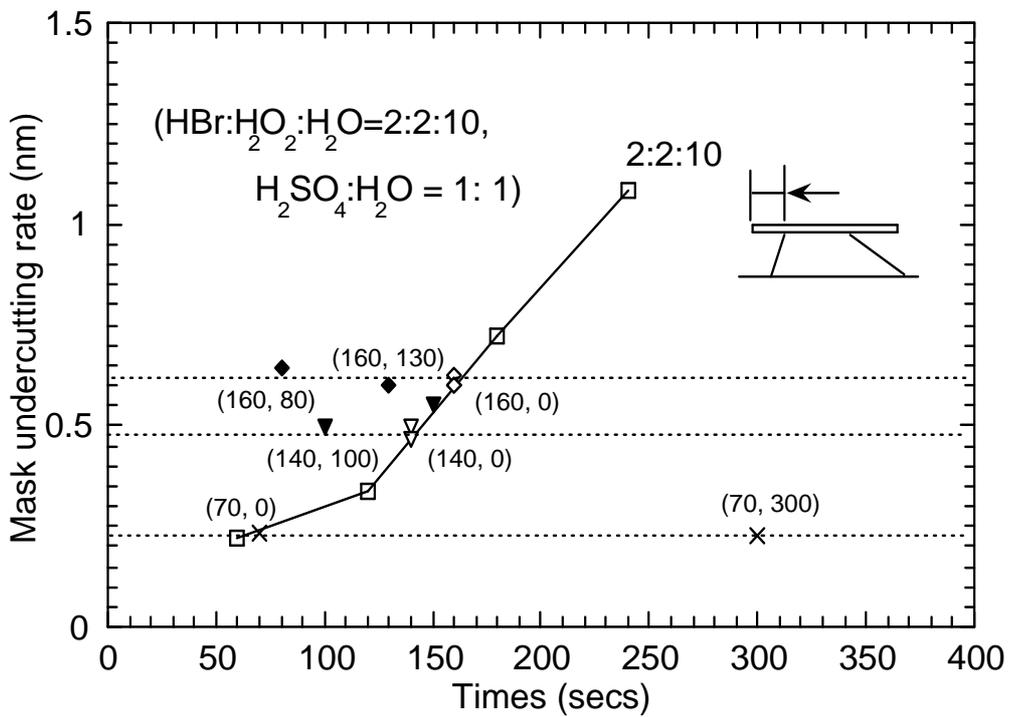


그림 23> GaAs의 H₂SO₄:H₂O=1:1 (47° C)에 대한 영향
(HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10의 경우)

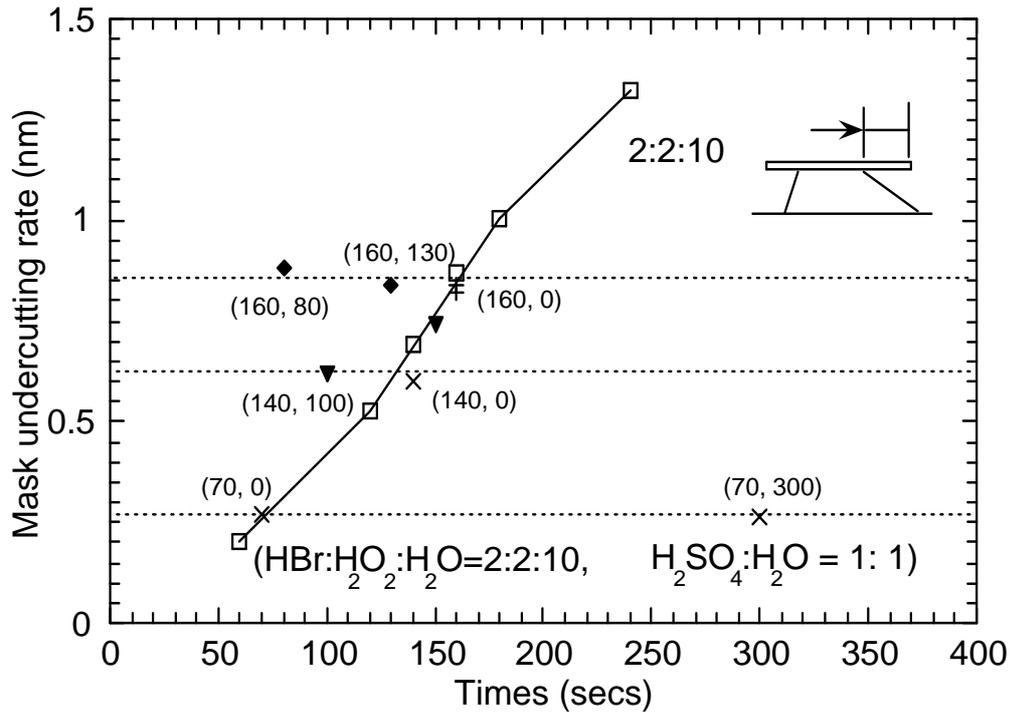
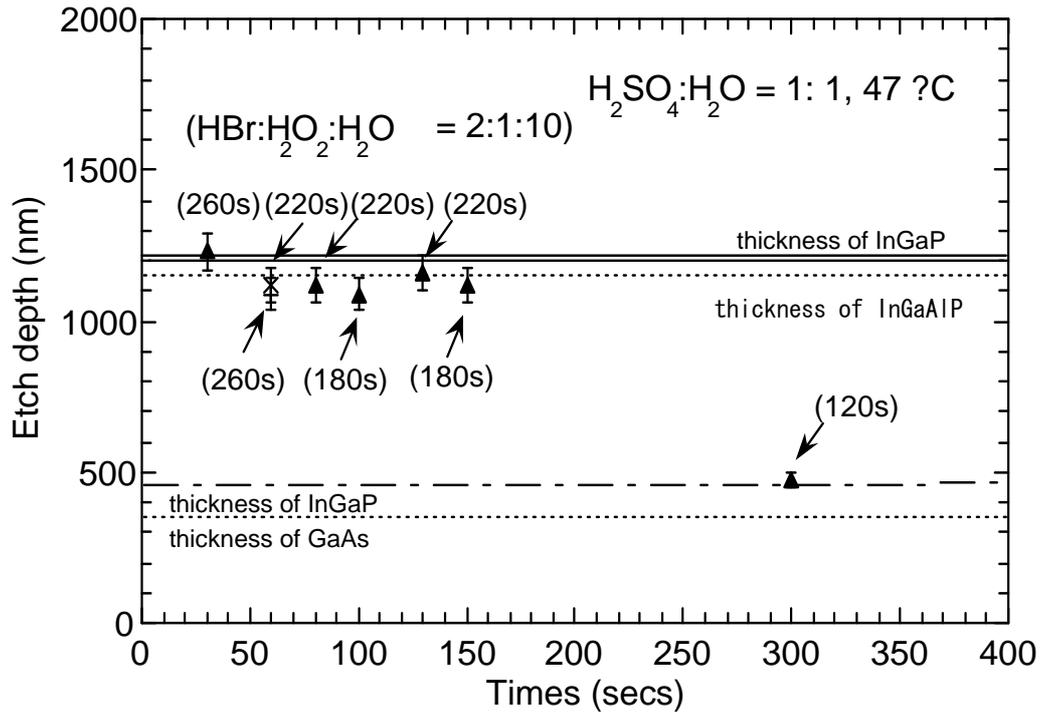


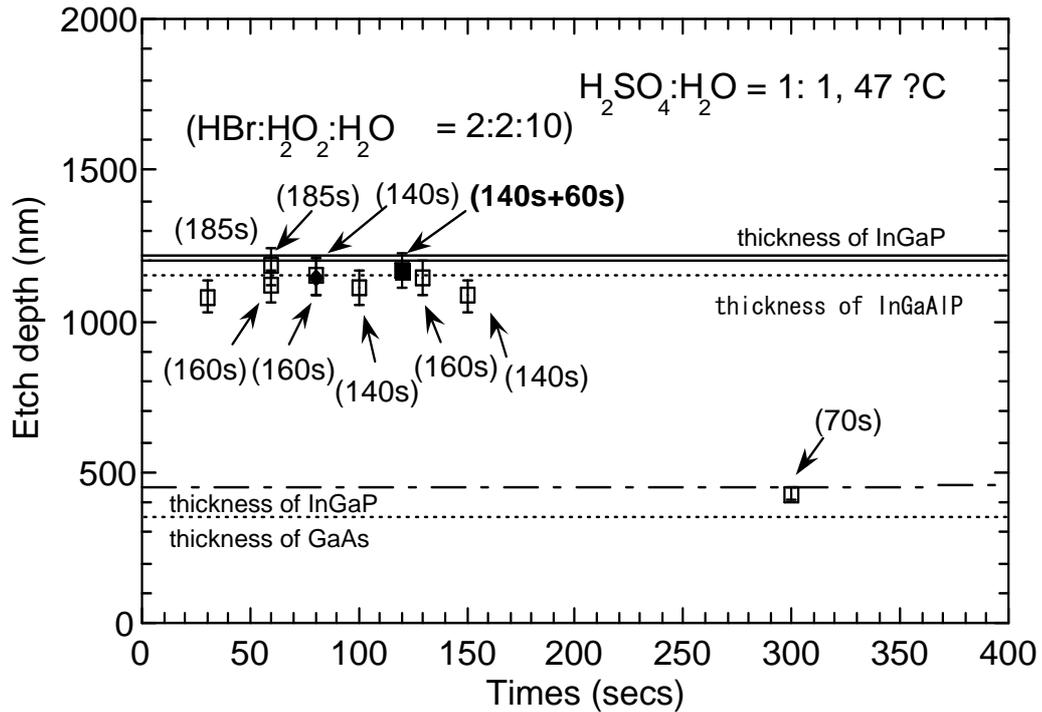
그림 24> GaAs의 H₂SO₄:H₂O=1:1 (47° C)에 대한 영향
(HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10의 경우)

