SAW를 이용한 반절연 GaAs웨이퍼 표면 성질의 비파괴 측정

Nondestructive Evaluation of Semi-Insulating GaAs Wafer Surface Properties Using SAW

박 남 천* 박 순 규** 이 건 일***

(Nam-Chun Park, Sun-Kyu Park, Kuhn-Il Lee)

요 약

SAW와 반도체가 상호작용할 때 발생되는 횡움전전압을 이용하여 반절연 GaAs 웨이퍼 표면의 에너지 갭, 엑시톤, 얕은 준위 트랩, 깊은 준위 트랩, 어닐링 후의 형반전, EL_2 준위의 준안정 상태 그리고 Cr이 첨가된 2인치 GaAs 웨이퍼의 전자 농도 분포를 비파괴적으로 측정평가 하였다. 또한 SAW를 발진기를 이용한 반도체 표면성질의 측정을 새로이 시도하고 이의 실용성을 밝혔다.

ABSTRACT

The surface properties such as energy gap, exciton, shallow trap level, deep trap level, type inversion with annealing and metastable state of EL_2 level of SI GaAs wafers and the conductivity distribution of 2 inch Cr doped GaAs wafer were investigated using nondestructive TAV(transverse acoustoelectric voltage) technique. The TAV is generated when SAW and semiconductor interact. We also have tried newly SAW oscillator technique to investigate the surface properties of semiconductor wafers and we have shown the validity of this technique.

I. 서 론

SAW(surface acoustic wave)를 이용하여 반도체 웨이퍼 표면의 전기적 특성을 비파괴적으로 측정하는 방법은 1) 측정시 다이오드를 만들 필요가 없으며 2) 또한 저항성 접촉도 필요치 않으며 3) 측정과 동시에 캐리어의 형을 알 수 있으며 4) 측정된 웨이퍼를 그대로 소자제조에 사용할 수 있어 반도체 제조공정의 자동화가 용이하다는 등의 여러 장점을 갖는다.

SAW를 이용하여 반도체 웨이퍼의 표면성질의 비파괴 측정에 대한 연구는 1973년 Bers[11]등에 의해 시작되었으며, 이들은 반도체 표면 이동도를 SAW와 반도체 내의 자유캐리어가 상호작용 할 때 발생되는 음전전류(acoustoelectric current)와 반도체에 흡수된 SAW 파워의 비로써 측정하였다. 1976년 Das등[12]은 분리매질 컨벌버(separated medium

*영남대학교 전자공학과
**경남대학교 전자공학과 박사과정
***경북대학교 전자공학과

※이 논문은 1989년도 문교부 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

convolver) 를 이용하여 반도체 웨이퍼 표면의 전기적 성질을 비파괴적으로 측정하는 방법을 처음으로 제시하였다. 그 후 이 방법에 대한 연구는 앞에서 제시한 여러 장점 때문에 반도체 표면의 전기적 특성 측정에 이용하는 연구가 계속되어 왔다[3-12]

일반적으로 SAW를 이용한 반도체 웨이퍼 표면의 전기적 성질의 비파괴 측정은 $LiNbO_3$등의 압전결정에 발생한 SAW에 수반된 전기장과 그 결정위에 놓인 반도체 웨이퍼 표면의 자유캐리어와의 비선형적인 상호작용을 이용한 것이다. 이 상호작용 때 반도체 웨이퍼 양단에 횡음전전압(transverse acoustoelectric voltage : TAV)이 발생되고, SAW 위상이 변화되며, SAW의 파워가 감쇄된다[3X12X13]

반절연(semi-insulating ; SI) GaAs웨이퍼는 마이크로파용 FET 및 초격자(superlattice) 등의 기판으로 사용되며 활성소자의 자기분리(self isolation)가 가능하기 때문에 VLSI 제조시 집적도를 매우 높게 할 수 있다.

반절연 GaAs 웨이퍼에서 깊은 준위의 트랩 특성을 측정하기 위해서는 PICTS(photo induced current transient spectroscopy)[14], TSC(thermally stimulated spectroscopy)[15] 및 DLOS(deep level optical spectroscopy)[16]등을 사용하고 있으나 이들은 측정을 위한 테스트 구조가 필요하고, 측정에 사용된 웨이퍼에는 소자를 제조에 이용할 수 없으며, 이는 또한 주로 벌크의 트랩 특성을 측정하기 때문에 표면성질 측정에는 적합하지 못하다.

본 논문에서는 기존의 방법에 따라 TAV 측정에 의해 반절연 GaAs 웨이퍼 표면의 에너지 갭, 엑시톤, 얕은 준위 트랩, 깊은 준위 트랩, 어닐링 후의 형반전, EL_2 준위의 준안정 상태의 온도 및 광학적 특성 그리고 Cr이 첨가된 2인치 GaAs 웨이퍼의 전자 농도 분포를 비파괴적으로 측정평가하였다. 또한 SAW 발진기를 이용하여 반절연 GaAs 웨이퍼의 백색광 조도 변화에 따른 발진 주파수의 변화와 에너지 갭의 비파괴 측정을 새로이 시도하고이 기법의 실용성을 밝혔다.

Ⅱ. 이 론

1. SAW에 의한 TAV의 발생

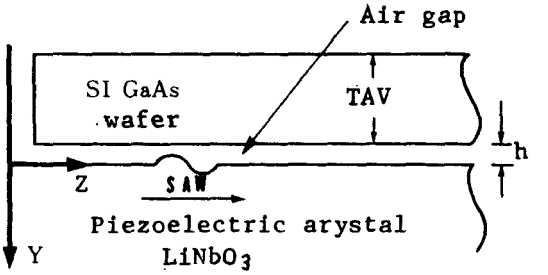


Fig. 1. Semiconductor on the SAW

그림 1과 같이 SAW 지연선 위에 반도체 웨이퍼를 놓을 경우 SAW에 수반된 전기장은 반도체 표면의 자유캐리어와 비선형적인 상호작용을 한다. 이 상호작용이 SAW가 혼란을 받지 않을 정도로 약한 결합에 의한 것으로 가정할 때 이 작용에 의해 발생되는 반도체 표면 양단의 TAV는

$$TAV=V_0\frac{n\mu_n-n\mu_p}{n\mu_n+n\mu_p}\frac{\omega R}{\omega^2R^2(1+\varepsilon_s/\varepsilon_p)^2+(r+\varepsilon_s/\varepsilon_p)^2} \quad (1)$$

$$r^2=1+\frac{\omega_{cn}\,\omega_{Dn}+\omega_{cp}\,\omega_{Dp}}{\omega^2}$$

$$R^2=\frac{\omega_{cn}\,\omega_{Dn}^2+\omega_{cp}\,\omega_{Dp}^2}{\omega_{cn}\,\omega_{Dn}+\omega_{cp}\,\omega_{Dp}}\cdot r$$

$$\omega_{cn}=\frac{q\,\mu_n\,n}{\varepsilon_s}\qquad \omega_{cp}=\frac{q\,\mu_p\,p}{\varepsilon_s}$$

$$\omega_{Dn}=\frac{u_s^2}{D_n}\qquad \omega_{Dp}=\frac{u_s^2}{Dp}$$

이다[3]. 실제적으로 h=0인 경우에서도 상호 작용에 의해 SAW가 거의 혼란을 받지 않는다. h는 SAW의 한 파장 보다 짧아야 하며, 이 범위 내에서 h가 커지면 TAV는 줄어든다. 식(1)에서 u_s는 SAW의 전파속도, μ_n 및 μ_p는 각각 전자 및 정공의 이동도이며, n 및 p는 각각 전자 및 정공의 밀도이다. ω_{cn}

