

## Remote PECVD로 저온성장된 SiO<sub>2</sub>/InSb의 전기적 특성

이재곤 · 박상준\* · 최시영

경북대학교 전자공학과, \*(주) 아펙스 연구개발센터  
(1996년 1월 26일 접수)

### Electrical properties of SiO<sub>2</sub>/InSb prepared by low temperature remote PECVD

Jae-Gon Lee, Sang-Jun Park\* and Sie-Young Choi

Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ., \*R & D Center, APEX Co., Ltd  
(Received January 26, 1996)

**요 약** - InSb기판위에 remote PECVD장치를 이용하여, 200℃보다 낮은 저온에서 SiO<sub>2</sub>막을 증착시켰다. 증착압력, 증착온도, 가스 유량비등의 공정변수들에 따른 SiO<sub>2</sub>막의 물리적 전기적 특성을 조사하였으며, 155℃에서 증착시킨 SiO<sub>2</sub>막을 이용하여 InSb MIS소자를 제조하여 전류-전압 및 정전용량-전압 특성을 77K에서 측정하였다. AES 분석 결과, SiO<sub>2</sub>막내부 원자들의 화학조성비가 일정하게 유지되었으며, 기판원자들의 외부 확산이 거의 없었다. 제조된 MIS소자의 전류밀도는 0.75 MV/cm에서 6.26 nA/cm<sup>2</sup>의 낮은 전류밀도를 나타내었으며, 항복전압 강도는 약 1 MV/cm 이었다. 1 MHz C-V측정으로부터 계산된 중간 에너지 대역폭에서의 계면 상태밀도가  $5.54 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 으로 나타났다.

**Abstract** - SiO<sub>2</sub> insulator layers on InSb have been prepared by remote PECVD system at a low temperature below 200℃. The effects of deposition pressure, temperature, and gas flow ratio on the physical and electrical characteristics of the SiO<sub>2</sub> were studied. The InSb MIS device using SiO<sub>2</sub> was fabricated and measured its current-voltage and capacitance-voltage characteristics at 77K. The films evaluated Auger electron spectroscopy showed that composition atoms were distributed uniformly throughout the oxide film and the outdiffusion of substrate atoms into the oxide were few. The leakage current density of the MIS device was about 6.26 nA/cm<sup>2</sup> at 0.75 MV/cm, and the breakdown voltage was about 1 MV/cm. The interface-state density at mid-bandgap extracted from 1MHz C-V measurement was about  $5.54 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ .

## 1. 서 론

III-V족 화합물들을 이용한 MISFET 기술이 발전하기 위해서는 저항률이 높고, 기계적으로도 강하며, 또한 계면준위 밀도가 낮아서 전기적으로 안정된 게이트 절연막을 요구한다[1]. 그러나, III-V족 화합물위에 성장시킨 산화막의 경우 생성된 막의 전기적 화학적 불안정한 특성으로 인하여, 증착시켜 형성시킨 절연막을 게이트 절연막으로 사용하는데에 관한 연구 및 III-V족 화합물들의 표면보호막으로 응용하는데에 관한 연구가 행해지고 있다. III-V족 화합물의 일종인 InSb는 에너지 갭이 작

고(0.23 eV at 77 K), 전자의 이동도가 빠르기 때문에 적외선용 photodiode에 많이 이용되고 있으며, 다른 화합물에 비해 녹는점이 낮고(약 800 K) 깨어지기 쉬우며 휘발성이 강한 V족 원소인 Sb가 약 250℃에서부터 승화되어 기판의 화학양론적 조성비가 변하는 특성을 가지고 있다[2]. 따라서 InSb의 절연막을 형성하기 위해서는 저온공정이 요구되는데, 저온에서 산화막을 형성하거나 절연막을 증착하는 방법으로는 주로 상온에서의 양극산화법[3-5], 저온저압 CVD[6-7], photoCVD[8-10], 그리고 PECVD[11]등으로 나누어 질 수 있다. 이러한 방법들 중에서 전통적인 PECVD를 이용한 박막을 형성하게 되

면, 기관이 직접적으로 플라즈마에 노출되므로 높은 에너지의 이온과 전자들이 기관에 충돌하게 된다. 그로 인하여 박막의 전기적 및 물리적 특성저하를 초래하게 된다. 또한 반응가스들이 모두 플라즈마에 의해서 여기되기 때문에 여러가지 형태의 가스종들이 생성되므로 가스 상태에서의 반응기구가 복잡하고, 공정변수들의 변화에 따라 박막의 특성변화가 크게 나타난다.