다음은 H₂SO₄:H₂O=1:1 (47° C)에 대한 InGaP층의 영향에 대하여 살펴 본다. SGBR LD 구조에서는 InGaP층은 에칭 stop층으로서 그 역할을 하도록 설계 되어져 있다. 따라서 황산계에 에칭이 된다면 그 역할을 수행할 수 없게 된다. 그러나 <그림 4>에서 p-InGaP etching stop 층의 두께가 80A에 불과 하기 때문에 주의 할 필요가 있다. <그림 25>와 <그림 26>은 각각의 HBr etchant에 대한 H₂SO₄:H₂O=1:1 (47° C)의 InGaP층 영향에 관한 결과를 나타내었다. 그림에서 괄호 안의 시간은 HBr계 에서의 에칭 시간을 나타낸다. HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10 etchant에서 120 초 에칭한 시료와 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10 etchant에서 70 초 에칭한 시료 모두에 대해 H₂SO₄:H₂O=1:1 (47° C)에 300 초 에칭하였을 때 전혀 변화가 없음을 알 수 있다.



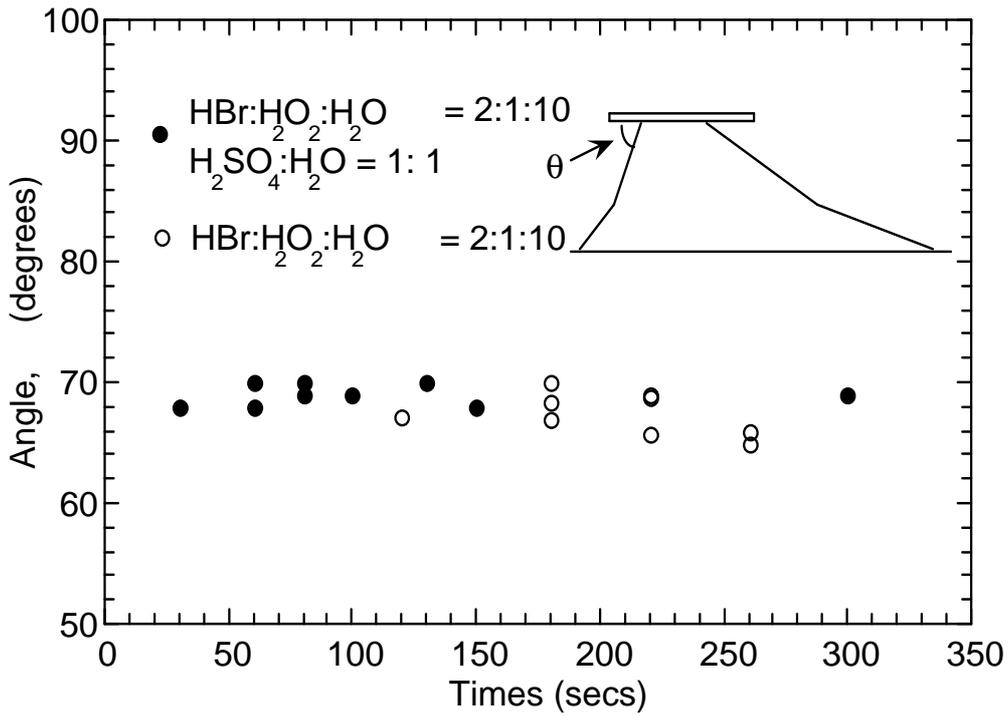
<그림 25> InGaP층의 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 대한 영향
($HBr:H_2O_2:H_2O=2:1:10$ 의 경우)

마찬 가지로 두 HBr 계에 대해 서로 다른 에칭 시간에도 불구하고 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)의 에칭 시간을 변화시켰을 때 모두 위의 InGaP층에 정지되고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 실험 결과에서는 최대 에칭시간이 300초 이하이므로 300 초 이내에서는 InGaP층이 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$) etchant에 에칭 되지 않는 것으로 결론 지을 수 있다. 이는 본 실험에서 의도한 것과 같이 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$) etchant를 HBr계에 의해 발생하는 둥근 edge를 개선하는 etchant로서 활용할 수 있음이 분명해 진다.

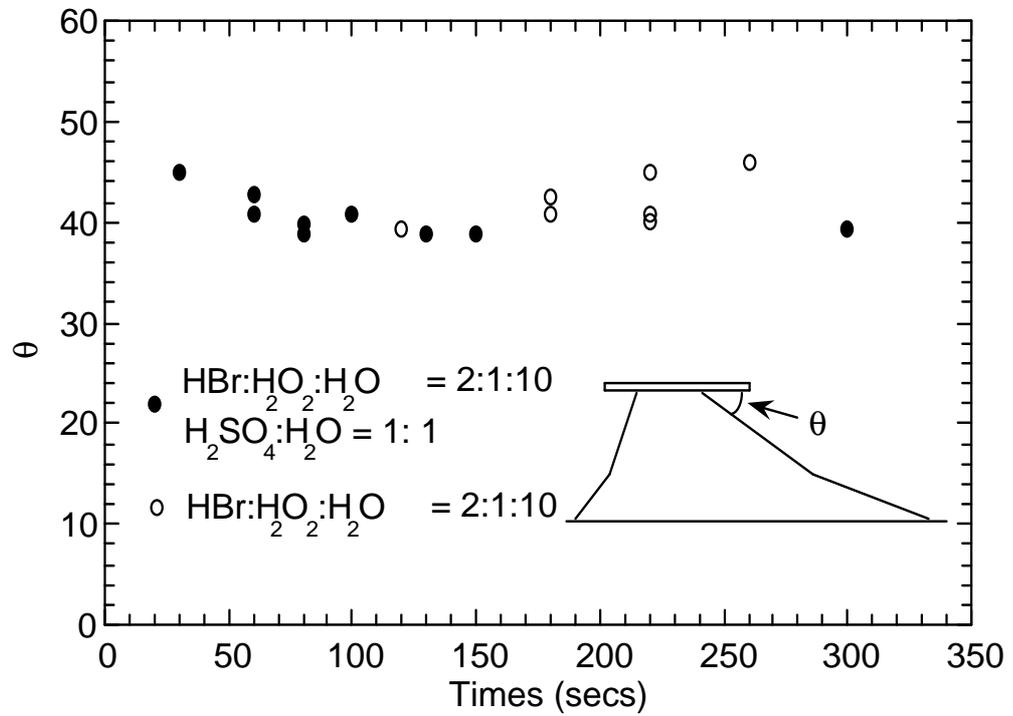


<그림 26> InGaP층의 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 대한 영향
($HBr:H_2O_2:H_2O=2:2:10$ 의 경우)

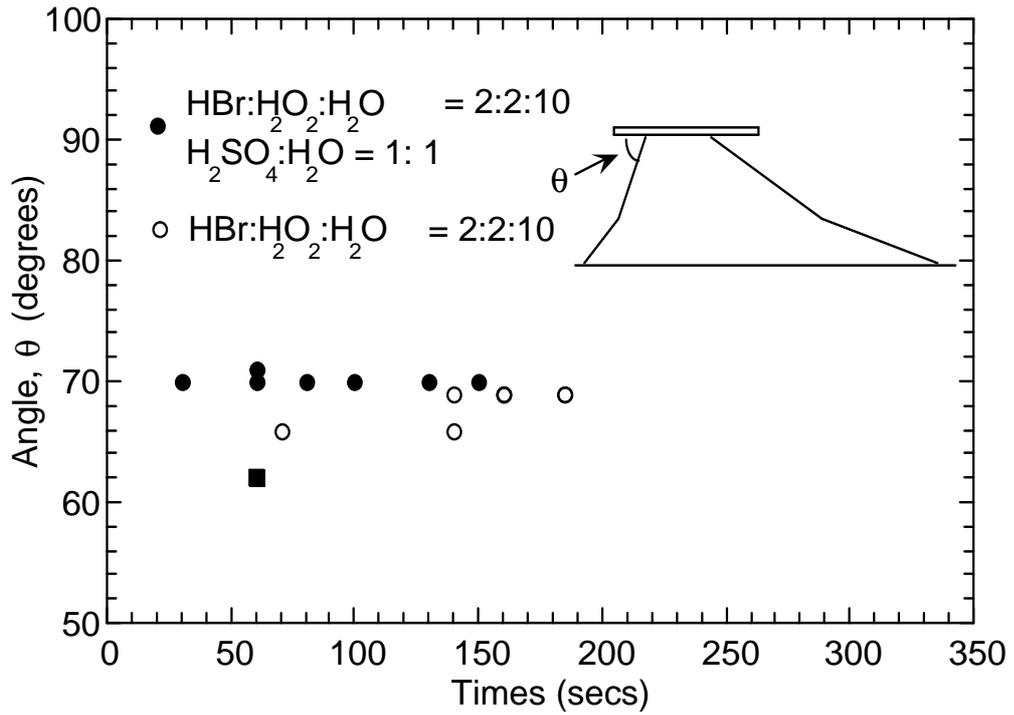
한편 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 대해 에칭 profile을 개선 하기 위한 실험 조건을 얻기 위하여 양 경사면의 각에 대해 조사하였다. <그림 27>과 <그림 28>에서 볼 수 있듯이 $HBr:H_2O_2:H_2O=2:1:10$ 만으로 에칭한 경우와 $HBr:H_2O_2:H_2O=2:1:10$ 에 같은 시간을 에칭한 후 다시 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 2차 에칭을 한 경우 각의 변화는 크게 나타나지 않았다. 이는 앞에서 설명한 것과 같이 HBr계에 의한 1차 에칭이 GaAs 의 에칭에 가장 큰 영향을 주고 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다. 이는 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에서는 GaAs가 에칭 되지 않음을 잘 보여주는 결과이다.