전자의 전하량, D_n 및 D_p는 각각 전자 및 정공의 확산계수이며, ε_s 및 ε_p는 반도체 및 압전물질의 유전율이다. 또한 V_0는 웨이퍼의 온도, 압전결합계수, SAW 주파수 및 파워에 따라 정해지는 상수이다. TAV의 극성은 SAW가 작용하는 반도체 표면이 n형인 경우 양이며 p형인 경우 음이다. 이는 상호작용을 하는 표면을 기준으로 한 그 반대 표면의 극성이다. GaAs 웨이퍼 표면의 캐리어 농도에 따른 TAV 값을 나타내면 그림 2에서와 같으며, $n=10^6$ ~10^{12} 사이에서 TAV는 전자 농도에 선형비례한다.

SAW와 반도체가 상호작용 할 때의 등가회로는 그림 3과 같다. 여기서 R_a 및 C_a는 각각 증폭기의 입력저항 및 커패시턴스, R_b는 반도체의 벌크 저항, C_{st}는 압전물질 양단의 커패시턴스이고, J_{n1}, R_s 및 C_s는 각각 SAW와 반도체가 상호작용 할 때 발생되는 DC 성분의 비선형 전류, 공핍층의 저항 및 커패시턴스이다[9].

반도체 표면의 전기적 성질은 표면 전도도를 변화시키면서 TAV를 측정하여 고찰할 수 있다. 표면전도도는 빛의 조사, 가열 및 냉각 그리고 직류 바이어스 전압을 걸어 변화시킬 수 있다.

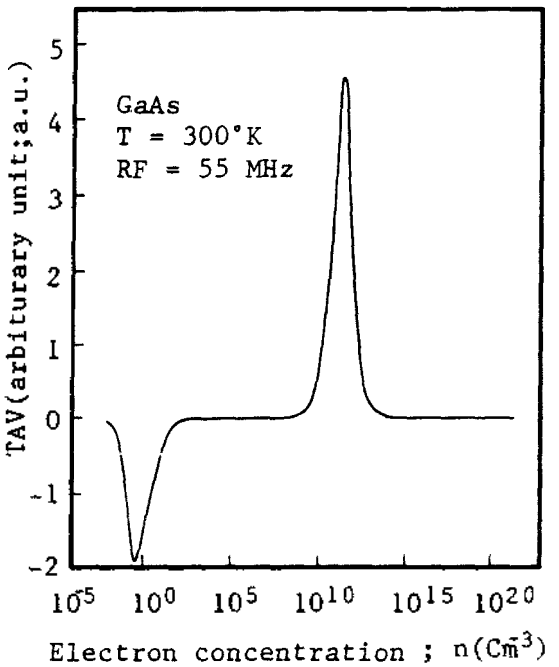


Fig. 2. TAV vs carrier concentration.

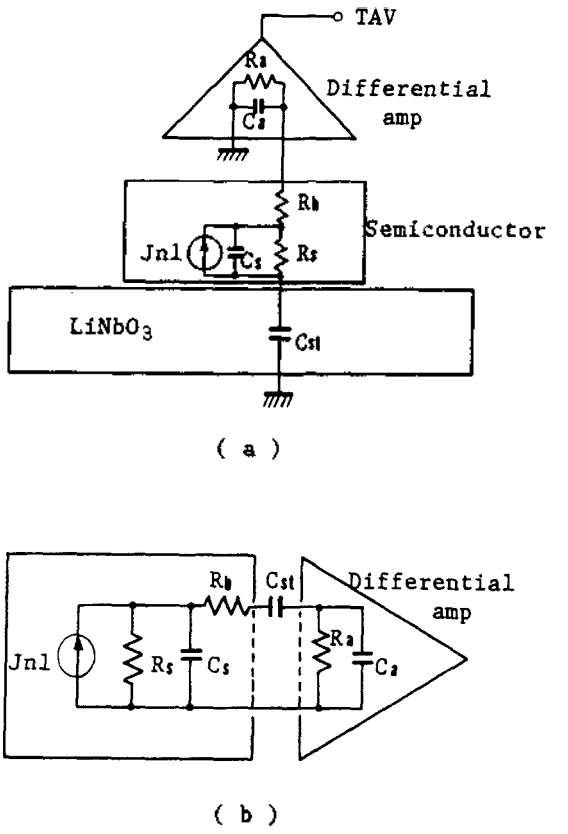


Fig. 3. (a) SAW-semiconductor interaction model and (b) it's equivalent circuit.

2. SAW 발진기의 주파수 변화

그림 1과 같이 SAW와 반도체가 상호작용하여 SAW의 파워가 감쇄되고 위상이 변화된다. 이 경우 SAW의 파 벡터 k의 변화량 Δk는 복소수이며 이의 실수부 Δk_p는

$$\Delta k_p = -k \frac{K^2}{2} \mathrm{Re}\left[\frac{1+j\,\varepsilon_0 v_s Z_A}{1-j\,\varepsilon_p v_s Z_A}\right] \quad (2)$$

이다[12][13]. 여기서

$$Z_A = \frac{Z_s + j\tanh(kh)/v_s\varepsilon_0}{1-j\,v_s\varepsilon_0 Z_s \tanh(kh)} \quad (3)$$

이며, 여기서 Z_s는 반도체 표면의 TM파 임피던스로서 n형 반도체의 경우

$$Z_s=\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_s}\frac{[j\frac{\omega^2}{\omega_{cn}^2}-\frac{\omega}{\omega_{cn}}[1+\frac{1}{\alpha}]-\frac{j}{\alpha}]}{\frac{\omega^2}{\omega_{cn}^2}+j2\frac{\omega}{\omega_{cn}}-1} \quad (4)$$

$$\alpha^2=1+\frac{\omega_{cn}\,\omega_{Dn}}{\omega^2}\;,\;-j\frac{\omega_{Dn}}{\omega} \quad (5)$$

이다. 여기서 K는 결합계수, ε_p는 압전물질의 유전율, ε_0는 자유공간의 유전율이다. 또한 h는 SAW 지연선과 반도체 웨이퍼 사이의 간격이다.