본 연구에서는 높은 에너지의 이온들에 의한 특성저하를 방지할 수 있고, 반응 radical들의 안정된 화학반응을 유도하므로 전통적인 PECVD보다 양질의 박막을 제조할 수 있는 remote PECVD를 도입하여, InSb의 절연막으로 SiO<sub>2</sub>막을 저온에서 성장시켰다. SiO<sub>2</sub>막 성장시의 공정변수에 따른 막의 물리적 전기적 특성을 조사하기 위하여 Si기관을 이용하여 공정조건을 확립한 후, InSb 기관위에 SiO<sub>2</sub>막을 증착하여 계면과 막 내부에 관한 물성을 조사하였다. 또한 InSb MIS소자를 제조하여 그 전기적 특성을 조사하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에 사용된 기관은 저항률이 10~25 Ω·cm인 (100) p-Si기관과, 77 K에서 저항률 및 캐리어 밀도가 각각 2.8~5.0×10<sup>-2</sup> Ω·cm 및 3.2~5.0×10<sup>14</sup> cm<sup>-3</sup>인 (100) n-InSb기관을 사용하였다. SiO<sub>2</sub>막 증착전의 화학용액에 의한 표면처리, Si기관의 경우 보편적인 RCA 세척을 행하였으며, InSb기관의 경우 먼저 유기세척을 행하고, NH<sub>4</sub>OH:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 1:1(65℃)인 용액에서 15분간 세척한후, Lactic Acid:HNO<sub>3</sub>:HF = 50:4:2 인 용액에서 표면을 식각한 다음, 순수(D.I. water)에 1:1로 희석된 HCl 용액에서 자연산화막을 제거하여 순수에서 세척한 후 질소가스로 수분을 제거하였다. 실험에 사용된 remote PECVD장치는, 직경이 110 mm이고 높이가 200 mm인 quartz tube의 플라즈마 여기챔버와 직경이 320 mm이고 높이가 300 mm인 스테인레스로 제작된 증착챔버로 구성되어 있다. 13.56 MHz의 RF 전력은 유도형 코일로 공급되고, 반응가스로는 N<sub>2</sub>O 가스와 Ar에 10%로 희석된 SiH<sub>4</sub> 가스를 사용하였다. N<sub>2</sub>O 가스는 플라즈마 여기 챔버로 주입되고, SiH<sub>4</sub> 가스는 증착챔버에 주입된다. 기관과 증착챔버 상단부와의 간격은 200 mm이고, 그 중간 위치에서 SiH<sub>4</sub>가스가 고르게 분사되도록 하였다. 증착시의 압력, 증착온도, 가스 유량비등의 공정변수를 변화시키면서 SiO<sub>2</sub>막의 특성을 조사하였다. 굴절률 및 두

께를 측정하기 위하여 ellipsometer를 사용하였고, SiO<sub>2</sub>막의 결합상태를 분석하기 위하여 FTIR 분석을 하였다. HP4145B를 사용한 I-V 특성으로 부터 막의 누설전류밀도, 항복전계, 전계항복이 일어나기 전까지의 평균적인 비저항을 추출하였으며, HP4280A를 이용한 1MHz에서의 C-V측정을 통하여 비유전율, 막내의 전하, 계면특성을 조사하였다. I-V 및 C-V 측정에 사용된 MIS 소자의 게이트 및 InSb 기관전극으로는 저항가열법으로 증착시킨 2000Å 두께의 In을 이용하였으며, 게이트 전극의 면적은 2~3×10<sup>-2</sup>cm<sup>2</sup>이었다. 제작된 MIS소자는 To-5 header에 장착하여 금선으로 배선한 후, InSb기관에서의 상온 background에 의한 광 전자-정공 생성을 차단하기 위하여 금이 도금된 전자기차폐용 cap을 사용하여 액체질소속에서 측정을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 증착온도에 따른 SiO<sub>2</sub>막의 증착률 및 굴절률 변화를 나타내고 있다. 이 때, 증착압력은 280 mTorr, RF 전력은 30 Watt, SiH<sub>4</sub>에 대한 N<sub>2</sub>O의 유량비는 1:12 였다. 온도의 증가에 따라 증착률이 거의 선형적으로 증가하였고, 굴절률은 기관온도가 120℃까지는 1.46으로 접근한 후 포화되었는데, 이는 기관에 흡착된 반응종들이 증가된 기관온도의 영향으로 표면화산속도의 증가에 따른 증착률의 증가를 나타내면서 안정된 박막을 형성하게 된다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