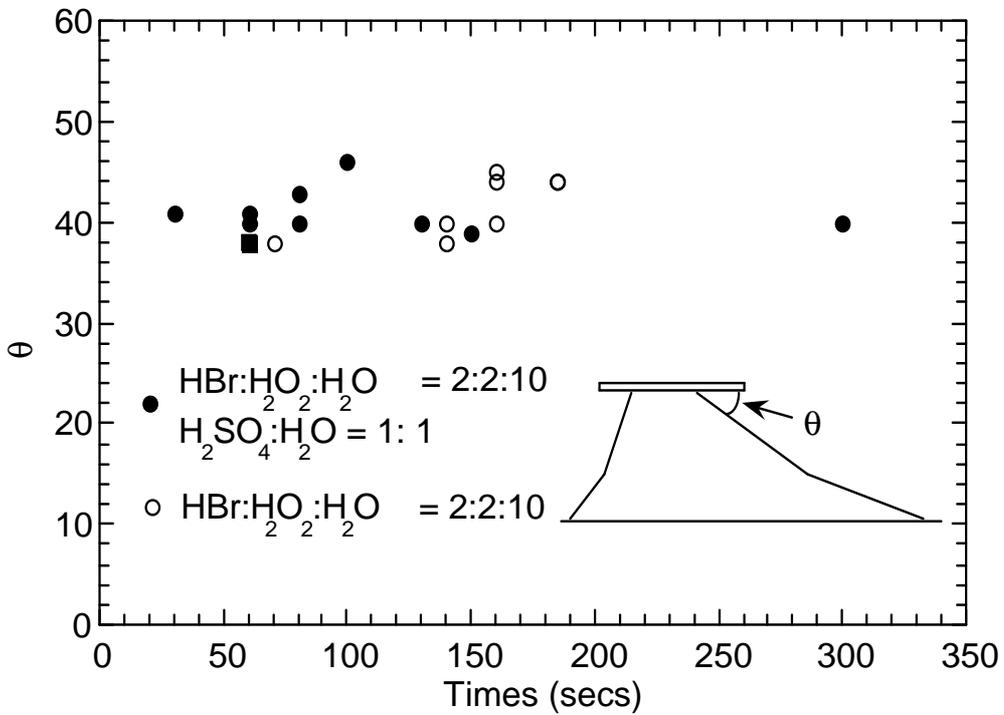
<그림 27> $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 대한 GaAs 경사각의 변화
 (HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10의 경우)



<그림 28> $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 대한 GaAs 경사각의 변화
 (HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10의 경우)



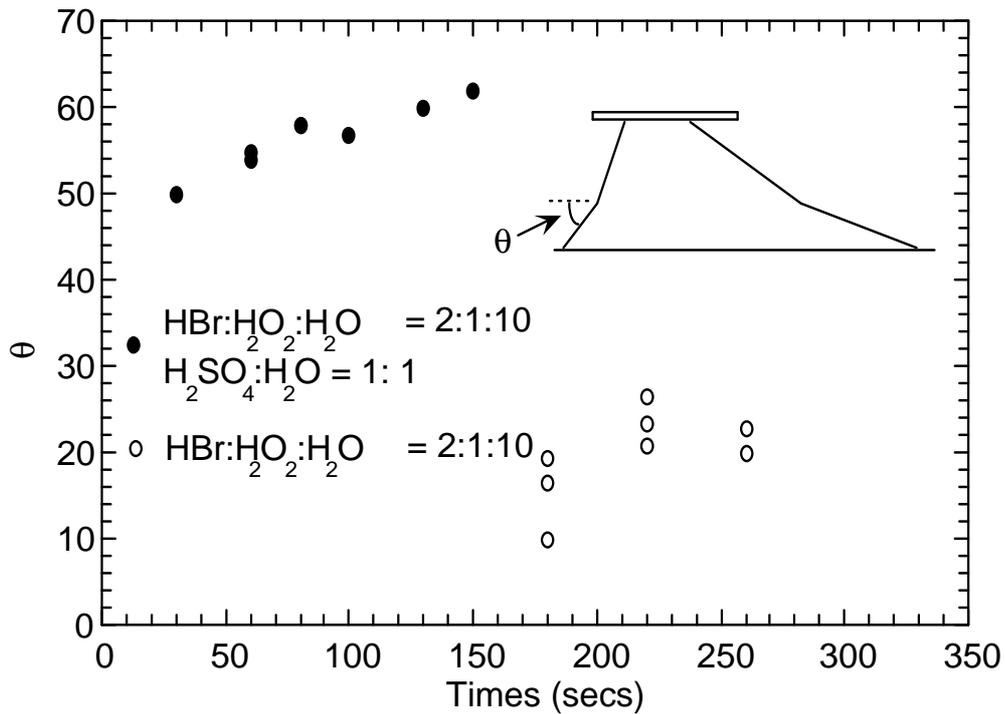
<그림 29> $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 대한 GaAs 경사각의 변화
 ($\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 의 경우)



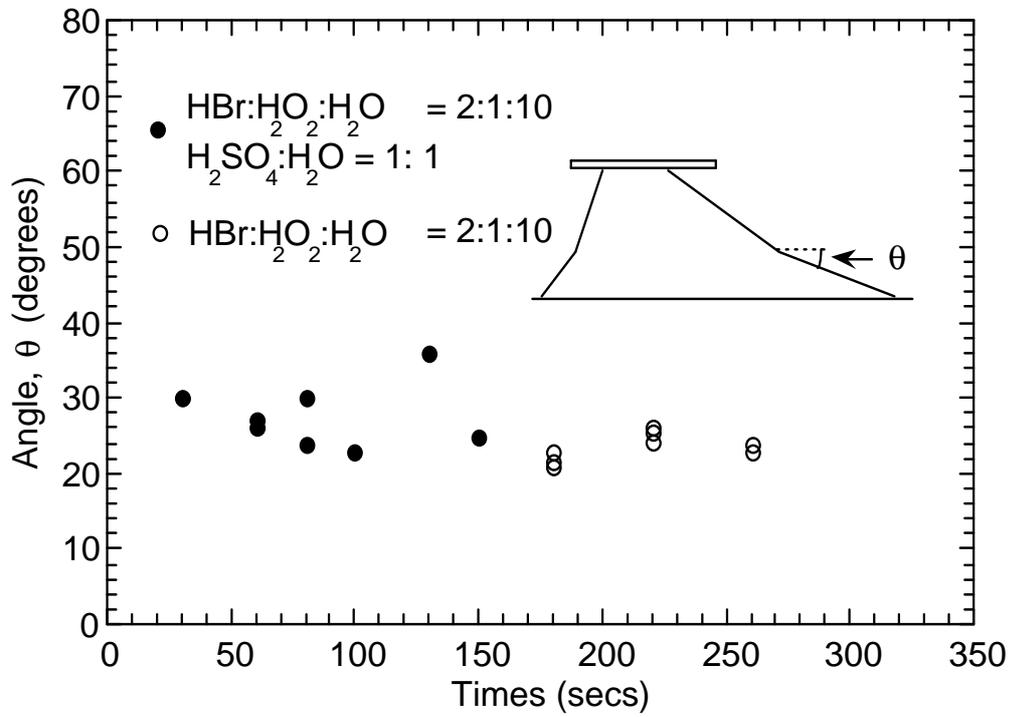
<그림 30> $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 대한 GaAs 경사각의 변화
 ($\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 의 경우)

한편 <그림 29>과 <그림 30>에서는 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 만으로 에칭한 경우와 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 에 같은 시간을 에칭한 후 다시 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 2차 에칭에 대한 경사 각의 변화를 나타내었다. 마찬가지로 각의 변화는 크게 나타나지 않았다. 다음은 InGaAlP층과의 경사각을 조사하였다. $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C) etchant 에는 InGaAlP 층은 잘 에칭이 되므로 HBr에 의해 둥근 경사각을 가지는 각, 즉 매우 작은 각을 40° 혹은 70° 까지 세울 수 있다면 ridge profile에 매우 큰 개선을 기대할 수 있다. <그림 31>과 <그림 32> 그리고 <그림 33>과 <그림 34>는 각각 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:1:10$ 만으로 에칭한 경우와 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:1:10$ 에 같은 시간을 에칭한 후 다시 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 2차 에칭에 대한 InGaAlP 층의 경사 각의 변화와 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 만으로 에칭한 경우와 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 에 같은 시간을 에칭한 후 다시 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 2차 에칭에 대한 InGaAlP 층의 경사 각의 변화를 나타내었다. 그림 31에서 좌측의 경사각이 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:1:10$ 만으로 에칭하였을 때 20° 부근에서 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 2차 에칭한 결과 60° 부근으로 개선됨을 볼 수 있다. 마찬가지로 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 만으로 에칭하였을 경우와 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 2차 에칭한 경우의 차가 매우 크게 나타남을 <그림 33>에서 볼 수 있다. 우측의 각 또한 전반적으로 20° 부근에서 $30\sim 40^\circ$ 부근으로 이동 되고 있음을 알 수 있다 <그림 32와 그림 34>. 이와 같이 각의 개선이 가능한 이유로서는 InGaAlP는 결정면의 방향에 따라 원자 배열 밀도 및 원자간 결합이 다르며 에칭되는 면에 따라 에칭속도가 다른 비등방성(anisotropic) 성질을 갖는 zinc-blende 격자 구조를 하고 있기 때문이다. 따라서 (111)면이 완전히 들어나는 각인 70° 와 40° 인 각이 나올 때 까지는 상당히 빠른 에칭속도로 에칭되고 있음을 추측 할 수 있다. 그러나 정확한 에칭속도의 조사는 본 실험에서는 제외되었다. 그 이유로는 아래에 InGaP의 에칭 stop 층이 있기 때문에 에칭 시간의 조절