Δk_p의 변화에 의해 SAW 위상이 변화하고, 이 변화는 SAW 발진기의 자연 주파수 ω_n을 변화시킨다. ω_n은 SAW의 위상속도를 v_s라 할 때

$$L\,\omega_n/v_s+\phi=2\pi N \quad (6)$$

이다[17]. 여기서 L은 SAW 지연선의 길이이고, ϕ는 피드백 회로에 의한 위상 이동을 나타내며 N은 정수이다. 따라서 또한 반도체 표면의 전기적 성질은 표면 전도도를 변화시키면서 ω_n을 측정함으로서 고찰할 수 있다

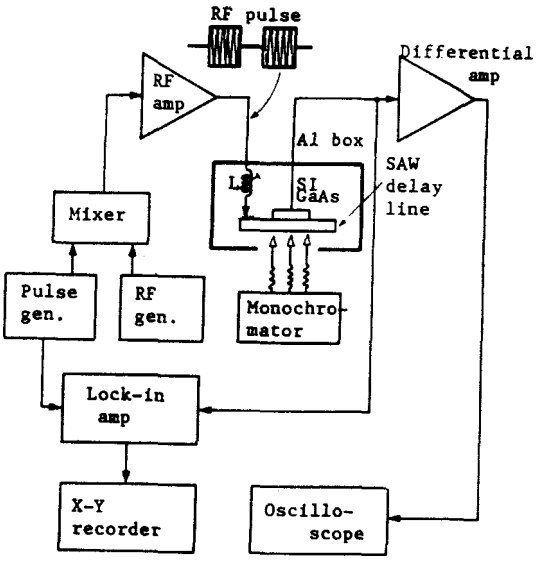
Ⅲ. 실험 결과 및 고찰

1. 실험장치

SAW 지연선을 이용하여 TAV 및 SAW 위상변화를 조사하여 온도 및 광학적 변화에 따른 반절연 GaAs 웨이퍼의 표면 전기적 특성을 측정하기 위해 그림 4 및 그림 5와 같은 실험장치를 구성하였다. 그림 4는 TAV 측정 방식의 것이며, 그림 5는 SAW 위상변화 측정 방식의 것이다. TAV 측정시에 고주파 발진기의 주파수는 55MHz였고, 펄스의 주파수 및 충격계수는 각각 300Hz 및 50%였다.

SAW 지연선은 $LiNbO_3$ Y면에 알루미늄 박막을 증착시켜 IDT(interdigital transducer)를 만들었으며, 그림 4의 (b) 및 (c)에서와 같이 IDT가 없는 부분에 알루미늄 박막을 증착시킨 것과 증착하지 않은 두 종류를 각각 만들었다. 알루미늄 박막을 증착한 SAW 지연선의 중앙에는 직경 3mm 정도의 창을 만들었다. 이 창은 SAW의 전기장과 반도체 표면의 자유 캐리어와의 상호작용을 위한 것이다. 알루미늄 박막은 SAW의 전기장을 단락시켜 창 이외에서는 전기장의 방출을 막기위한 것이며, 알루미늄 박막이 있는 SAW 지연선은 2인치 반절연 GaAs 웨이퍼의 위치에 따른 전자농도 분포를 측정하기 위한 것이다. SAW 지연선은 외부와 전기적으로 차폐하기 위하여 알루미늄 상자에 넣어 사용하였으며, IDT에는 최대전력이 전달되도록 인덕터 L을 통해 RF 펄스를 입력시켰다. IDT의 중심주파수는 55MHz였고 방사 저항성분은 50Ω이었다.

본 실험에 사용한 GaAs 반도체 웨이퍼는 HB 방법에 의해 Cr을 첨가시켜 성장시킨 결정을 (100)면으로 자른 것과 LEC 방법에 의해 불순물을 첨가시키지 않고 성장시킨 결정을 (100)면으로 자른 것이며, 비저항은 각각 $1\times10^7\Omega$cm 및 $2\times10^6\Omega$cm 였다. 또한 본 실험에 사용한 동기검파 증폭기로는 Stanford Research System SR510을, 단생광 발생기로는 Jobin Yvon HRS4를, 오실로스코프로는 Textronix 7613을 각각 사용하였다. 차동 증폭기로는 Textronicx 7A22을, 고주파 증폭기로는 TRW CA2810을, 펄스 발생기로는 HP 3312 함수 발생기를 각각 이용하였다. 또한 RF 발생기로는 Meguro



(a)

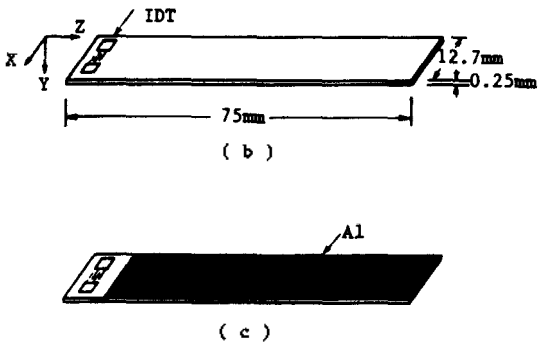


Fig. 4. (a) Experimental setup for TAV measurement, (b) SAW delay line and (c) SAW delay line covered with aluminium.

MSG2570 신호 발생기를, 믹서로는 Mini Circuits SRA-1H double valanced mixer를 각각 사용하였으며, 주파수 카운터로는 Takeda Riken TR5823 만능 계수기를 사용하였다. 그리고 $LiNbO_3$ 웨이퍼는 Crystal Technology의 것이었다.

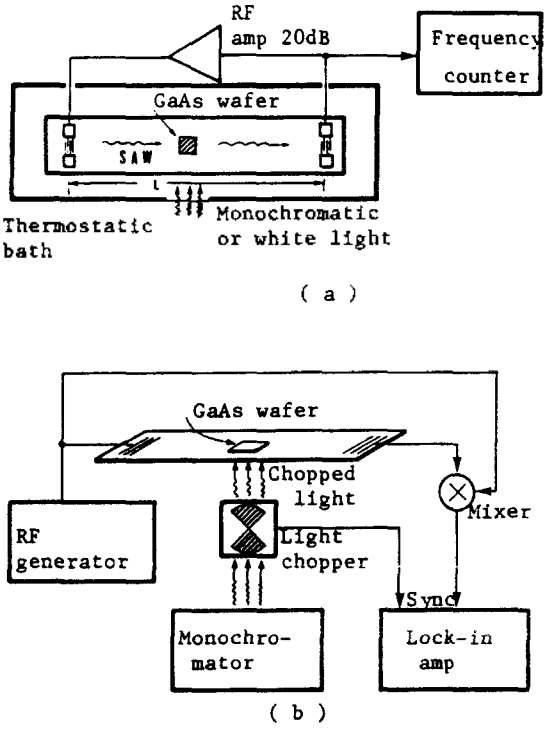


Fig. 5. (a) SAW oscillator and (b) GaAs energy gap measurement system using SAW phase shift.

2. 실험 결과

Cr이 첨가된 GaAs 웨이퍼에 대해 온도 및 단색광 에너지 변화에 따른 TVA를 측정하여 그림 6과 같은 결과를 얻었다. 단색광의 에너지 값이 에너지 갭 보다 클 때 TAV 값은 증가하였다. 이는 단색광 에너지에 의해 전자 정공 쌍이 발생되며 전자의 이동도가 전자의 그것보다 크기 때문이다.

