

고체의 광전하전압 측정

Photocharge voltage measurements of solids

박남천

경남대학교 전기전자공학부

Nam-Chun Park

School of Electric and Electronic Engineering, Kyungnam Univ.

Abstract

The photocharge voltage technique is based on the measurement of a small electrical potential difference which appears on any solid body when subject to illumination by a modulated laser light beam. This voltage is proportional to the induced change in the surface electrical charge and is nondestructively measured on various materials such as conductors, semiconductors and dielectrics.

In this paper, photocharge voltage on conductors, semiconductors and dielectrics are measured nondestructively using a capacitive coupling. The test structures and the validity of this system to characterize the surface properties for solid materials are shown.

I 서론

모든 고체의 표면에 광이 입사되면 표면에 작은 포텐셜변화가 나타나며 이전압을 광전하전압(photocharge voltage)이라 칭한다.[1] 이 전압은 광에 의해 표면에 유도된 표면전하에 비례하며 측정대상의 종류 및 표면상태에 따라 그 크기가 상이하다.[2]

이 논문에서는 초핑된 레이저에 의하여 발생되는 고체의 광전하전압을 이용하여 고체의 표면성질을 용량성결합에 의해 비파괴적으로 측정하는 새로운구조를 제시하고, 이를 이용하여 도체, 반도체 및 유전체의 광전하전압을 측정하고 그 실용성을 밝혔다.

II 고체의 광전하 효과(photocharge effect in solids)

도체, 유전체, 반도체, 페라이트 및 생체 등 모든 고체의 표면에 광이 입사되면 표면에 작은 포텐셜변화가 나타난다. 이 전압은 광에 의해 표면에 유도된 표면전하에 비례하며 측정대상의 종류

및 표면상태에 따라 그 크기가 상이하다. 이 전압의 크기는 반도체의 경우 수 수 mV 및 도체 및 유전체의 경우 수 μ V 정도이다. 이 전압의 발생기구(generation mechanism)는 고체의 전도도에 따라 상이하며 도체의 경우, 샘플의 표면에 전자 파가 입사될 경우 이 파의 감쇠 즉 포피효과에 의해 설명할 수 있다.[3] 유전체 샘플의 경우 광이 측정대상의 샘플에 입사될 때 이 물질의 유전율 기울기에 비례하는 힘이 이 유전체 내부 분자에 가해지고 그 결과로 유전체 내부의 전하들이 재배치(redistribution)되어 샘플 양단에 전압이 발생된다.[2]

반도체의 경우 주로 광기전력 효과(photovoltaic effect) 및 광전도도 증가(photoconductivity)에 의해 전압이 발생된다. 그러나 이 경우 광의 모든 에너지에 의해서 전압이 발생되며 이는 반도체표면의 자유캐리어가 재배치(redistribution)에 의한 것이다.[4]

광의 에너지가 반도체의 에너지갭 보다 큰 광에 의한 전압 V_L 의 간략화 된 식은

$$V_L = \frac{q}{C_{SC} + C_{SS}} \cdot \frac{\frac{\Phi_L}{aL}}{S_p + \frac{L_p}{\tau_B} e^{-q\psi_s/KT}}$$

--- (1)

이다. 여기서 ψ_s 는 표면 포텐셜, τ_B 는 벌크 트랩 소수캐리어의 수명, L_p 는 평균 확산거리, S_p 는 표면 재결합속도, C_{SS} 는 표면상태 커패시턴스, C_{SC} 는 공간 전하 커패시턴스, a 는 흡수계수 및 Φ_L 은 포톤 플럭스(photon flux) 밀도이다.[5]

III 실험결과 및 고찰

1 실험장치

레이저를 이용하여 고체의 광전하전압을 측정하기 위한 블록도를 그림 1에 나타내었다.

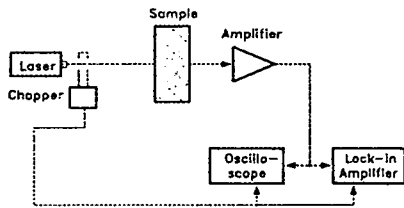


Fig.1 Experimental setup for photocharge voltage measurement on solids.

이 실험에서 사용한 레이저는 약 8[mW] He-Ne레이저를 이용하였으며 이 레이저는 기계적인 광초퍼에 의해서 초핑된 후 측정대상의 샘플에 조사된다. 이 경우 기계적인 광초퍼 대신 음향-광 변조기(acousto-optic modulator)를 사용할 수 있다.