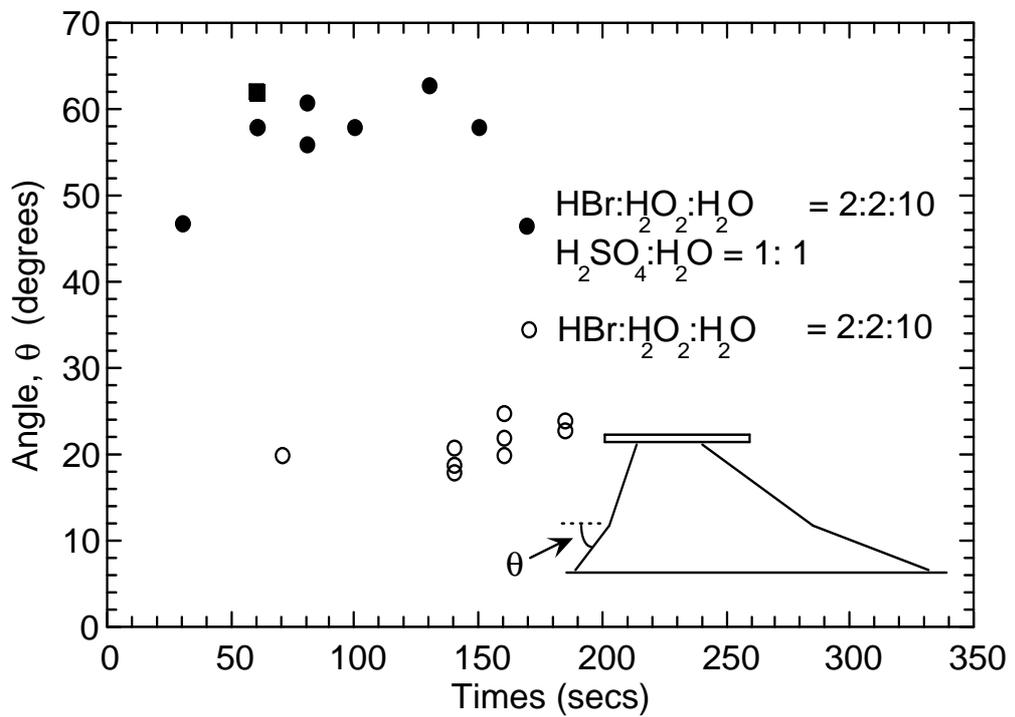
이 필요하지 않기 때문이다. 또한 GaAs 층이 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 영향을 받지 않기 때문에 각의 개선에 더욱 효율적으로 황산계 etchant를 이용할 수 있다. 한편 $HBr:H_2O_2:H_2O=2:1:10$ 과 $HBr:H_2O_2:H_2O=2:2:10$ 의 차이는 크게 나타나지 않지만 <그림 31>과 <그림 33> 그리고 <그림 32>와 <그림 34>를 비교해 볼 때 2:2:10의 경우가 70° 와 40° 인 각에 더욱 접근한 것을 알 수 있다.



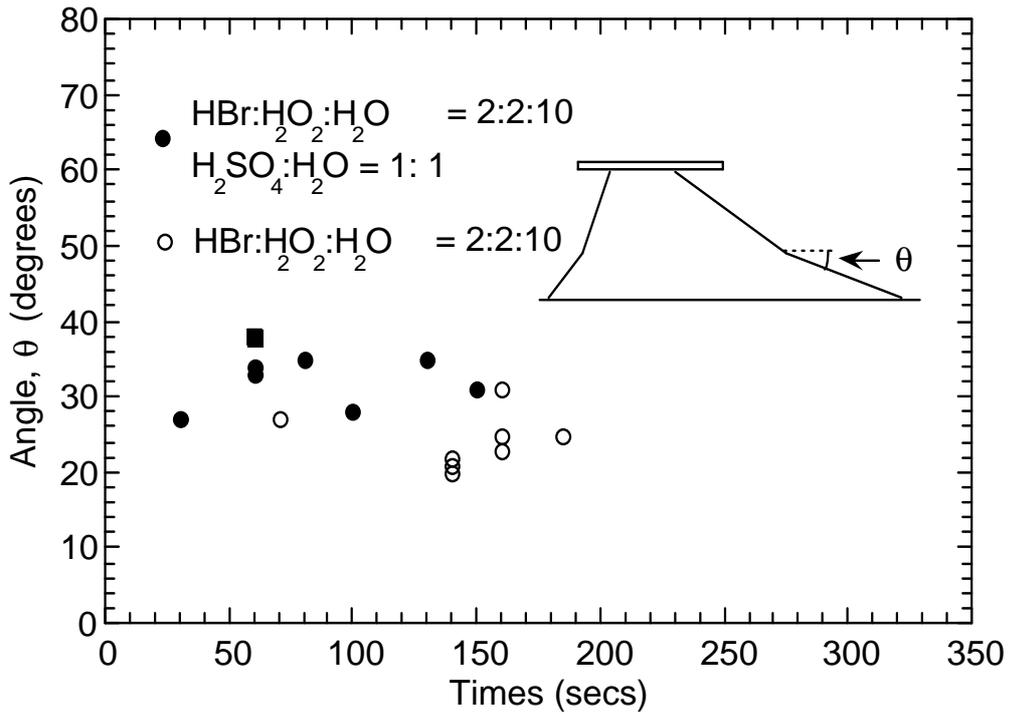
<그림 31> $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 대한 InGaAlP 경사각의 변화
($HBr:H_2O_2:H_2O=2:1:10$ 의 경우)



<그림 32> $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 대한 InGaAlP 경사각의 변화
 (HBr: H_2O_2 : $\text{H}_2\text{O}=2:1:10$ 의 경우)

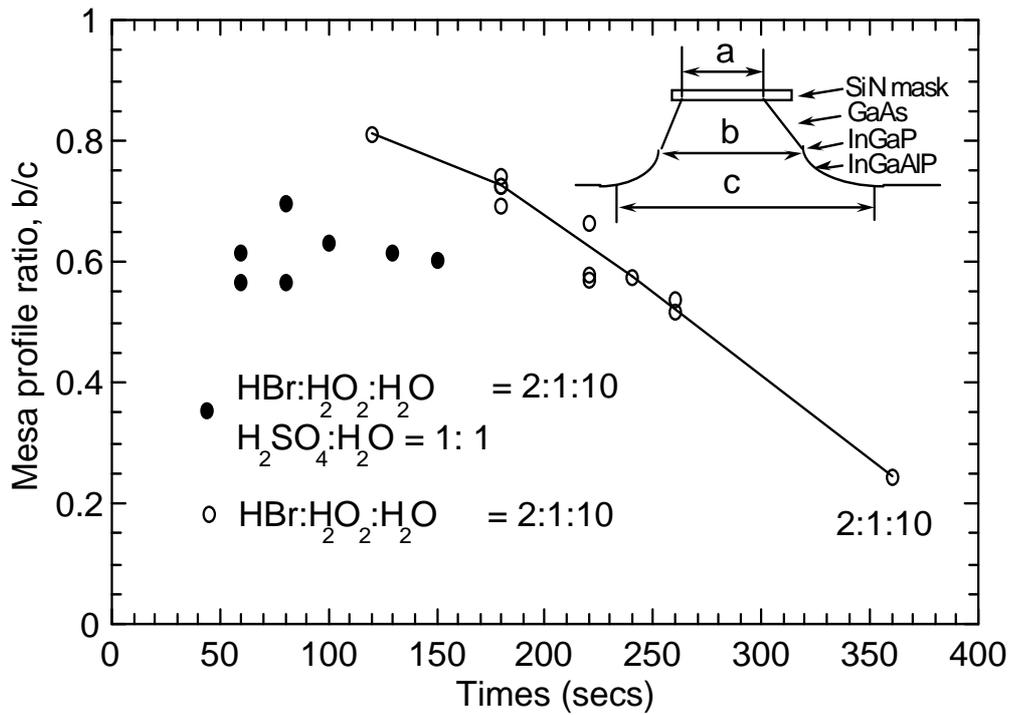


<그림 33> $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 대한 InGaAlP 경사각의 변화
 (HBr: H_2O_2 : $\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 의 경우)



<그림 34> H₂SO₄:H₂O=1:1 (47° C)에 대한 InGaAlP 경사각의 변화
(HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10의 경우)