Cr이 첨가된 GaAs 웨이퍼의 온도변화에 따른 에너지 갭을 측정하여 그림 7과 같은 결과를 얻었다. 일반적으로 온도변화에 따른 반도체의 에너지 갭은 낮은 온도에서는 온도의 제곱에 반비례하나 온도가 증가할 수록 선형적으로 감소 한다[16]. 그림 7은 83°K 이상의 온도에서 실험한 것의 결과로서 300°K 근처에서의 온도변화에 따른 에너지 갭 변화율은 -5.5×10^{-4}eV / °K이었다. 200°K 이하에서 극대점, 95°K 이하에서 극소점이 나타났으며 그 크기는 온도가 감소함에 따라 증가하였다. 특히 극소점 크기는 87°K 이하에서는 급격히 증가하였다. 이러한 현상은 온도가 낮아짐에 따라 반도체 내의 엑시톤 농도가 증가하고 SAW에 수반된 전기장에 의해 엑시톤은 자유전자와 정공으로 분리되며, 전자의 이동도가 정공의 그것보다 크기 때문에 극대점이 나타난다[5]. 극소점의 크기가 온도가 낮아짐에 따라 증가되는 것은 온도가 낮아짐에 따라 엑시톤의 구속 에너지가 커지기 때문으로 생각된다.

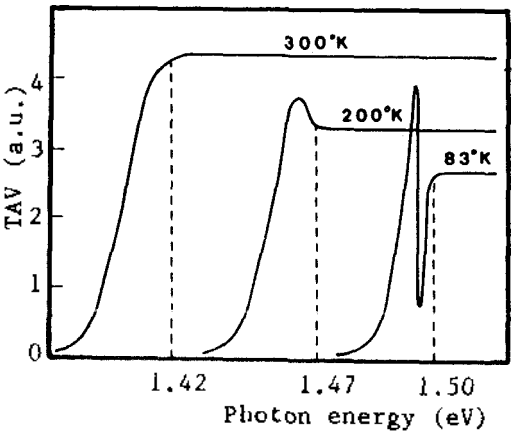


Fig. 6. TAV vs photon energy of Cr doped SI GaAs wafer at different temperature.

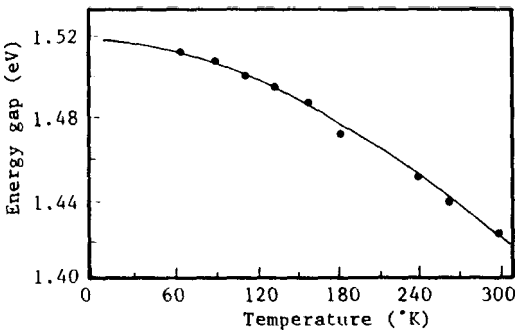


Fig. 7. Energy gap vs temperature.

Cr이 첨가된 GaAs 웨이퍼 표면에 약 200Å 정도의 자연 산화층 있는 샘플과 이 샘플을 $3H_2SO_4$: $1H_2O_2$: $10H_2O$ 용액에 1분간 에칭한 샘플에 대해 단색광 에너지 변화에 따른 TAV의 크기를 측정하여 그림 8과 같은 결과를 얻었다. 산화층이 있는 샘플은 1.415 eV에서 극대점이 나타났으며 이는 가전자대에서 0.1V 높은 곳에 표면트랩이 존재함을 알 수 있다. 이 극대점은 단색광 에너지가 높은 값에서 낮은 값으로 변화될 경우가 그 반대의 경우보다 크게 나타났으며, 에너지갭 근처에서의 단색광 에너지 변화에 따른 TAV의 기울기는 작았다. 이는 에너지갭 보다 큰 단색광 에너지에 의해 발생된 전자-정공 쌍에의해 인터페이스 트랩이 많이 채워져 있기 때문이다[19] 또한 이때 극대점의 에너지준위는 그 반대의 경우보다 0.03eV 작게 나타났다. 이

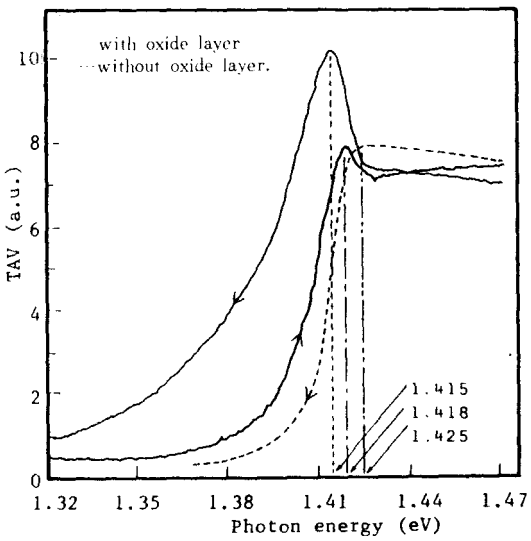


Fig. 8. TAV vs photon energy of Cr doped SI GaAs wafer with and without 200Å native oxide layer.

두 샘플의 PL 측정 결과는 그림 9와 같았으며, 이는 그림 8의 TAV 측정 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

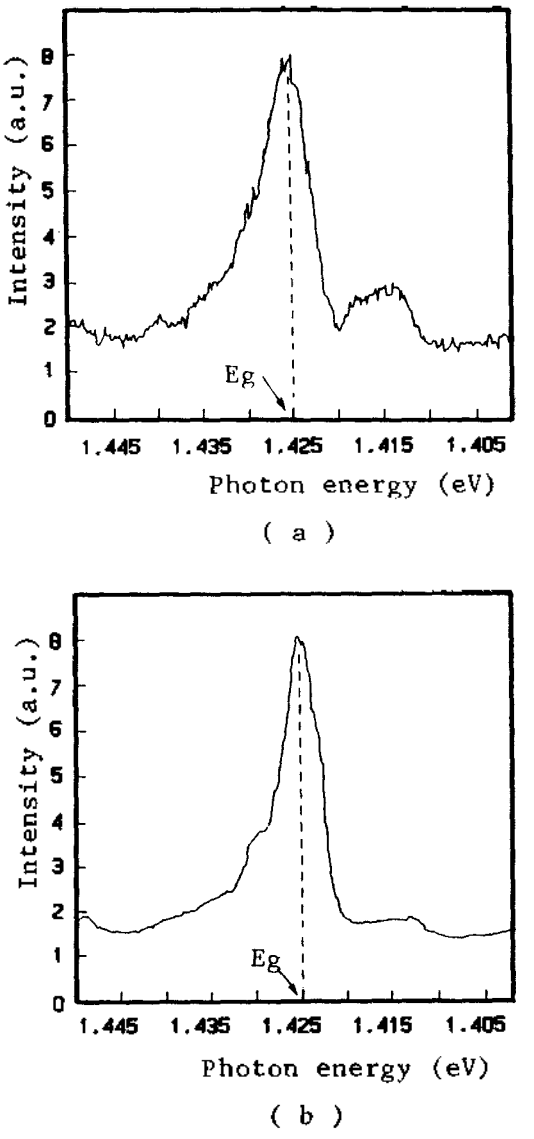


Fig. 9.. (a) PL spectra of Cr doped SI GaAs wafer with 200Å native oxide layer and (b) etched in $3H_2SO_4$: $1H_2O_2$: $10H_2O$ for one min.