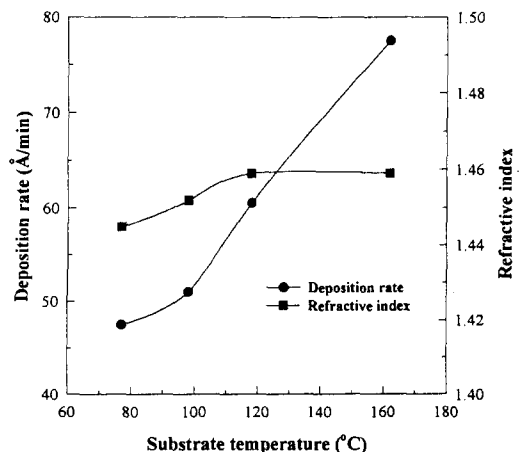


Fig. 1. Deposition rate & refractive index vs deposition temperature for SiO<sub>2</sub> films.

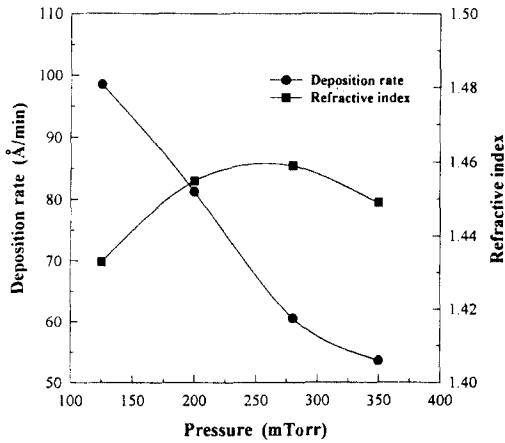


Fig. 2. Deposition rate & refractive index vs. working pressure for SiO<sub>2</sub> films.

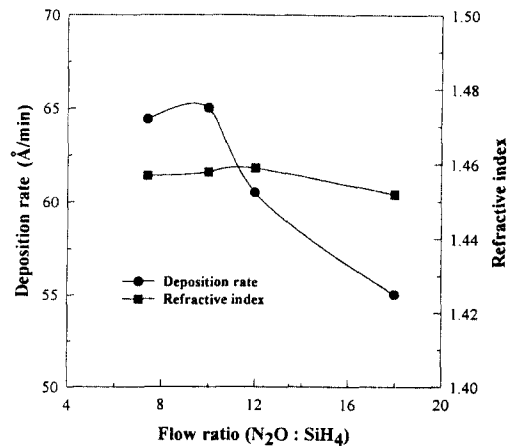


Fig. 3. Deposition rate & refractive index vs. gas flow ratio for SiO<sub>2</sub> films.

증착된 SiO<sub>2</sub>막의 식각률을 알아보기 위하여 10:1HF (H<sub>2</sub>O:HF = 10:1)용액에서 식각한 결과, 75℃에서 증착한 경우 식각률이 36Å/초이었으나, 온도가 증가함에 따라 감소하여 120℃이상에서의 식각률이 28Å/초로 포화되었다.

