

SAW를 이용한 GaAs 및 Al_{0.3}Ga_{0.7}As 에너지 갭 측정

오 박 남 춘
경남대학교 전자공학과

이 건 일
경북대학교 전자공학과

Energy gap measurement of GaAs and Al_{0.3}Ga_{0.7}As using SAW

Nam-Chun Park and Kuhn-Il Lee
Dept. of Electronics Kyungnam Univ. Dept. of Electronics Kyungpook National Univ.

Abstract

The energy gaps of undoped and Cr doped GaAs and Al_{0.3}Ga_{0.7}As was measured nondestructively using surface acoustic wave (SAW) technique.

The result is good agreement with other reported result.

This technique is inexpensive and simple one for the measurement of mole fraction of Al_xGa_{1-x}As

1. 서 론

반도체소자 제조공정의 자동화에 따라 반도체 웨이퍼 표면의 제특성은 신속하고 정확하게 측정될 수 있어야 하고 측정된 웨이퍼가 그대로 소자제조에 사용되기 위해서는 그 측정이 비파괴적으로 이루어져야 한다.

최근 SAW (surface acoustic wave) 를 이용한 반도체 웨이퍼표면의 전기적 특성을 비파괴적으로 측정평가하는 방법이 연구 개발되고 있다.

SAW를 이용한 반도체웨이퍼 표면성질의 비파괴평가에 대한 연구는 1973년 Bers¹⁾에 의해 시작되었으며 그 후 이 방법은 반도체소자의 제조공정에 직접 사용될 수 있다는 가능성 때문에 이에 대한 연구가 계속되어 왔다.²⁻⁶⁾

그림 1과 같이 SAW가 진행하는 압전결정 위에 반도체웨이퍼가 놓일 경우, 표면의 자유캐리어와의 비선형적인 상호작용에 의해 웨이퍼표면양단에 횡방향 전압 (transverse acoustoelectric voltage; TAV)⁵⁾이 발생하며 SAW의 에너지는 감쇠된다. 1979년 DAS⁵⁾들은 이들을 측정함으로써 웨이퍼표면의 전기적특성을 측정하는 방법을 처음으로 제시하였다. 그 후부터 SAW를 이용한 반도체표면의 전기적성질을 평가하는 연구가 가속되고 있다. SAW를 이용한 반도체웨이퍼표면의 전기적성질의 비파괴측정은 현재까지 Si 웨이퍼에 대한

것은 많이 진행되어 왔으나 GaAs에 대한 것은 아직 별로 진행되지 못하고 있다. 또 1은 SAW를 이용한 반도체표면의 여러 파라미터의 비파괴측정을 요약한 것이다.

표 1. SAW를 이용한 반도체표면성질의 비파괴측정법.

Semiconductor Property	SAW Measurement	Variable	Required Analysis
Conductivity	TAV	-	Calibrate theoretical plots for each semiconductor.
Type of Minority Carrier Near Surface	TAV	-	The polarity of TAV indicates carrier type: Positive for n-type, negative for p-type.
Emission Time Constant, Capture Cross Section	Attenuation	Scan the semiconductor with dc bias voltage while applying an additional bias pulse.	Through analysis of the effect of the pulse at each bias point obtain capture cross-section and surface state distribution as a function of energy.
Trap Levels	TAV	Shine monochromatic light.	Observe peak and valleys in the spectral response and correlate them with carrier transitions.
Surface State Density	Attenuation	Use dc bias voltage to scan the semiconductor surface from accumulation to depletion.	Compare scans with theoretical plots to obtain flat band voltage and surface state density.
Photoconductivity Response Time	Attenuation	Shine pulsed light. Use dc bias voltage to deplete or accumulate the semiconductor surface.	Measure the constant caused by the light pulse. The effects of bulk and surface recombination can be separated by comparing data obtained under various bias conditions.
Carrier Generation Rate	Attenuation	Drive the semiconductor from accumulation to deep depletion by switching the dc bias voltage.	Observe the recovery of the attenuation. This time constant is the inverse of the generation rate.
Annealing Effectiveness (Laser or Thermal)	TAV	-	Observe the change in conductivity and type of majority carrier. These indicate the extend of annealing.
Epitaxial Layer Properties	TAV or Attenuation	-	SAW measurements are confined to a Debye length. Thus, the surface layer properties are obtained with little interference from the bulk.