반절연 GaAs 기판 위에 수 μm의 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 에피텍셜 층을 갖는 샘플에 대하여 단색광 에너지 변화에 따른 TAV를 측정한 결과는 그림 10과 같았다. TAV가 급변하는 에너지값 1.42eV 및 1.82eV는 각각 기판 및 에피텍셜 층의 직접 밴드에 해당하

는 에너지 갭이다. 몰비 x에 따른 $Al_xGa_{1-x}As$의 에너지 값은 $x<0.45$일 때 $Eg(direct)=1.435+1.255x+0.26\ x^2$ eV이다[20]. 이 에너지갭의 측정으로 $Al_xGa_{1-x}As$의 몰비를 쉽게 알 수 있다. 종래에는 이 몰비를 측정하기 위해 Auger 분석기나 전계발광법 등을 이용하였으나 이 방법들은 고가이거나 $p-n$ 접합을 제작해야 하는 어려움이 따른다. 또한 이 방법은 Hg_xCd_{1-x} Te 등의 다른 화합물 반도체의 몰비 측정에도 사용될 수 있다.

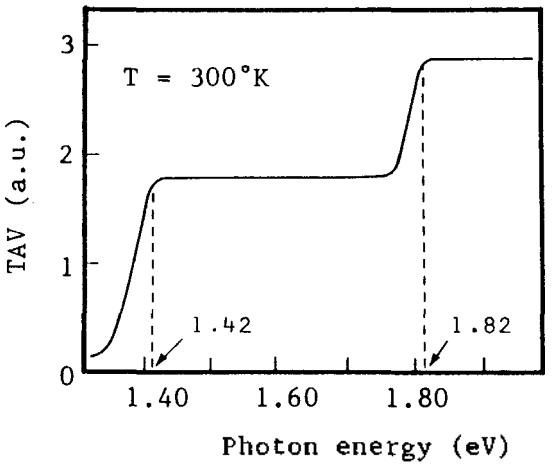


Fig. 10. TAV vs photon energy of $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ epitaxial layer on the semi-insulating GaAs wafer.

HB 방법에 의해 Cr을 첨가시킨 SI GaAs 웨이퍼와 이 샘플을 800℃의 N_2 분위기에서 30분간 어닐링한 샘플 및 LEC 방법에 의해 불순물을 첨가하지 않은 SI GaAs 웨이퍼의 깊은 트랩준위를 측정하기 위해 온도 변화에 따른 TAV를 측정하여 그림 11과 같은 결과를 얻었다. 이 샘플들을 저온에서 백색광을 조사하여 깊은 준위들을 캐리어로 충분히 채운 후 1℃/min로 온도를 증가시키면서 측정하였다. 이 시법은 TSC 시법과 유사하다. 열자극에 의해 발생되는 캐리어 농도는 페르미 준위와 트랩준위가 교차할 때 최대가 되며, 이 때 TAV는 최대 또는 최소값을 나타내며 준 평형(quasiequilibrium) 상태에서 트랩 에너지와 전도도의 극대점을 나타내는 온도 T_m과의 관계는

$$E_T=23\ K\ T_m \qquad (7)$$

와 같다[9][15]. 여기서 E_T는 전도도에서 측정된 트랩 에너지이고 K는 볼쯔만 상수이며, 23은 트랩의 포획 단면적 및 전도도의 상태유효밀도에 따라 달라지는 근사값이다. 어닐링한 Cr 첨가된 GaAs 웨이퍼 샘플은 어닐링 하기 전의 370°K에서의 극대점이 없어졌으며 300°K에서는 p형으로 형 반전되었다. 이러한 형반전에 대한 연구는 Zucca[21] 및 Hughes[22]등의 여러 사람에 의해 연구되었으며, Hughes는 이러한 형반전을 EL_2 준위의 외부확산 때문이라고 하였다. 이러한 결과로 볼 때 두 샘플에서 0.73eV 및 0.74 eV는 모두 EL_2 준위인 것으로 생각된다. 표 1에 식(7)에 의해 측정된 에너지값을 나타내었다.

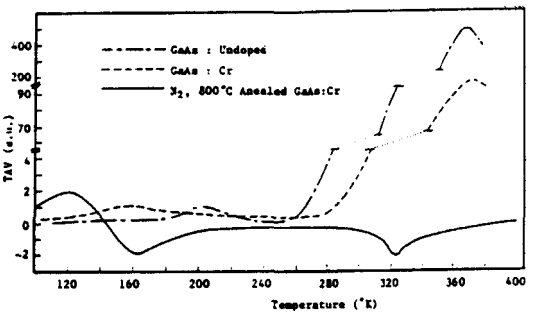


Fig. 11. Deep level spectroscopy of GaAs wafers.

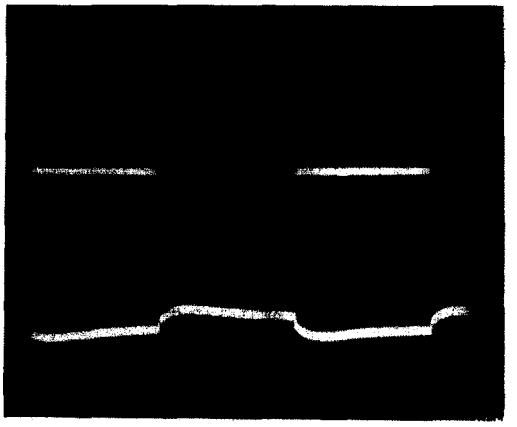
300°K에서 Cr이 첨가된 GaAs 웨이퍼 및 불순물이 첨가되지 않은 GaAs 웨이퍼의 TAV 파형은 각각 그림 12(a) 및 그림 12(b)와 같았다. RF 펄스가 있을 때 불순물이 첨가되지 않은 GaAs 웨이퍼의 TAV 및 이의 감소하는 기울기가 Cr이 첨가된 웨이퍼의 그것들 보다 컸었다. 이는 불순물이 첨가되지 않은 GaAs 웨이퍼의 벌크저항이 Cr 도우핑된 GaAs 웨이퍼의 그것보다 작기 때문이다. 300°K에서 Cr이 첨가된 GaAs 웨이퍼의 어닐링 후의 파형은 그림 12(c)와 같았으며 RF 펄스가 있을 때 TAV 값이 음의 값이기 때문에 이 웨이퍼의 표면 전도도는 p형으로 반전되었음을 알 수 있다.

Cr이 첨가된 GaAs 웨이퍼 EL_2 준위의 준안정 상태(metastasble state)의 온도 및 광학적 특성을 조사하기 위해 120°K 및 140°K에서 3분 가량 10,000lux 정도의 강한 백색광을 조사하고, 그 전후에서의 시간에 따른 TAV 값의 변화를 조사하여 그림

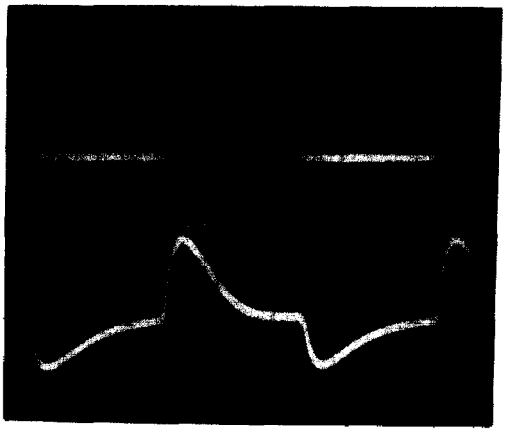
13과 같은 결과를 얻었다. 빛이 조사되는 동안 TAV는 암흑상태의 경우에서보다 매우 크게 증가하였으며, 빛을 껐을 때 TAV는 감소되며 일시적으로 음의 값을 갖는데 이 현상은 약 1초 동안 지속되었다.