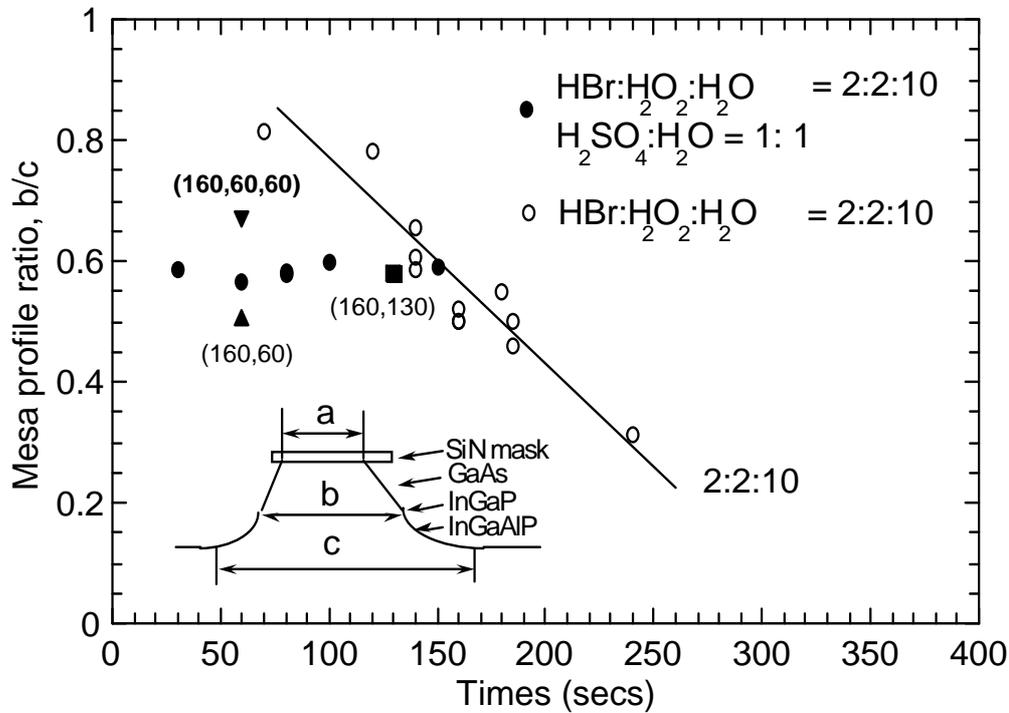
위의 결과로부터 H₂SO₄:H₂O=1:1 (47° C)에 의한 각의 개선이 edge profile의 개선에 가장 크게 영향을 주고 있음을 짐작할 수 있다. ,<그림 35>와 <그림 36>은 HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10과 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10에 대한 b/c의 비를 보여주고 있다. 실선은 <그림 14>에서 HBr:H₂O₂:H₂O의 여러 가지 조성에 대한 ridge profile b/c 형태 비의 결과이며 본 장에서의 결과를 추가하여 나타내었다. 대부분의 결과들이 실선의 범위에서 벗어 나지 않고 있다. 그러나 그림에서 검은 점들로 나타낸 것과 같이 H₂SO₄:H₂O=1:1 (47° C)에 의한 각의 개선에 의하여 0.55 이상의 값들을 가짐을 알 수 있다.



<그림 35> $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 의한 ridge profile b/c 비
($HBr:H_2O_2:H_2O=2:1:10$ 의 경우)

<그림 36>에서는 $HBr:H_2O_2:H_2O=2:2:10$ 의 경우에 있어 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 의한 ridge profile b/c 비를 보여 주고 있으며 앞의 경우와 마찬가지로 0.6이상의 값을 황산계의 에칭을 통하여 구현 할 수 있다. <그림 36>에서 검은 역삼각형으로 나타낸 시료는 $HBr:H_2O_2:H_2O=2:2:10$ 에 160초 에칭한 후 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 60초 에칭 하였으며 다시 새로운 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$) 용액에 60초 에칭 한 결과를 나타내고 있다. 0.67정도의 값을 나타내고 있으며 이는 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 새로이 에칭을 하게 되면 b/c 비가 점차 커짐을 시사하고 있다. 그러나 검은 사각형의 점에서 보듯이 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)에 2차 에칭시간을 두 배인 130초 에칭하였을 경우는 60초 에칭한 경우와 마찬가지로 큰 효과를 보여 주지 못하고 있다. 따라서 새로운 $H_2SO_4:H_2O=1:1$ ($47^\circ C$)의 etchant에서의 에칭이 필요할 수 있다고 판단된다. 본

실험에서는 이 과정을 3차 에칭이라고 정의하고 그 효과를 SEM 사진을 통하여 분석하고자 한다.



<그림 36> $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 의한 ridge profile b/c 비
($\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 의 경우)

<그림 37>에서는 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:1:10$ 에 220초 에칭한 후 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 각각 60초, 80초 에칭한 경우와 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 에 160초 에칭한 후 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 각각 60초, 80초 에칭한 결과를 SEM 사진으로 볼 수 있다. 두 시료의 에칭 깊이는 같은 정도이다. 이 그림에서는 두 각의 변화는 크게 차가 없었으나 InGaP층의 edge 모양이 분명히 구분 됨을 확인 할 수 있었다.

이러한 edge 모양의 형태는 2차 전류 차단층의 성장에 영향을 줄 수 있으며

HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10의 경우에서와 같이 각 θ 가 open 되어 있는 경우가 그 영향을 최소화 할 수 있을 것이라고 기대된다.

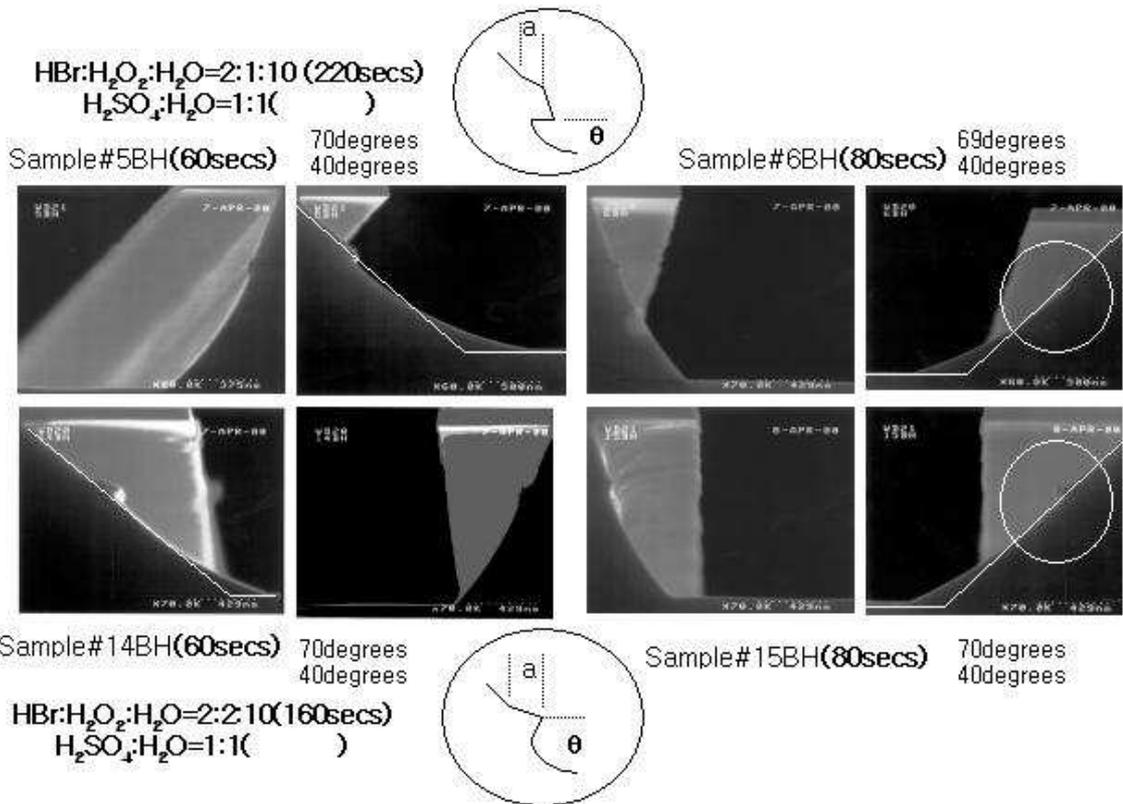


그림 37. InGaP edge profile의 SEM 사진

<그림 38>에서는 또 다른 예를 보여주고 있다.