그림 2는 증착압력을 125 mTorr에서 350 mTorr까지 증가시키면서 증착시킨 SiO<sub>2</sub>막의 증착률 및 굴절률의 변화를 보여주고 있다. 이 때, 증착온도는 120℃, RF 전력은 30 Watt, SiH<sub>4</sub>에 대한 N<sub>2</sub>O의 유량비는 1:12였다. 증착압력이 증가함에 따라 증착률은 현저하게 감소한 반면, 굴절률은 280 mTorr까지는 증가하다가 그 이상에서는 약간 감소하였다. 증착압력이 증가할수록 10:1HF 용액에서의 식각률이 감소하였는데, 이는 증착률의 감소로 인하여 산화막을 형성하기 위한 반응종들의 표면에서 표면이동시간이 증가하게 되고, O원자들과 Si과의 기판에서의 충분한 반응이 일어나게 되어 막의 치밀도가 향상된 것으로 여겨진다.

그림 3은 순수한 SiH<sub>4</sub> 가스에 대한 N<sub>2</sub>O 가스의 유량비에 따른 증착된 SiO<sub>2</sub>막의 증착률 및 굴절률의 변화를 나타내고 있다. 이 때, 순수한 SiH<sub>4</sub> 가스의 유량은 0.4 sccm으로 고정하였으며, 증착압력은 280 mTorr, RF 전력은 30W att, 증착온도는 120℃이었다. 유량비 10일 때 증착률이 최고였다가 그 이상 증가할 수록 증착률은 조금씩 감소하였으나 굴절률의 변화는 크게 변화되지 않았다.

SiO<sub>2</sub>막의 화학적 결합상태를 알아보기 위하여 FTIR

분석을 행하였다. 그림 4는 증착온도 120℃, 증착압력 280 mTorr, RF 전력 30 W에서 증착된 SiO<sub>2</sub>막의 FTIR 분석그림이다. Si-O-Si 결합에 관계된 450 cm<sup>-1</sup> 근처의 rocking mode, 817 cm<sup>-1</sup> 근처의 bending mode에 해당하는 피크가 나타났으며, 그리고 1060 cm<sup>-1</sup> 근처의 stretching mode가 강하게 나타나고 있다. 200℃이하에서 증착된 SiO<sub>2</sub>의 경우, 막내의 수소결합이 부수적으로 나타나게 되는데, 663 cm<sup>-1</sup> 근처의 Si-H stretching mode, 3630 cm<sup>-1</sup> 근처의 Si-O-H stretching mode가 수소의 결합을 의미한다. Si-H stretching mode의 크기로 부터 예상되는 막내부의 수소함유량은 약 5~10%정도이고, 100℃이하의 기판온도에서는 수소함유량이 10%이상으로 예상되었는데, 이러한 수소의 결합은 낮은 치밀도의 요인이 되어 기판온도의 감소에 따른 10:1HF용액에서의 식각률 증가의 한 원인이 된다. 그림 4에 나타난 1060 cm<sup>-1</sup> 근처의 피크로 부터 진동특성에 대한 force constant model [12]을 적용하게 되면, Si-O결합각은 138°, Si-Si 결합간격은 2.99Å, 그리고 SiO<sub>2</sub>막의 평균적인 strain은 0.018이 된다. 100~200℃의 기판온도변화에 대해서는 Si-O-Si stretching mode의 피크위치가 1058.99 cm<sup>-1</sup>로 일정하게 유지되었는데, 이는 InSb기판위에 SiO<sub>2</sub>막을 성장시키기 위한 온도범위내에서는 SiO<sub>2</sub>막의 Si-O결합상태가 변하지 않음을 의미한다.

Si기판을 이용하여 확립한 제조조건을 이용하여, n-InSb 기판위에 SiO<sub>2</sub>막을 증착시켰다. 증착된 SiO<sub>2</sub>막내부 원자들에 대한 화학적 조성비를 알아보고, SiO<sub>2</sub>막과

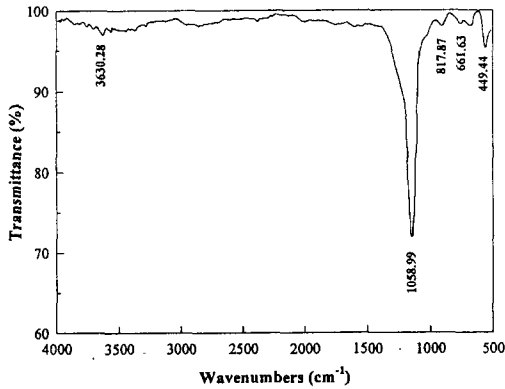


Fig. 4. FTIR transmission spectrum of SiO<sub>2</sub> film deposited on Si.