Sample	Trap energy(eV)	Nature of trap
GaAs : Cr	0.32	electron
	0.74	electron
GaAs : Undoped	0.39	electron
	0.73	electron
GaAs : Cr	0.26	electron
800℃ 30min	0.32	hole
Annealed	0.64	hole

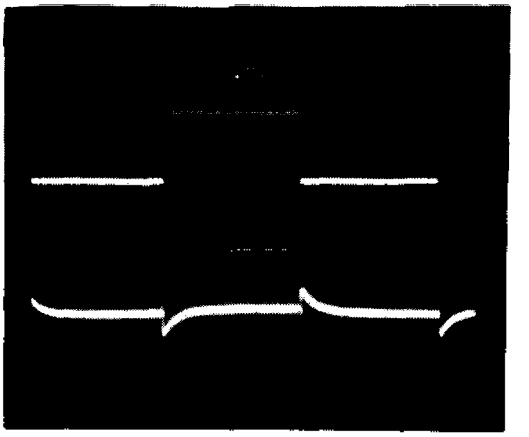
Table 1. Trap energy of GaAs wafer.



(a)



(b)



(c)

Fig. 12. (a) TAV waveform of Cr doped SI GaAs, (b) undoped SI GaAs and (c) Cr doped SI GaAs annealed at 800℃ for 30min in N_2 atmosphere.

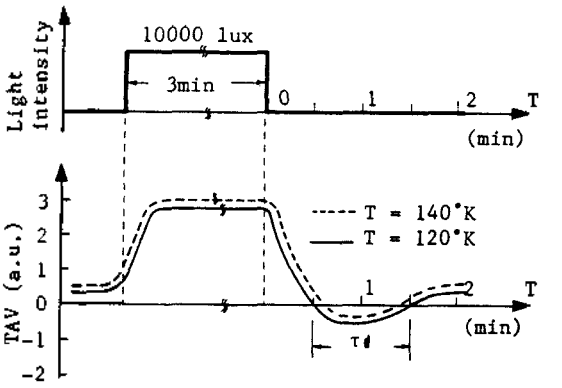
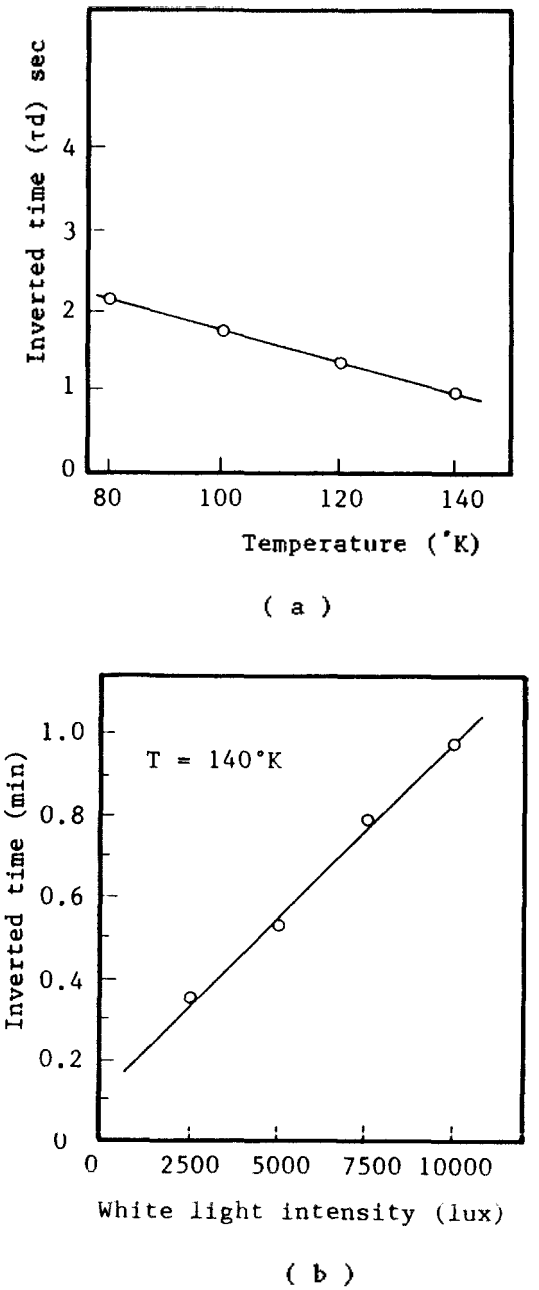


Fig. 13. TAV waveform before and after 10,000 lux white light is shined vs time at 140°K and 120°K

TAV가 음의 값을 갖는다는 것은 샘플의 표면이 p형으로 반전되었음을 뜻한다. 이 반전되어 있는 시간은 그림 14(a)와 같이 온도가 감소함에 따라 증가하였다. 140°K에서 조도에 따른 TAV 값의 변화를 조사하여 그림 14(b)와 같은 결과를 얻었다. 이 때 조도는 10,000lux 및 8,000lux였다. 이 경우 조도가 높아지면 형반전된 시간 및 TAV 값은 모두 커졌다. 이러한 현상은 저온에서 강한 빛이 조사되면 많은 양의 EL_2 준위 전자가 정상상태에서 준 안정상

태로 여기 되었다가 빛이 꺼지면 이 준위의 전자가 정상상태의 EL_2 준위로 복귀하는 역 여기율이 온도가 낮아질수록 낮아지며[23], 이 때문에 정공농도가 전자농도보다 커져서 형반전이 일어나는 것으로 생각된다.



Fgi. 14. TAV inverted time vs (a) temperature and (b) light intensity.

직경 2인치의 크롬이 도우핑된 GaAs 웨이퍼의 위치 x에 따른 TAV를 측정하여 그림 15와 같은 결과를 얻었으며 웨이퍼 중앙부분의 TAV 값이 가장자리 보다 높은 경향을 나타내었다. 이는 웨이퍼 위치에 따라 이동도가 일정하다고 가정할 때 웨이퍼의 중앙부분의 전자농도가 가장자리의 그것보다 높다고 할 수 있다.

본 TAV를 이용한 모든 측정은 기존의 C-V(capacitance-voltage) 기법이나 DLTS(deep level transient spectroscopy)[24], PICTS 및 TSC 등의 기법과는 달리 웨이퍼 표면에 알루미늄 증착이나 다이오드 구조 및 저항성 접촉을 만들지 않고 이루어지기 때문에 이들 구조의 제작에 의해 반도체의 표면 구조가 변형되지 않아서 웨이퍼 표면 본연의 성질을 측정할 수 있었고, 측정에 사용된 웨이퍼를 그대로 소자 제조에 이용할 수 있어서 경제적, 시간적인 면에서도 유리하다.