본 논문에서는 TAV-분광법을 이용하여 불순물이 첨가되지 않은 반절연GaAs, Cr이 첨가된 반절연 GaAs 및 반절연GaAs 기판 위에 수 μm의 Al_{0.3}Ga_{0.7}As에피택셜 층을 갖는 웨이퍼의 에너지 갭을 측정하고 이 방법의 실험성을 확인하였다.

2. SAW에 의한 TAV 발생

그림 1에서와 같이 SAW 소자 위에 외인성반도체가 놓여 있을 때 SAW에 수반된 전기장은 반도체표면의

자유 캐리어와 비선형적인 상호 작용을 한다. 이 때 전기장이 반도체면에 침투되는 깊이는 외인성 Debye 길이 정도이다.

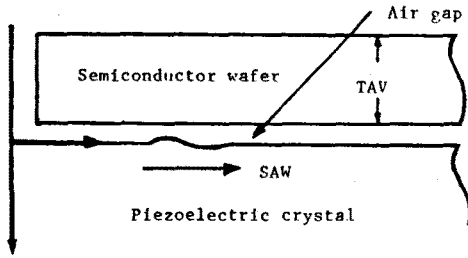


그림 1. SAW가 진행되는 압전물질 위에 놓인 반도체.

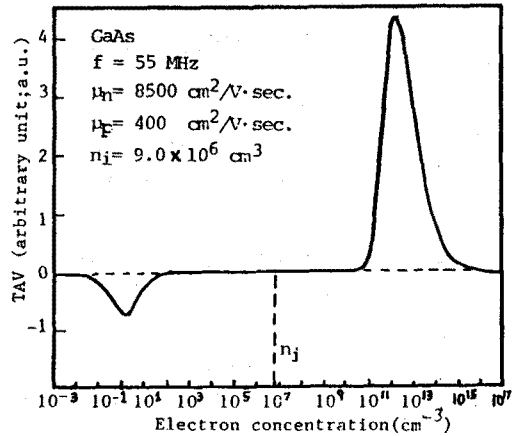


그림 2. 전자농도에 따른 TAV

이 상호 작용에 의해 TAV가 발생되며 이는

$$TAV = V \cdot \frac{n\mu_n - p\mu_p}{n\mu_n + p\mu_p} \frac{1}{\omega^2 R^2 (1 + \epsilon_p/\epsilon_s)^2 + (\gamma + \epsilon_p/\epsilon_s)^2} \quad (1)$$

이다. 여기서

$$\gamma^2 = 1 + \frac{\omega_{cn} \omega_{pn} + \omega_{cp} \omega_{dp}}{\omega^2}$$

$$\omega_{cn} = \frac{q\mu_n n}{\epsilon_s} \quad \omega_{cp} = \frac{q\mu_p p}{\epsilon_s}$$

$$\omega_{dp} = \frac{U_s^2}{D_p} \quad \omega_{dn} = \frac{U_s^2}{D_n}$$

$$R = \frac{\omega_{cn} \omega_{pn}^2 + \omega_{cp} \omega_{dp}^2}{\omega_{cn} \omega_{dn} + \omega_{cp} \omega_{dp}} \tau$$

이다. 여기서 n 및 p 는 각각 자유 전자와 정공의 농도, μ_n 및 μ_p 는 각각 전자와 정공의 이동도, ϵ_p 는 압전 물질의 유전율, ϵ_s 는 반도체의 유전율, q는 전자의 전하량, U_s 는 SAW속도, D_n 및 D_p 는 각각 전자와 정공의 확산계수 및 V_s 는 온도, 압전결합계수, 주파수 및 전기 음향전력에 의해 정해지는 상수이다.

TAV는 상호 작용하는 반도체표면에 대한 그 반대 표면의 전압으로 정의하며, 그 극성은 반도체가 n형일 경우 양이며, p형일 경우 음이다.

그림 2는 식 (1)을 이용하여 GaAs의 캐리어 농도에 따른 TAV를 계산하여 그린 것이다.

3. SAW 소자의 제작

본 실험에 사용된 SAW 소자는 LiNbO₃ 단결정벽 Y면에 약 1,000의 Al방막을 증착시키고 사진식각공정 (photolithography)에 의해 IDT (interdigital transducer)를 만들었다. 이 때 SAW의 진행방향은 Z축으로 하였다. LiNbO₃ 단결정의 크기는 75 mm x 12 mm x 1mm (길이 x 폭 x 두께)였으며, SAW소자는 외부와

전기적으로 차폐하기 위하여 Al 상자에 넣었다.