InSb기판사이의 계면상태를 조사하기 위하여 AES 분석을 행하였다. 그림 5는 기판온도에 따른 SiO<sub>2</sub>막의 AES 스펙트럼의 차이를 나타내는 것으로써, a)는 기판온도가 75℃이고, b)는 기판온도가 155℃인 경우이다. 이 때 증착압력은 220 mTorr, RF 전력은 30 Watt로 고정시켰으며, 두 시료의 SiO<sub>2</sub>막두께는 1400Å이다. N<sub>2</sub>O가스를 이용하였기 때문에 막내부에 N원자가 포함될 수 있으나, 막에 존재하는 구성원자가 Si과 O만이 존재함을 볼 수 있다. 그러나 155℃에서 증착시킨 시료의 경우 Si(LMM)에 해당하는 피크가 61, 64 및 76 eV에서만 나타나고 있지만, 75℃에서 증착시킨 SiO<sub>2</sub>막내부에는 Si-Si 결합에 해당하는 92 eV근처의 피크가 상당히 크게 나타났다. 이는 75℃에서 증착될 때 Si원자와 O원자간의 안정한 결합을 하기에는 낮은 온도임을 의미하며, 155℃에서 증착된 경우는 충분한 결합을 유도하여 SiO<sub>2</sub>막내부의 Si-O 결합이 안정된 SiO<sub>2</sub>구조로 이루어져 있음을 의미한다[13, 14].

155℃에서 증착시킨 시료를 깊이방향으로 3 kV 가속 전압의 Ar<sup>+</sup> 이온으로 스퍼터링하면서 AES 분석을 행한 결과, 구성원자인 Si 및 O원자가 SiO<sub>2</sub>막 내부에 균일하게 존재하고 있었으며, 그림 6은 Si, O, In 그리고 Sb에 해당하는 피크를 깊이방향으로 나타낸 그림이다. SiO<sub>2</sub>와 InSb사이의 계면에서의 In 및 Sb스펙트럼이 InSb기판내부에서의 스펙트럼과 다름을 볼 수 있는데, 이는 계면에 In 및 Sb의 산화막이 존재하고 있음을 의미하며 [14], SiO<sub>2</sub>막의 전체두께 1400Å을 기준으로 하고, Auger전자의 평균탈출깊이(mean escape depth)를 고려하면 계면에 존재하는 InSb 산화막의 두께는 약 80~100Å이

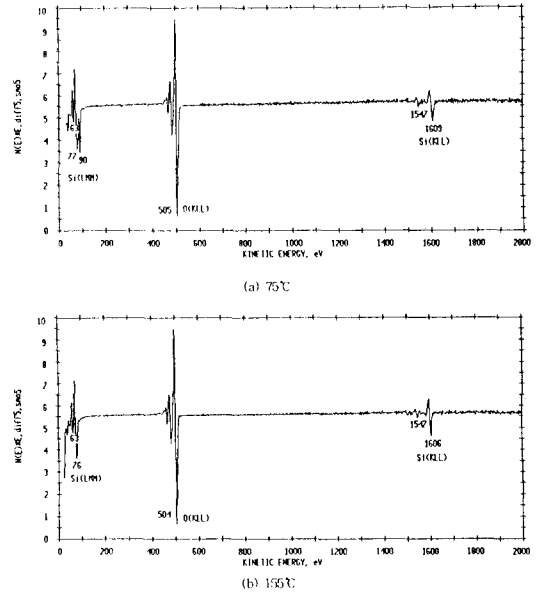


Fig. 5. AES spectrum of the SiO<sub>2</sub> film deposited on InSb. a) 75℃ b) 155℃.