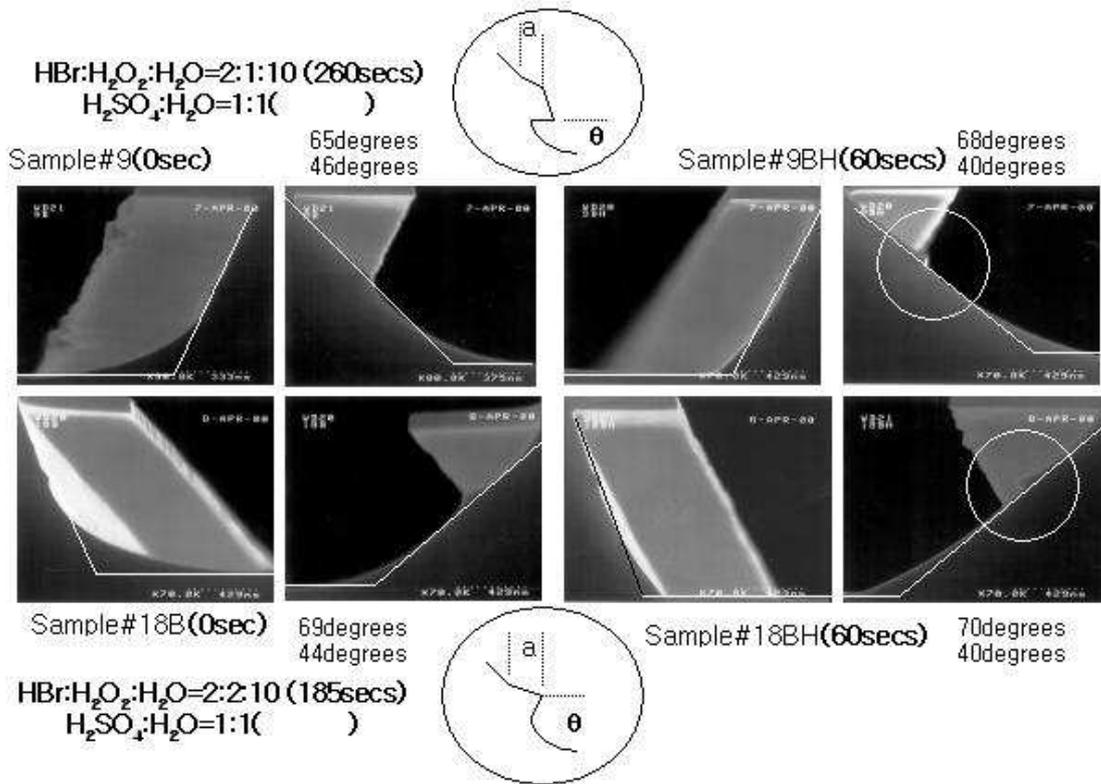


그림 38. InGaP edge profile의 SEM 사진

HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10에 260초 에칭한 후 H₂SO₄:H₂O=1:1(47° C)에 각각 0초, 60초 에칭한 경우와 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10에 185초 에칭한 후 H₂SO₄:H₂O=1:1(47° C)에 각각 0초, 60초 에칭한 결과를 SEM 사진으로 볼 수 있다. 이 결과에서도 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10의 경우에서의 각 θ가 open 되어 있으며 HBr:H₂O₂:H₂O=2:1:10의 각 θ 보다 큰 각을 가지고 있음이 확인되었다. 한편 그림 38에서 볼 수 있듯이 H₂SO₄:H₂O=1:1(47° C)에 에칭하지 않았을 경우에 상당히 많은 InGaAlP의 부분이 둥근 edge 모양으로 남아 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 둥근 edge는 H₂SO₄:H₂O=1:1(47° C)에 에칭함으로써 상당 부분이 없어

질 수 있음이 확인되었다. 이상의 결과에 의해 본 연구에서는 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 의 etchant를 1차 에칭용액으로 설정하고자 한다. 그림 39에서는 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 의 etchant를 이용하여 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)의 용액에 의해 에칭 profile이 개선 되고 있는 과정을 SEM 사진으로 나타내었다.

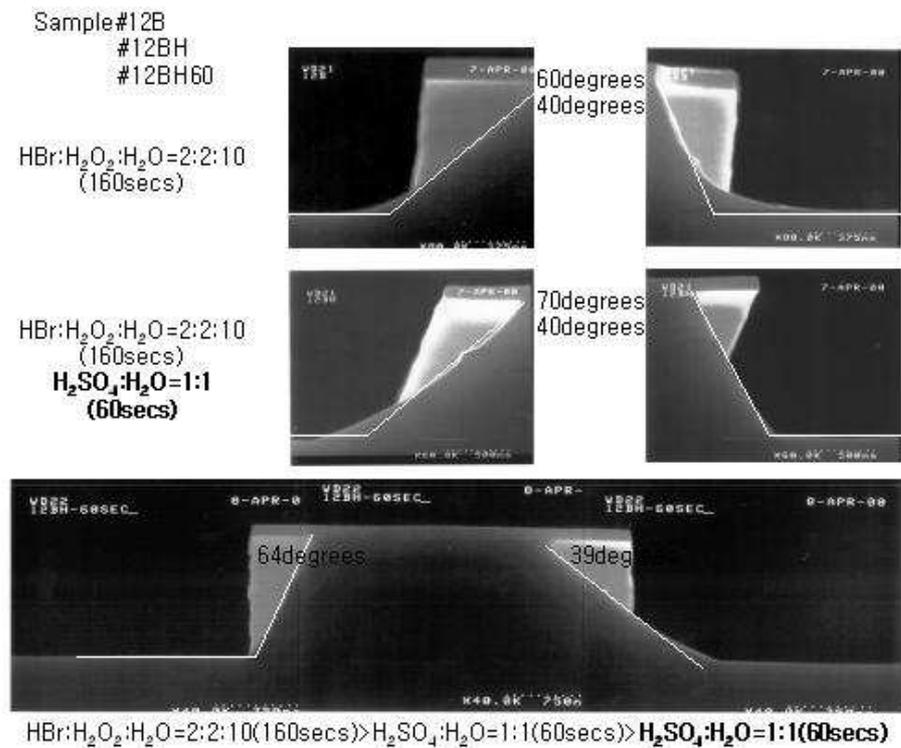


그림 39. $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1(47^\circ\text{C})$ 의 용액에 의해 에칭 profile이 개선 되고 있는 SEM 사진

시료 번호 12B의 경우이며 먼저 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2:2:10$ 에 의해 에칭 된 단면은 상당히 많은 부분이 둥근 edge를 형성하고 있다. 이는 앞서서도 언급한 것과 같이 HBr 계의 에칭 특성으로 이를 개선 하지 않으면 좋은 profile을 기대 할 수 없다. 두 번째 단면은 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C)에 60초 에칭한 경우이며 많은 부분이 제거 되었음을 볼 수 있다. 3번째 단면은 다시 새로운 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}=1:1$ (47°C) 용액

에 60초 에칭한 단면을 보여 주고 있으며 본 technical report 에서 목표로 하는 edge profile에 가장 접근된 형태라 할 수 있다. <그림 40>에서는 또 다른 시료에 대한 예를 볼 수 있다. 시료 14B의 경우이며 3번째 단면 사진에서와 같이 거의 완전한 형태의 에칭 profile을 얻을 수 있다.

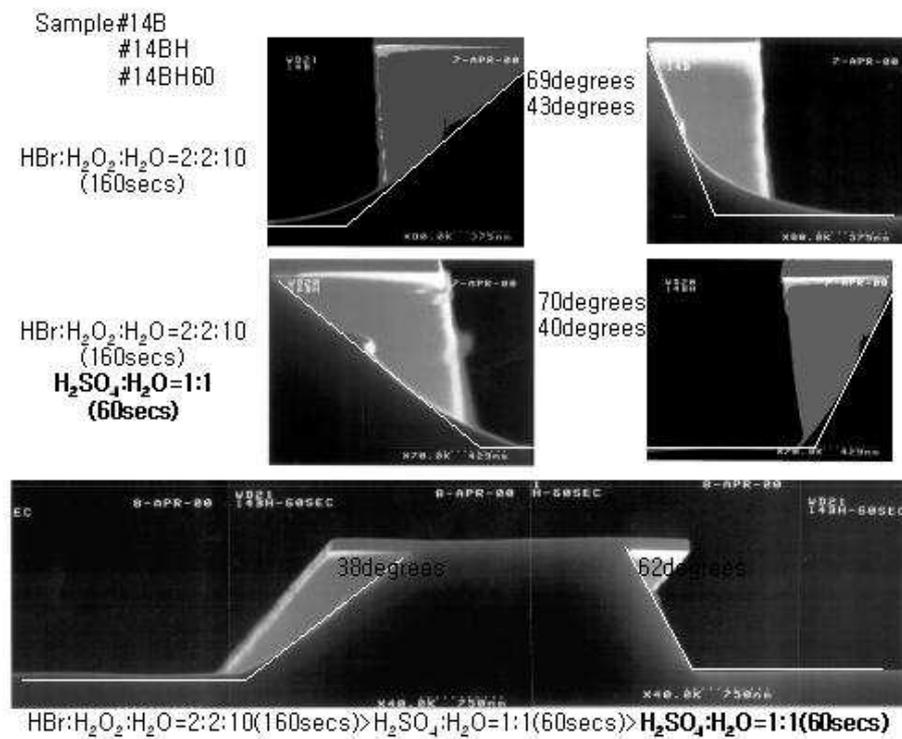


그림 40. H₂SO₄:H₂O=1:1(47°C)의 용액에 의해 에칭 profile이 개선 되고 있는 SEM 사진

<그림 41>은 3차 에칭의 효과를 비교한 단면사진으로 새로운 H₂SO₄:H₂O=1:1(47° C) 용액에 에칭함으로써 에칭 profile을 크게 개선 할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서는 에칭 profile의 개선을 위하여 3차 에칭을 권장하며 이에 의해 b/c의 비가 전 wafer의 영역에서 0.6이상 균일한 값을 얻을 수 있음을 기대할 수 있다.