IDT에는 인덕터를 통해 RF 펄스를 입력시켰으며 이 인덕터의 값을 조정하여 RF의 반사손실을 최소화 하였다. 압전층 상자의 밑면은 직경 1cm 정도의 창을 만들어 빛이 이곳을 통해 LiNbO₃를 투과 하여 반도체표면에 조사될 수 있도록 하였다.

4. 실험 장치

샘플들의 에너지 갭을 측정하기 위하여 그림 3과 같은 실험장치를 구성하였다.

평행변조기를 이용하여 RF 펄스를 만들고 이를 증폭시킨 후 감쇠기를 거쳐 IDT에 공급하였다. 샘플의 TAV는 차동증폭기로 증폭시킨 후 록인증폭기와 XY기록계를 사용하여 측정하였다. 이 때 록인증폭기는 RF 펄스에 동기되었다. RF발진기는 55 MHz 수정발진기를 사용하였고, 펄스발진기의 출력전압은 5V_{pp}, 주기는 6 ms 및 충격계수 (duty factor)는 50%로 하였다.

5. 실험결과 및 고찰

불순물을 첨가하지 않은 반절연 GaAs웨이퍼 ($\rho = 10 \Omega\text{cm}$)에 대해 온도 및 단색광의 에너지변화에 따른 TAV를 측정하여 그림 4와 같은 결과를 얻었다. TAV의 진폭이 급변하는 위치는 에너지 갭에 해당되며 이의 온도변화율은 83°K에서 295°K 범위에서 $-4.2 \times 10^{-4} \text{ eV/}^\circ\text{K}$ 였다.

Cr이 첨가된 반절연 GaAs ($\rho = 10 \Omega\text{cm}$)에 대한 온도 및 단색광의 에너지변화에 대한 TAV를 측정하여 그림 5와 같은 결과를 얻었다. 온도변화에 따른 에너지 갭의 변화는 그림 3에서 나타난 실험결과와 거의 같았다. 그러나 200°K 이하에서 극대점 그리고 95°K 이하에서 극소점이 나타났으며 이 극대점 및 극소점의 크기는 온도가 낮아짐에 따라 증가하였다. 온도가 낮아짐에

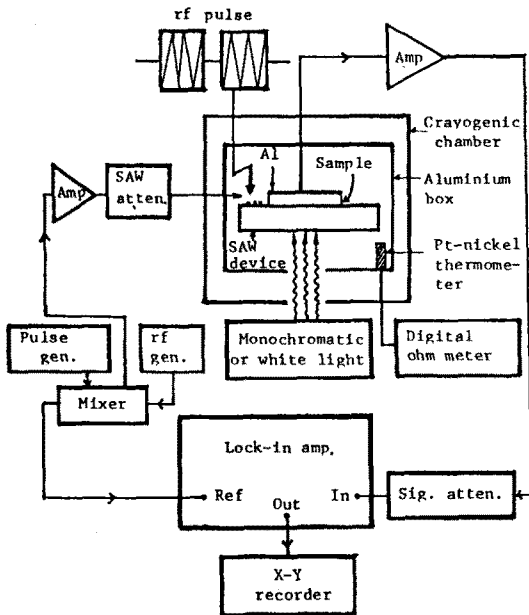


그림 3. SAW를 이용한 반도체 에너지 갭 측정장치.

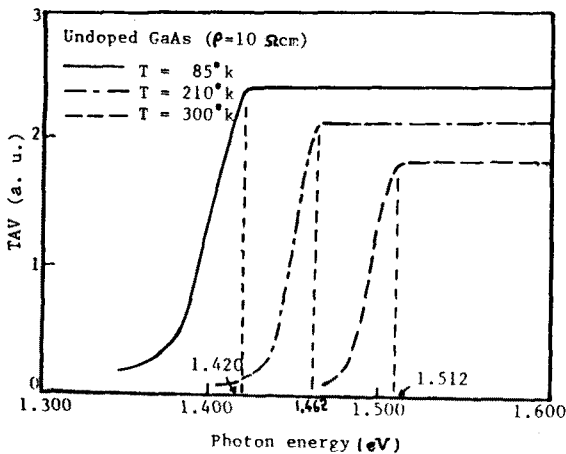


그림 4. 도핑되지 않은 GaAs의 단색광에너지 변화에 따른 TAV.