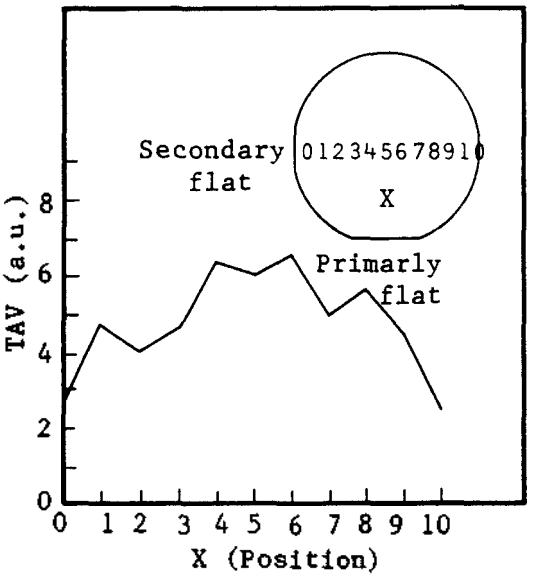


Fig. 15. TAV vs position x of 2 inch Cr doped GaAs wafer.

그림 3(a)와 같은 SAW 발진기를 이용하여 IID 방법에 의해 Cr을 첨가시킨 GaAs 웨이퍼와 LEC 방법에 의해 불순물을 첨가시키지 않은 GaAs 웨이퍼의 백색광 조도에 따른 주파수 변화를 측정하여 그림 16과 같은 결과를 얻었다. 빛이 조사되었을 때 발진

주파수는 두 샘플 모두 감소되었으며 같은 조도하에서 전도도가 높은 Undoped GaAs 웨이퍼에 의한 발진주파수 변화가 컸다. 조도가 증가함에 따라 발진주파수 변화량은 증가하였다. 이 주파수 변화량은 주로 빛의 조사에 의해 반도체 표면의 전도도 변화에 의한 것이다. 빛의 조사에 의해 $LiNbO_3$의 온도 상승에 의한 것을 생각할 수는 있으나 온도 상승에 의한 주파수 변화 속도는 GaAs 웨이퍼 표면의 전도도 변화에 의한 그것에 비해 매우 느리기 때문에 측정을 빨리 할 경우 온도 상승에 의한 주파수 변화는 무시할 수 있다.

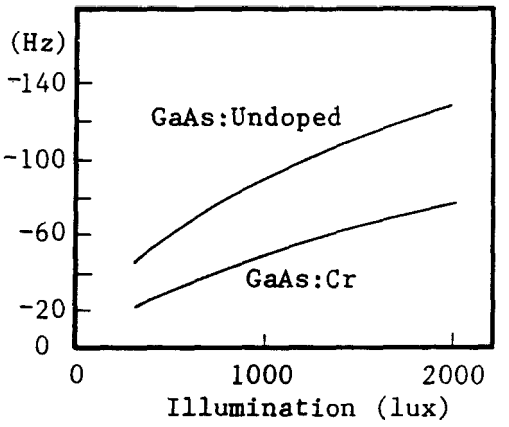


Fig. 16. Frequency change vs white light intensity.

SAW 지연선 위에 반도체가 놓일 때 변화되는 SAW의 위상변화를 SAW 발진기를 이용하지 않고 측정하기 위해 그림 5(b)와 같은 회로를 구성하였다. 반도체 샘플에 빛이 조사되기 전후의 SAW 위상의 변화량이 상이하기 때문에 믹서 출력의 DC 성분은 변화된다. 이 변화량은 매우 미소하여 동기검파 증폭기를 이용하여 측정하였다. LEC 방법에 의해 불순물을 첨가시키지 않은 GaAs 웨이퍼의 에너지 갭을 이와 같은 방법으로 측정하여 그림 17과 같은 결과를 얻었으며, 이 결과는 TAV로 측정한 결과와 유사하였다. 이 샘플의 에너지 갭을 SAW 발진기로 측정하였을 때 단색광 에너지가 에너지 갭 보다 클 때와 에너지 갭 보다 충분히 작을 때 SAW 발진기의 주파수 변화량은 10Hz였다. 이 값은 SAW 발진기를 항온시켜 발진기의 주파수가 충분히 안정되어 기본 주파수의 안정도가 ±2Hz 이내 일 때 주파수 변화분의 평균치이다. 그러나 앞의 실험 결과로 미루어 볼 때 단색광의 포톤수가 많아지면 주파수 변화량도 클 것으로 생각된다.

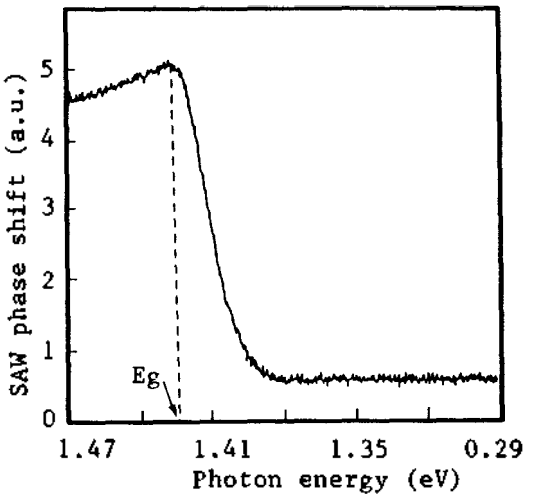


Fig. 17. SAW phase shift vs photon energy.

SAW 발진기를 이용한 방법 또한 비파괴적이기 때문에 이에 따른 TAV 기법의 장점을 그대로 유지할 뿐 아니라 TAV 기법보다 감도가 매우 높아서 동기검파 증폭기 없이 반도체 표면의 전기적 성질의 측정이 가능하다. 또한 TAV 기법이 그림 3의 등가회로에서와 같이 커패시터 결합을 하고 있어서 TAV의 과도응답이 증폭기의 입력 임피던스 등 주변회로의 영향을 받는 반면 SAW 발진기를 이용한 기법은 주파수 과동응답이 반도체 표면의 전도도 과도응답에 의해서만 결정되기 때문에 주파수 계수기의 영향을 거의 받지 않아서 SAW 발진기를 이용한 DLTS와 같은 과도응답을 이용한 반도체의 전기적 특성의 측정에 특히 유리하다. 그러나 이 기법은 캐리어의 형을 바로 알 수 없는 것이 단점이다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 기존의 방법에 따라 TAV 측정에 의해 반절연 GaAs 웨이퍼 표면의 에너지 갭, 엑시톤, 얕은 준위 트랩, 깊은 준위 트랩, 어닐링 후의 형반전과 EL_2 준위의 준안정 상태의 온도 및 광학적

특성 그리고 Cr이 첨가된 2인치 GaAs 웨이퍼의 전자 농도 분포를 비파괴적으로 측정 평가하였다. 또한 SAW 발진기를 이용하여 반절연 GaAs 웨이퍼의 백색광조도 변화에 따른 발진 주파수의 변화와 에너지 갭의 비파괴적 측정을 새로이 시도하였다.