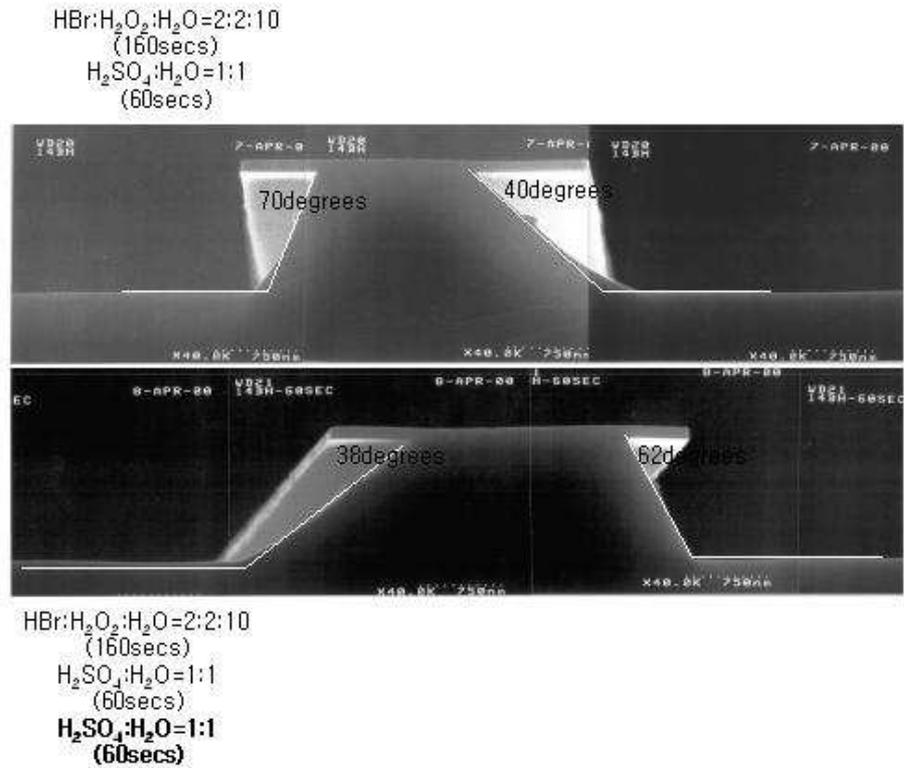


그림 41. 3차 에칭에 의해 에칭 profile이 개선 되고 있는 SEM 사진

본 장의 마지막으로 그림 42는 H₂SO₄:H₂O=1:1(47° C) 용액에 의한 표면의 SEM 사진을 나타내었다. 표면은 매우 양호한 것으로 확인 되었으며 2차 전류 차단층의 성장에 전혀 문제가 없는 것으로 나타났다.

표면 처리를 비롯하여 H₂SO₄:H₂O=1:1(47° C) 용액에 에칭 할 때 발생하는 기포 문제 등을 개선하기 위해서는 희석제로 사용되고 있는 H₂O 대신 C₂H₄(OH)₂ 인 에틸렌 글리콜을 사용하는 경우도 있다. 본 실험에서는 C₂H₄(OH)₂에 의한 여러 가지 조성비에 대한 InGaAlP의 에칭 결과를 조사하였으나 현재까지는 에칭이 되지 않는 것으로 확인 되었으며 따라서 InGaAlP 층이 에칭이 될 수 있는 조성비를 찾는 것이 중요한 과제라고 할 수 있다. 본 technical report에서는 이 문제는 제외

하기로 한다. 한편 기존 제작되고있는 650 nm LD의 edge profile의 경우와 비교를 하게 되면 본 실험에서의 공정에 의한 edge profile은 상당히 좋은 것으로 판단된다.

<그림 43>에서 보듯이 NEC의 경우 매우 좋은 edge profile을 가지고 있으며

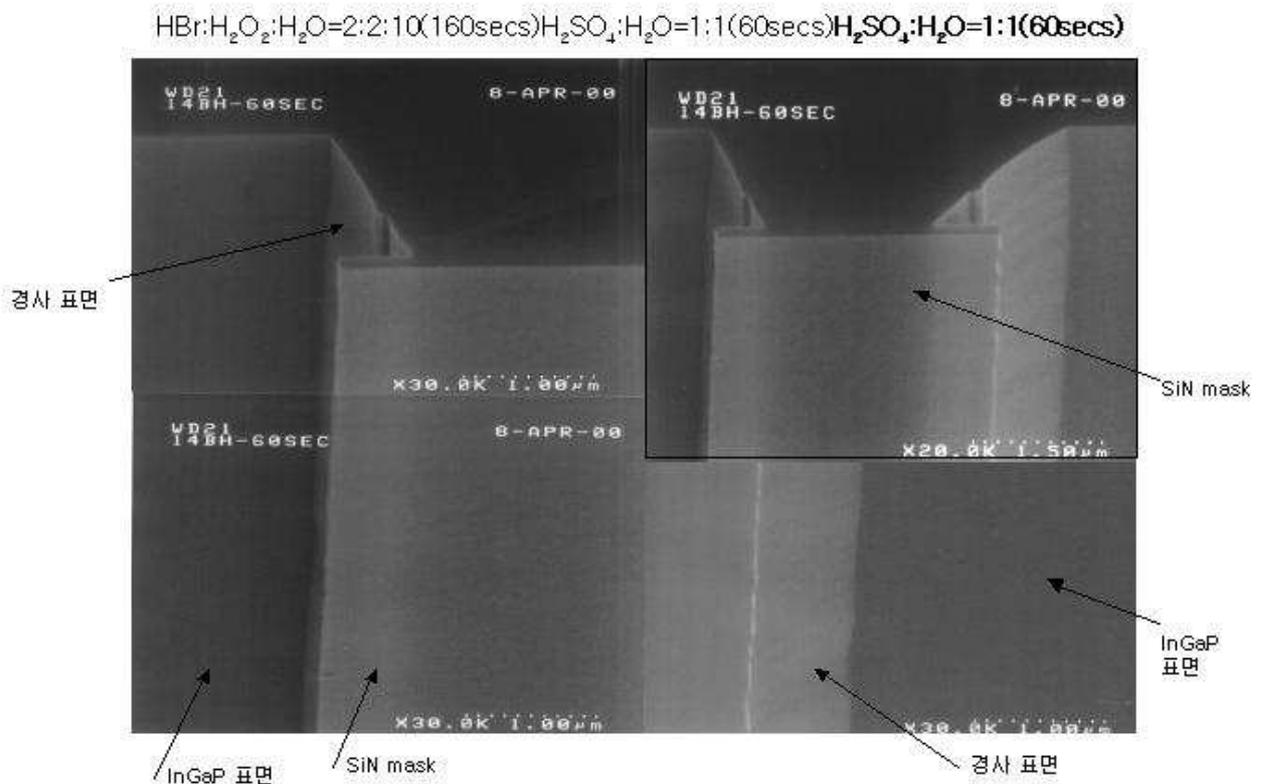
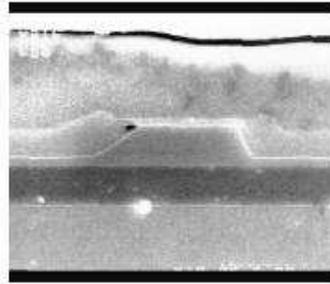


그림 42. 3차 에칭에 의한 표면 에칭 SEM 사진

아래 폭이(c) 5.28 μm 위의 폭이 3.36 μm 이며 따라서 b/c는 0.64의 값을 가지고 있다. 또한 경사각이 70° 와 40° 로 잘 형성되어 있음을 볼 수 있다. 이는 <그림 41>의 아래 SEM 사진에서 볼 수 있듯이 본 실험에 의해서도 0.67의 높은 b/c 값과 62° 와 38° 의 좋은 각이 얻어졌음을 확인 할 수 있다. Sharp, Thosiba, Sanyo 그리고 Rohm 사의 경우도 대략 같은 정도의 에칭 profile을 가지고 있음을

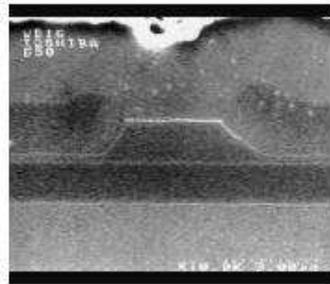
알 수 있다. 그러나 삼성의 경우는 edge의 경사부분에 아직 둥근 edge의 형태가 남아 있는 것으로 보인다. 따라서 본 technical report 에서는 그림 44와 같은 에칭 공정 흐름도를 제안하며 앞으로 이러한 공정에 의하여 에칭 profile의 재현성 및 uniformity 실험을 다음 장에서 다루고자 한다. 재현성 및 uniformity 실험은 주로 2인치 wafer의 mapping 작업을 통하여 확인 할 수 있다. 따라서 많은 SEM 사진의 측정에 의하여 그 결과가 신뢰성을 가질 수 있으며 또한 이러한 mapping 작업을 통하여 epi 층의 두께, SiN mask 의 폭 문제, 전체 수율 문제 등등이 문제 시 될 수 있다. 본 technical report 에서는 에칭에 관련된 제반 문제점을 mapping 과정을 통하여 제시하며 특히 에칭에 의한 수율 향상을 위한 개선 방안 등을 제시하고자 한다.