따라 엑시톤의 농도가 증가되므로 이 엑시톤이 SAW에 수반된 전기장에너지에 의해 자유전자와 정공으로 분리되며, 전자의 이동도가 정공의 그것보다 크기 때문에 극대점이 나타난다. 극소점의 출현은 엑시톤의 구속에너지가 온도가 낮아짐에 따라 커지기 때문으로 생각되며, 실험장치의 분해능이 총 다면 95°k 이상의 온도에서도 극소점이 발견되었을 것으로 생각된다.

단색광의 주사방향에 따른 극대값의 크기를 조사하

어 그림 6과 같은 결과를 얻었다. 즉, 이 극대값은 단색광의 에너지가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 주사할 경우가 그 반대 방향일 경우 보다 컸다. 이 결과는 단

색광 에너지가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 주사될 경우가 그 반대 방향일 경우 보다 엑시톤의 생성이 많기 때문이다.

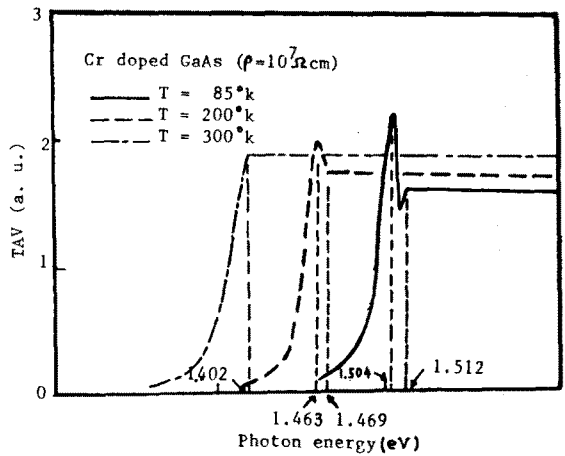


그림 5. 크롬이 첨가된 GaAs의 단색광에너지 변화에 따른 TAV.

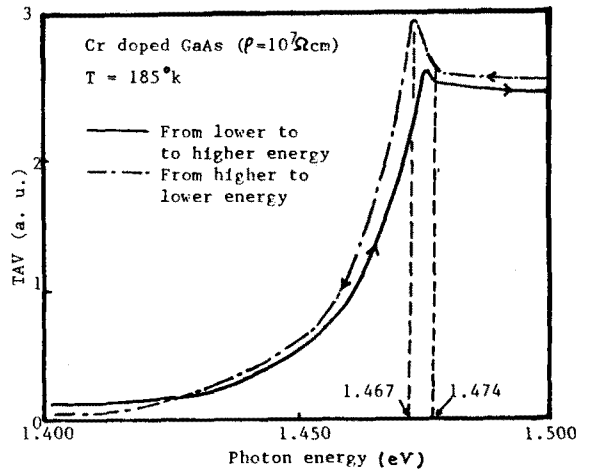


그림 6. 185°k에서 단색광에너지의 주사방향에 따른 크롬이 첨가된 GaAs의 TAV.

그림 7은 앞에서 언급한 두 샘플이 온도변화에 따른 에너지 갭의 변화를 Thurmond의 결과와 비교하여 나타내었으며 서로 잘 일치 하였다.

반절연 GaAs 기판위에 3μm의 Al_{0.3}Ga_{0.7}As 에피택셜층을 갖는 샘플의 단색광에너지 변화에 따른 TAV를 측정하여 그림 8과 같은 결과를 얻었다. TAV가 급변하는 에너지 즉, 1.42 eV 및 1.82 eV는 각각 기판 및 에피택셜층의 직접밴드에 해당하는 에너지 갭이다.

이 결과로 미루어 볼때 이 방법을 이용하면 Al_xGa_{1-x}As의 몰비를 쉽게 측정할 수 있다. 종래에는 이 몰비를 측정하기 위해 Auger 분석기나 전계발광법을 이용하

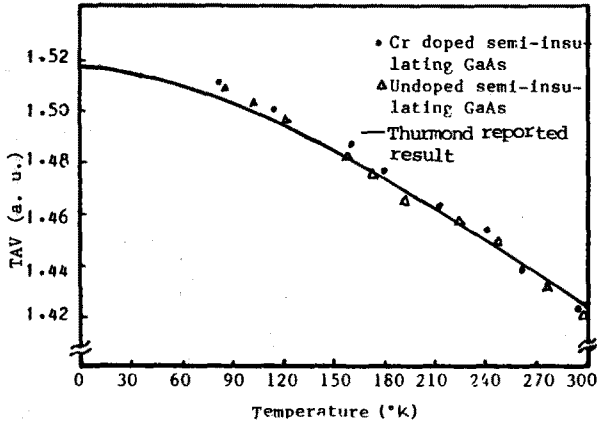


그림 7. 온도 변화에 따른 GaAs 에너지 갭.