된다. 그리고, 양극산화막에서는 Sb스펙트럼이 447, 452 및 460 eV에서 피크가 나타나게 되어, 산화막내부에 원자상태의 Sb가 존재함으로써 고주파 C-V특성이 저주파특성을 나타내게 되는 원인으로 작용하는 것으로 보고하고 있지만[5], 그림 6에서의 Sb스펙트럼은 455 및 460 eV만 존재함을 볼 수 있는데, 이는 SiO<sub>2</sub>막과 기판사이에 존재하는 산화막내부에 의한 원자상태의 Sb이 거의 없음을 의미하는 것이다.

SiO<sub>2</sub>막의 평균저항률과 누설전류밀도를 측정하기 위하여 MIS 소자들의 전류-전압 측정을 77 K에서 행하였다. 전류-전압 측정시, n-InSb 기판이 축적상태가 되도록 하기 위하여 게이트 전극에 양의 전압을 인가하였다. 그림 7은 그림 6에서 나타난 시료와 동일한 조건에서 증착된 1400Å 두께의 SiO<sub>2</sub>막을 이용한 MIS소자의 전류-전압특성을 나타내고 있다. 약 1 MV/cm의 전장에서부터 절연파괴가 일어남을 볼 수 있으며, 절연파괴가 일어나기 전까지의 비저항이 1.4×10<sup>14</sup> Ω·cm, 0.75 MV/cm에서 6.26 nA/cm<sup>2</sup>의 낮은 전류밀도를 나타내었다. 이는 양극산화막[5]에 의한 비저항 10<sup>13</sup> Ω·cm보다 높은 저항률을 가지고 항복전장이 큰 것으로, 계면에 존재하는 낮은 저항률을 가지는 산화막의 영향이 적음을 뜻한다.

그림 8은 1400Å 두께의 SiO<sub>2</sub>막을 이용하여 제조된 InSb MIS소자의 1MHz C-V특성곡선이다. 측정시 인가

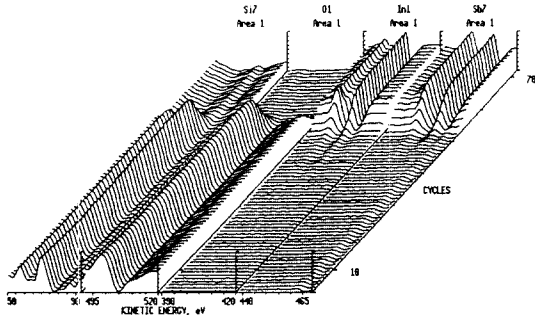


Fig. 6. AES spectra of Si, O, In and Sb for depth profiling of SiO<sub>2</sub>/InSb.

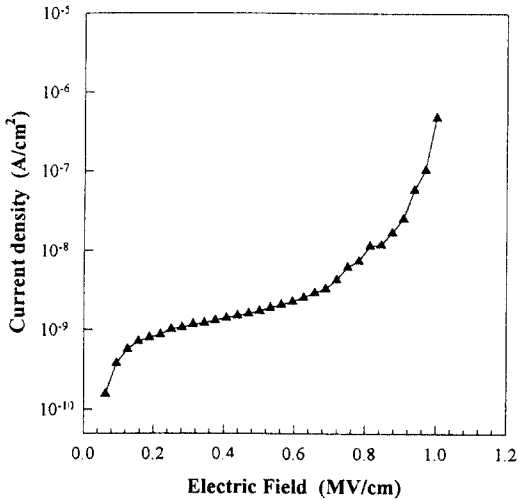


Fig. 7. Current-voltage characteristics of InSb MIS device.