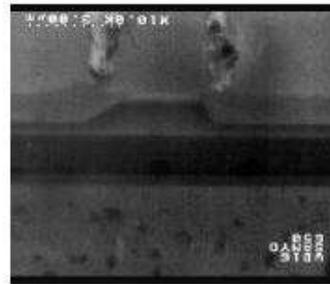
NEC 사



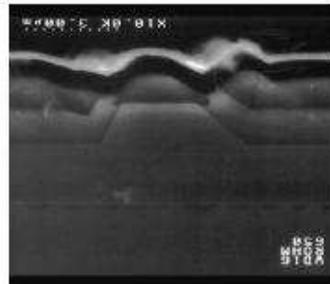
Sharp 사



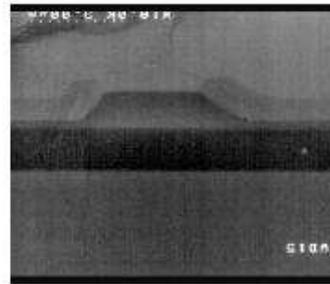
Toshiba 사



Sanyo 사

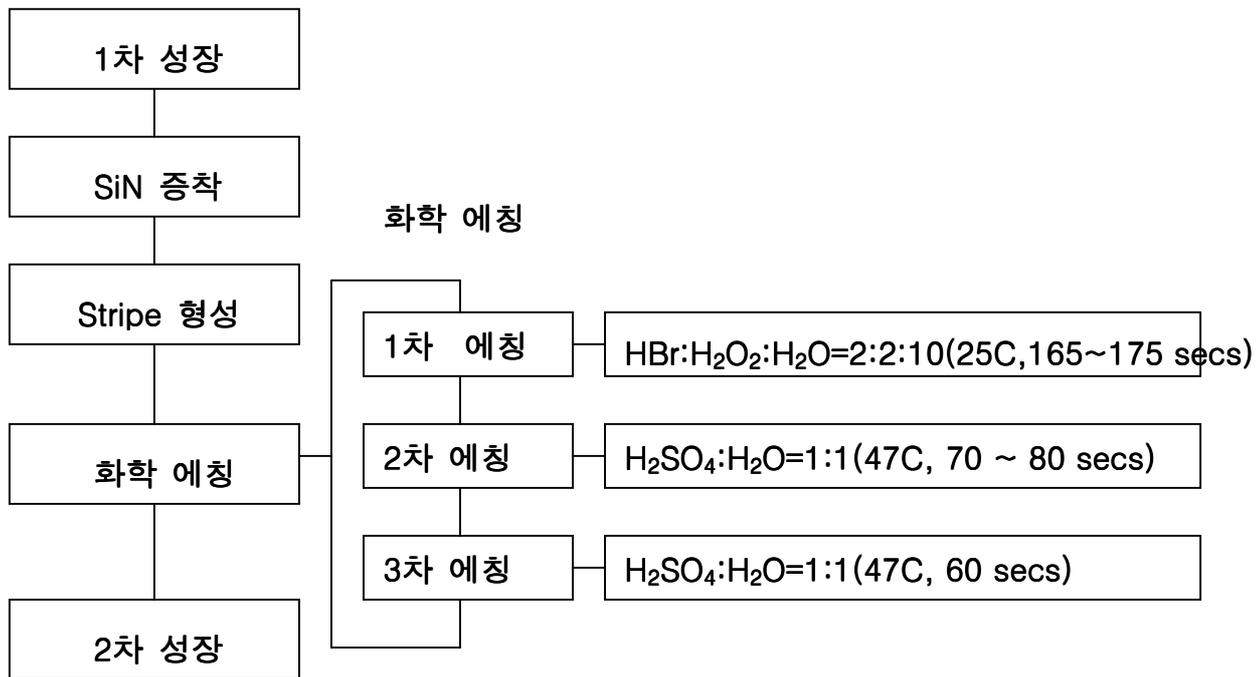


Rohm 사



Samsung 사

그림 43. 타사 650 nm LD edge profile SEM 사진

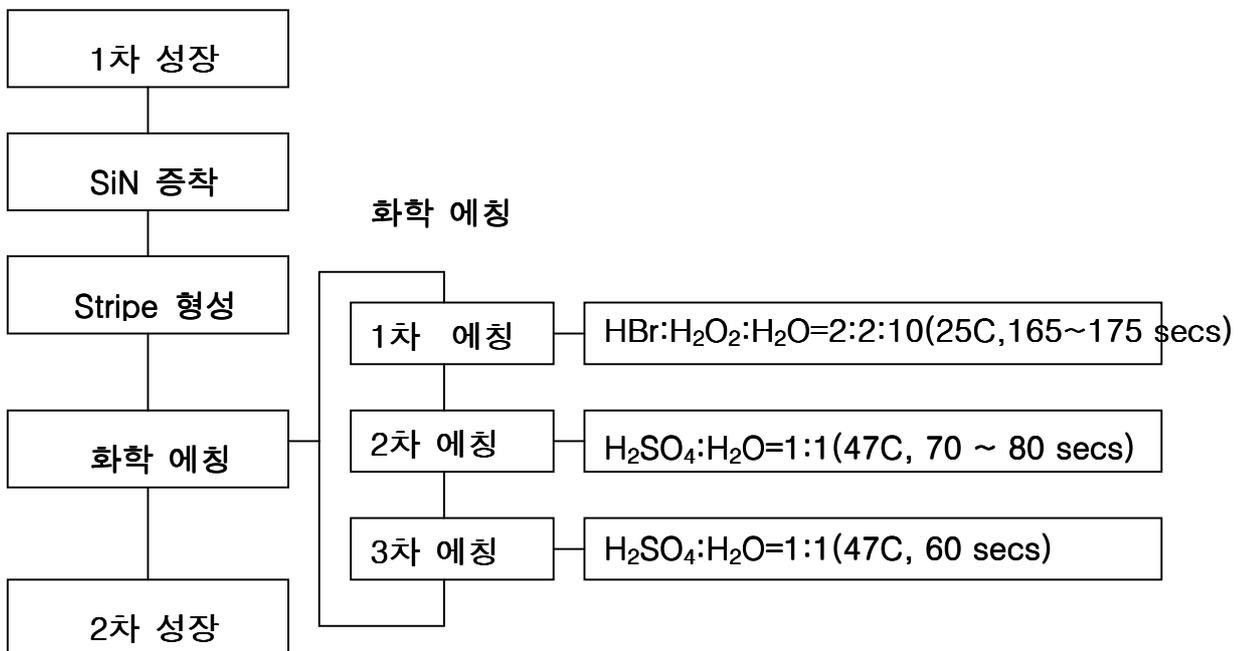


<그림 44> 새로 제안된 화학 에칭 공정 흐름도

3. 결 론

본 연구에서는 SGBR(selective growth buried ridge) 구조 650 nm DVD-ROM 레이저 다이오드의 제작 공정 중에 photolithography 와 화학 에칭(wet etching)에 관한 단위 공정의 안정화에 관한 실험을 실시하였다. etchant로는 SGBR LD 구조에 사용되는 화합물 반도체의 3가지 물질을 모두 에칭 할 수 있는 HBr 계를 선택하였다. 먼저 HBr 계에 대한 조성의 변화에 따른 에칭 조건을 실험 하였으며, 그 결과 HBr:H₂O₂:H₂O=2:2:10의 etchant를 1차 에칭 용액으로 선정하였다. 또한 edge 경사각을 개선하기 위하여 H₂SO₄:H₂O=1:1 (47° C)를 2차 3차 etchant 로 선정하였다.

그리고 아래와 같은 새로운 에칭 공정 흐름도를 제안하였다.



본 연구에서는 SGBR LD 구조를 제작하기 위하여 위와 같은 새로 제안된 화학 에칭 공정 흐름도를 제안하며 이에 의해 화학 에칭(wet etching)에 대한 단위 공정의 안정화에 기여할 수 있음을 기대한다.

4. 참고 문헌

- [1] M. Wada, K. Hamada, T. Shibutani, H. Shimizu, M. Kume, K. Itoh, G. Kano and I. Teramoto, *IEEE J. Quantum Electron.* QE-21, 658 (1985).
- [2] J. L. Vossen and W. Kern, *Thin Film Processes* (Academic Press, London, 1978).
- [3] S. M. Sze, *Semiconductor Devices* (John Wiley & Sons, New York, (1985).
- [4] K. Kobayashi, S. Kawata, A. Gomyo, I. Hino and T. Suzuki, *Electron. Lett.* 21, 931 (1985).
- [5] M. Ikeda, Y. Mori, H. Sato, K. Kaneko and N. Watanabe, *Appl. Phys. Lett.* 47, 1027 (1985).
- [6] M. Ishikawa, Y. Ohba, H. Sugawara, M. Yamamoto and T. Nakanishi, *Appl. Phys. Lett.* 48, 207 (1986).
- [7] M. Ishikawa, K. Itaya, Y. Watanabe, G. Hatakoshi, H. Sugawara, Y. Ohba and Y. Uematsu, Ext. Abst. Of 19th Conf. On SSDM, 115 (1987).
- [8] R. E. Williams, *Gallium Arsenide Processing Techniques* (Artech House, Washington, 1984).
- [9] J. R. Lothian, J. M. Kuo, F. Ren and S. J. Pearton, *J. Electron. Mater.* 21, 441 (1992).
- [10] D. Gregusova, P. Ellias, L. Malacky, R. Kodela and J. Skrixiarova, *Phys. Stat. Sol.* (a)151, 113 (1995).
- [11] J. W. Lee, S. J. Pearton, C. R. Abernathy, W. S. Hobson, F. Ren and C. S. Wu, *Solid-State Electronics*, 38, 1871 (1995).
- [12] D. W. Shaw, *J. Cryst. Growth*, 47, 509 (1979).
- [13] D. N. Macfadyen, *J. Electrochem. Soc.* 130, 1934 (1983).
- [14] S. Adachi and K. Oe, *J. Electrochem. Soc.* 131, 126 (1984).