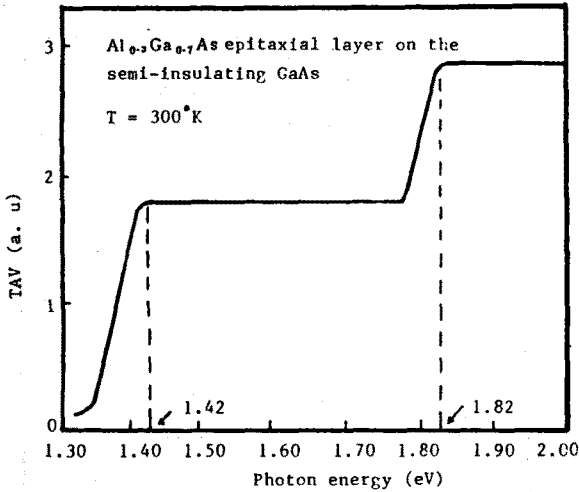


그림 8. Al Ga As 에피택셜층의 단색광 에너지 변화에 따른 TAV.

였으나 이들 방법들은 본 TAV 기법에 비해 그 가이거나, p-n 접합을 제작해야 하는 어려움이 따른다.

그림 9는 Al_xGa_{1-x}As의 몰비에 대한 에너지 구조를

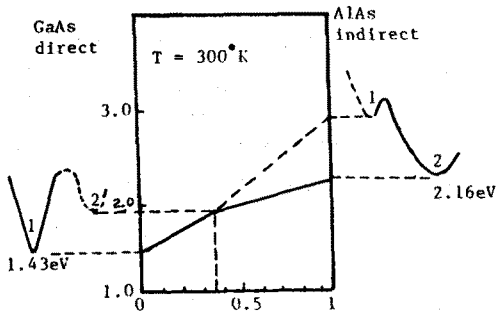


그림 9. Al_xGa_{1-x}As의 변화에 따른 에너지 구조

나타낸 것이며, x=0.3일 경우 직접에너지 갭은 1.82 eV 이다.

6. 결론

본 논문에서는 SAW 소자를 이용하여 반절연 GaAs 웨이퍼 및 Al_{0.3}Ga_{0.7}As 에피택셜층의 에너지 갭을 조사하였으며 이 방법의 실험성을 확인하였다. 반절연 GaAs 웨이퍼의 온도 변화에 따른 에너지 갭은 Thurmond의 결과와 잘 일치하였으며 Al_xGa_{1-x}As의 몰비를 0.3의 Auger 분석기나 p-n 접합의 제작없이 간단히 측정할 수

참고 문헌

1. A. Bers, J.H. Cafarella and B.E. Burke "Surface mobility measurement using acoustic surface waves", Appl. Phys. Lett., 22 pp399-401, 1973.
2. P. Das, M. E. Motamedr and R.T. Webster "Semiconductor surface study by transverse acoustoelectric voltage using surface acoustic waves", Solid-State Electronics, 19, pp 121-123, 1976.
3. P. Das, M. E. Motamedi, H. Gilboa and R. T. Webster, "Determination of electrical surface properties of Si, GaAs and CdS using acoustic surface wave," J. Vac. Sci. Technol., 13, pp948-953, 1976.
4. H. Gilboa and P. Das, "Photoconductivity study of semiconductors using the surface acoustic wave convolver," Solid State Electronics, 22, pp55-62, 1978.
5. P. Das, M. K. Roy, R. T. Webster and K. Varahramyan, "non destructive evaluation of Si wafers using SAW," IEEE Ultrasonics Symp. Proc., Sept., pp278-283, 1979.
6. B. Davari and P. Das, "A study of the high resistivity GaAs surface and the GaAs oxide interface using two-beam transverse acoustoelectric voltage spectroscopy", J. Appl. Phys., 53, 3668-3672, 1982.
7. C.D. Thurmond "The standard Thermodynamic function of the formation of electrons and holes in Si, GaAs and GaP" J. Electrochem. Soc., 122, pp 1133-1139, 1975.
8. Kunio Kaneko, Masaki Ayabe and Maozo Watanabe "Electrical properties of n-Al_xGa_{1-x}As, Inst. Phys. Conf. Ser. No. 33a, pp 216-226, 1977.