된 AC 소신호 전압은 10 mVrms이었고, DC전압의 scan rate는 100 mV/sec이었다. 측정영역에서 나타난 정전용량으로부터 계산된 SiO<sub>2</sub>막의 비유전율은 4.5이었다. 게이트 금속으로 사용된 In의 일함수( $\Phi_m = 4.12 \text{ eV}$ )를 고려하고 평탄전압의 이동으로부터 계산된 산화막 고정전하 밀도는  $1.2 \times 10^{11} / \text{cm}^2$  이었으며, 게이트 전압을  $-6\text{V} \sim 2\text{V}$ 까지 변화시키면서 나타난 평탄전압의 이력특성으로부터 계산된 산화막 트랩밀도는  $7.3 \times 10^{10} / \text{cm}^2$ 로 나타났다. 이는 양극산화막에 의한 산화막 고정전하밀도  $10^{11} \sim 10^{12} / \text{cm}^2$  [5, 15, 16]보다 낮은 값이며, photoCVD를 사용한 SiO<sub>2</sub>막에서 나타난 산화막 트랩밀도  $6 \times 10^{10} / \text{cm}^2$  [9]과 상응하는 값으로써, 본 연구에서 도입한 remote PECVD SiO<sub>2</sub>막을 InSb기판의 유용한 절연층으로 사용

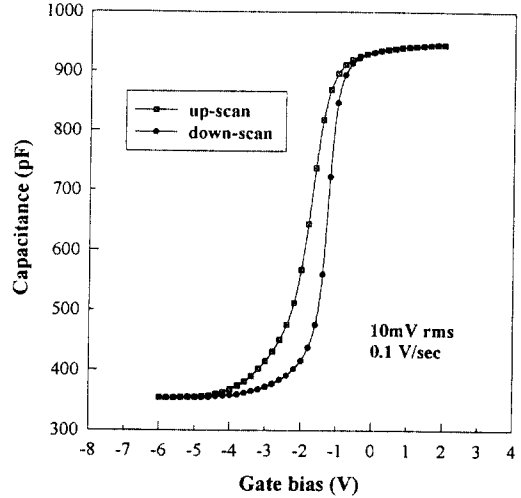


Fig. 8. 1MHz C-V characteristics of InSb MIS device.

가능함을 의미한다. 그리고 양극산화막에서 자주 나타나는 C-V특성의 저주파특성을 나타내고 있지 않는데, 이는 산화막과 기판사이의 계면에 Sb원자들이 존재하고 있지 않음을 의미하는 것으로써, 그림 6의 AES 분석 결과를 뒷받침하는 결과라 할 수 있다. 한편, 측정된 1MHz C-V특성곡선중 보다 정확한 계면상태밀도를 나타내는 것으로 알려진 방출곡선으로부터 Terman방법 [17]을 이용하여 계산된 계면전하밀도는 중간에너지 대역에서  $5.54 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 으로 평가되었는데, SiO<sub>2</sub>막을 증착하기 전에 InSb표면의 화학적 식각방법 및 remote PECVD 장비 내에서의 in-situ처리방법을 도입함으로써 계면상태밀도가 보다 낮은 절연막을 형성하는 연구가 필요하다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 InSb기판의 절연막으로 사용하기 위하여 remote PECVD SiO<sub>2</sub>막을 도입하였다. Remote PECVD SiO<sub>2</sub>막은 200°C보다 낮은 저온에서 성장시켰는데, 기판온도가 120°C이상에서부터 양질의 SiO<sub>2</sub>막이 성장되었다. 성장된 SiO<sub>2</sub>막에 대한 AES 분석으로부터 산화막내에 존재하는 원자들의 화학조성이 균일하게 분포하였고, 거의 완전한 결합의 SiO<sub>2</sub>막에 해당하는 Si(LMM) 스펙트럼이 나타났다. 또한, SiO<sub>2</sub>막과 InSb기판사이의 InSb 산화막은 약 80~100Å이었으며, SiO<sub>2</sub>막을 증착하