이 기법들은 측정시 알루미늄 증착이나 다이오드 제작 또는 저항성 접촉이 필요치 않아서 신속 정확히 측정할 수 있었으며 측정된 웨이퍼가 그대로 소자 제조에 사용할 수 있어서 반도체 제조 공정의 자동화에 용이하다.

SAW 발진기의 주파수 변화를 이용한 반도체 표면의 전기적 특성의 측정기법은 TAV 기법보다 매우 고감도이기 때문에 동기검파 증폭기를 사용하지 않고서도 측정이 가능하고 SAW 발진기를 이용한 DLTS등 반도체의 여러 전기적 특성 측정에 사용 가능함을 밝혔다. 이들의 측정 방법들은 앞으로 보다 연구되어야 할 과제이다.

參 考 文 獻

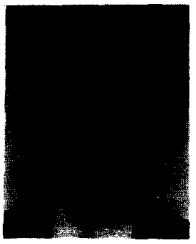
1. A. Bers, J.H. Cafarella and B.E. Burke, "Surface mobility measurement using acoustic surface waves", Appl. Phys. Lett., Vol. 22, pp. 399~401, 1973.
2. P. Das, M.E. Motamedi and R.T. Webster, "Semiconductor surface study by transverse acoustoelectirc voltage using surface acoustic waves", Solid-State Electronics, Vol. 19, pp. 121~123, 1976.
3. P. Das, M.K. Roy, R.T. Webster and K. Varahramyan, "Nondestructive evaluation of Si wafers using SAW", IEEE Ultrasonics Symp. Proc., pp. 278~283, Sept. 1979.
4. H. Gilboa and P. Das, "Determination of capture cross section and surface-acoustic-wave convolver", IEEE Trans. on Electron devices, ED-27, pp. 461~466, 1980.
5. B. Davari and P. Das, "Quenching and enhancement of the exciton and subband gap absorption in GaAs: Cr using two beam transverse acoustoelectric voltage spectroscopy", Appl. Phys. Lett. Vol. 40, pp. 807~809, 1982.
6. B. Davari and P. Das, "Semiconductor Suface characterization using transverse acoustoelectric voltage versus voltage measurements", J. Appl. Phys., Vol. 54, pp. 415~420, 1983.
7. B. Davari and M. Tabib-Azar, K.I. Lee, P. Das, E. Mendel and D.A. Miler, "Nondestructive evaluation of generation lifetime and surface generation velocity and effect of ecthing, polishing and annealing on 5" Si wafer surface properties", IEEE IEDM, pp. 678~681, Nov. 1983.
8. M. Tabib-Azar, Nam-Chun Park and P. Das, "Transient type-inversion of semi-insulating GaAs under strong illumination at 140°K detected by non-destructive surface acoustic wave technique", Solid-State Electronics, Vol. 30, No. 7, pp. 705~711, 1987.
9. M. Tabib-Azar, "Deep-level spectroscopy of Cr-doped GaAs using nondestructive acousto-electric voltage measurement", Solid-State Electronics, Vol. 32, No. 9, pp. 749~754, 1989.
10. M. Tabib-Azar and F. Hajjar, "Deep-level transient spectroscopy of $Al_xGa_{1-x}As$ / GaAs using nondestructive acousto-electric voltage measurement", IEEE Trans. on E.D., Vol. 36, No. 6, pp. 1189~1195, Jun. 1989.
11. F. Palma, "A new theortical model for transverse acoustoelectric voltage measurements on Si / SiO_2 structure", J. Appl. Phys., Vol. 66, No. 1, pp. 292~297, July 1989.
12. M. Tabib-Azar, M.N. Abedin, Agostino Abbate and P. Das, "Characterization of semiconductor materials and devices using acoustoelectric voltage measurement", J. Vac. Sci. Technol. B., Vol. 9, No. 1, pp. 95~110, Jan / Feb. 1991.
13. Kenneth M. Lakin and H. J. Shaw, "Surface wave delay line amplifiers", IEEE Trans. on M.T., Vol. MTT-17, No. 11, pp. 912~919, NOV. 1969.
14. Beer, "Semiconductors and Semimetals", Vol. 19, Academic Precess, Inc., Chapter 2, 1983.
15. A.G. Milnes, "Deep impurities in semiconductors", John Willey & Sons, Chapter 9, 1973.
16. A. Chantre, G. Vincent and D. Bois, "Deep level optical spectroscopy in GaAs", Physical Review B, Vol. 23, No. 10, May 1981.
17. Collins and Masotti, "Computer aided design of surface acoustic wave device", Elsevier, pp. 199~218, 1976.
18. Jacques, I. Pankove, "Optical process in semiconductors", Dover, Chapter 2, 1971.
19. M. Tabib-Azar and P. Das, "Nondestructive TAV spectroscopy to detect impurity levels in semiconductor by scanning the energy gap with biasing electric field", IEEE Ultrasonics Symposium proc.,

IEEE Pub. No. 85CH2209-5, pp. 1016~1921, 1985
20. Kunio Kaneko, Masaaki Ayabe and Naozo Watanabe, "Electrical properties of n-$Al_xGa_{1-x}As$", Inst. Phys. conf. Ser., No. 33a, pp. 216~226, 1977.
21. R. Zucca, "Effects of heat treament on Semi-insulating GaAs", Inst. Phys. Conf. Ser. No. 33b, pp. 228~235, 1977.
22. B. Hughes and C. Li, "Thermal conversion of undoped GaAs and the outdiffusion of the main electron trap EL_2", Inst. Phys. Conf. Ser. No.65, pp. 57~63, 1982.
23. G. Mitonneau and A. Mircea, "Auger de-excitation of a metastable state in GaAs", Solid State Communications. Vol. 30, pp. 157~162, 1979.
24. D.V. Lang, "Deep-level transient spectroscopy : A new method to characterize traps in semiconductors", J. Appl. Phys., 45, pp. 3023~3032, 1974.

▲박 남 천 1954년 4월 3일생

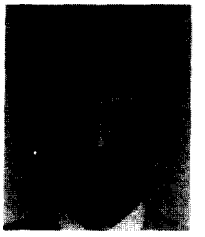
1978년 : 경북대학교 전자공학과(학사)
1980년 : 경북대학교 대학원 전자공학과(석사)
1987년 : 경북대학교 대학원 전자공학과(박사)
1985년~1986년 : 미국 RPI 연구원
1988년~현재 : 경남대학교 전자공학과 부교수

▲이 건 일 1943년 2월 16일생



1965년 : 경북대학교 물리학과(학사)
1970년 : 경북대학교 대학원 물리학과(석사)
1984년 : 부산대학교 대학원 물리학과(박사)
1982년~1983년 : 미국 RPI 연구교수
1984년~1986년 : 경북대학교 전자기술연구소 소장
1986년~1988년 : 경북대학교 공대 전자공학과 학과장
1987년~1989년 : 경북대학교 시청각 교육관장
1990년~1990년 : 경북대학교 교무처장
1990년~현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과장
1984년~현재 : 경북대학교 전자공학과 교수

▲박 순 규 1958년 1월 25일생



1980년 : 광운공과대학 무선통신학과(학사)
1990년 : 경남대학교 대학원 전자공학과(석사)
1991년~현재 : 경남대학교 대학원 전자공학과 박사과정