는 동안에 휘발성이 강한 Sb 원자의 외확산이 거의 없음을 알 수 있었다. SiO<sub>2</sub>막의 화학적 결합상태를 알아보기 위하여 FTIR 분석을 행한 결과, 1060 cm<sup>-1</sup> 근처의 stretching mode가 강하게 나타났으며, 막내의 수소함유량은 약 5~10% 정도로 나타났다. Remote PECVD SiO<sub>2</sub>막을 이용한 InSb MIS 소자를 제조하여 I-V 및 C-V 특성을 77K의 암상태에서 행하였다. 측정된 I-V 특성으로부터 약 1MV/cm의 전장에서부터 절연파괴가 일어났고, 절연파괴가 일어나기 전까지의 비저항이 1.4×10<sup>14</sup> Ω·cm, 0.75 MV/cm에서 6.26 nA/cm<sup>2</sup>의 낮은 전류밀도를 나타내었고, C-V 특성으로부터 계산된 산화막 고정전하밀도 및 산화막 트랩밀도는 각각 1.2×10<sup>11</sup> cm<sup>-2</sup> 과 7.3×10<sup>10</sup> cm<sup>-2</sup>으로 나타났다. 그리고 양극산화막에서 자주 나타나는 C-V 특성의 저주파특성을 나타내고 있지 않는데, 이는 산화막과 기판사이의 계면에 승화되기 쉬운 Sb 원자들이 존재하고 있지 않음을 의미한다고 할 수 있다. 측정된 1MHz C-V 특성곡선중 보다 정확한 계면상태밀도를 나타내는 것으로 알려진 방출곡선으로부터 계산된 계면전하밀도는 중간에너지 대역에서 5.54×10<sup>11</sup> cm<sup>-2</sup>eV<sup>-1</sup>으로 평가되었다. 이러한 연구결과는 양극산화막 및 전통적인 PECVD에 의해 형성된 절연막들보다 양호하며, InSb와의 계면 및 절연막 특성이 우수하다고 알려진 photoCVD SiO<sub>2</sub>막에 버금가는 특성을 가지는 remote PECVD SiO<sub>2</sub>막을 InSb 절연막으로 사용할 수 있음을 의미한다.

## 감사의 글

본 연구는 경북대학교 센서기술 연구소의 지원에 의하여 수행되었음.

## 참고문헌

1. C.W. Wilmsen, *Physics and Chemistry of III-V*

- Compound Semiconductors Interfaces*, (Plenum Press, New York, 1985) chap. 3.
2. T.P. Smirnova, A.N. Golubenko, N.F. Zachaarchuk, V.I. Belyi, G.A. Kovin, and N.A. Valisheva, *Thin Solid Films*, **76**, 11 (1981).
  3. R.Y. Hung and E.T. Yon, *J. Appl. Phys.*, **41**, 2185 (1970).
  4. S. Margalit, J. Shappir, and I. Kidron, *J. Appl. Phys.*, **46**, 3999 (1975).
  5. Yoram Shapira, J. Bregman, and Z. Calahorra, *Appl. Phys. Lett.*, **47**, 495 (1985).
  6. Hiroshi Fufiyasu, Masanori Suzuki, Kazuhiro Nakao, Sasao Itoh, and Osamu Ohtsuki, *Jan. J. Appl. Phys.*, **16**, 8, 1473 (1977).
  7. Masamichi Okamura and Makoto Minakata, *J. Appl. Phys.*, **57**, 2060 (1985).
  8. Kai-Feng Huang, J.S. Shie, J. J. Luo, and J. S. Chen, *Thin Solid Films*, **151**, 145 (1987).
  9. A. epten, Y. Shacham-Diamond, and S. E. Schacham, *J. Appl. Phys.*, **64**, 2813 (1988).
  10. Ilan Bloom and Yael Nemirovsky, *IEEE Trans. Electron Devices*, **40**, 309 (1993).
  11. K.G. Germanova and E. P. Valcheva, *Thin Solid Films*, **148**, 243 (1987).
  12. C.H. Bjorkman, J. T. Fitch, and G. Lucovsky, *Appl. Phys. Lett.*, **56**, 1983 (1990).
  13. G. Lucovsky, S.S. Kim, D.V. Tsu, G.G. Fountain, and R.J. Markunas, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B7**, 861 (1989).
  14. L.E. Davis, N.C. Macdonald, P.W. Palmberg, G.E. Riach, and R.E. Weber, *Handbook of Auger Electron spectroscopy* (Perkin Elmer, Minnesota, 1976).
  15. R.Y. Hung and E.T. Yon, *J. Appl. Phys.*, **41**, 2185 (1970).
  16. M.L. K-Pawlowski and E.L. Heasell, *Phys. Status Solidi*, **A24**, 649 (1974).
  17. L.M. Terman, *Solid-State Electron.*, **5**, 285 (1962).