샘플의 출력전압은 고입력 임피던스 증폭기에 의해 증폭 된 후 동기검파 증폭기에 입력되어 그 크기가 측정된다. 동기검파 증폭기의 동기신호는 광초퍼에서 얻는다. 샘플은 알루미늄상자에 넣어 외부방해신호의 영향이 감소되도록한다.

측정시 레이저와 동시에 초핑되지 않은 바이어스 단색광 또는 전압을 샘플에 입력하여 반도체 웨이퍼의 트랩특성 등을 측정할 수 있다

반도체웨이퍼의 전압을 비파괴적으로 측정하기 위한 용량성결합 구조를 그림2에 나타내었다. 초핑된 레이저는 접지된 투명전극을 통해서 샘플에 입사된다. 출력전압은 샘플의 뒷면 위에 놓인 알루미늄 포일에서 얻는다.유전체샘플의 측정을 위

해서 샘플과 알루미늄포일 사이에 광전하전압의 크기가 작고 레이저가 차단되는 흑색폴리머 웨이퍼를 삽입하여 측정하였다. 또한 도체샘플의 측정을 위해서 샘플과 투명전극 사이에 투명폴리머 웨이퍼를 삽입하여 도체샘플의 전압을 측정하였다.

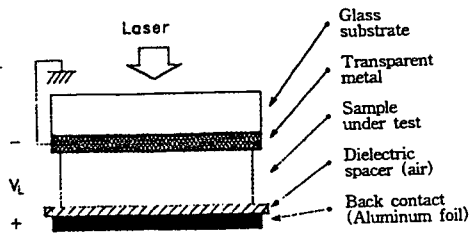
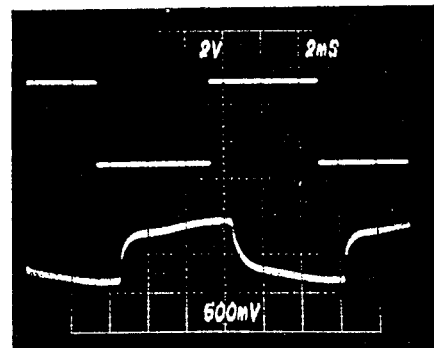


Fig. 2 Capacitive contact for photocharge voltage measurements for semiconductor wafers.

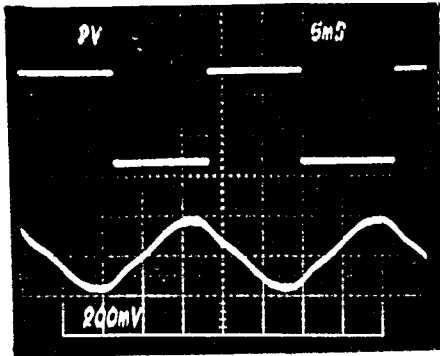
2 실험결과 및 고찰

Cr doped semi-insulating GaAs 웨이퍼 및 $LiNbO_3$ 의 파형을 그림3 (a) 및 (b)에 각각 나타내었다. 그림에서 펄스파형은 광초퍼의 동기신호이며 이 전압이 높을 때(high) 레이저가 샘플에 조사된다. n형 반도체에 대한 이 전압의 극성은 음(-)이다.

그림(b)의 $LiNbO_3$ 파형은 50[W] 할로젠램프 광을 렌즈로 지름 1cm로 집속하여 샘플에 조사하여 얻어진 전압이다.



(a)



(b)

Fig.3 Photocharge voltage waveforms:Cr doped semi-insulating GaAs(a) and LiNbO₃(b).

undoped GaAs웨이퍼,이 웨이퍼를 800°C,30분간 어닐링한 웨이퍼 및 Zn doped GaAs 웨이퍼의 바이어스 단색광에너지 변화에 따른 전압의 크기를 그림4에 나타내었다. 1.42 eV에서의 이 전압의 크기의 감소는 바이어스 단색광 에너지에 의해 반도체 내에서 전자-정공 쌍이 발생되며, 소수캐리어(정공)가 반도체웨이퍼 표면에서 재결합 및 축적되어 레이저가 조사되기 전의 표면 포텐셜 감소에 의한 것이다. Undoped semi-insulating GaAs 웨이퍼의 바이어스 단색광의 에너지가 에너지 갭 이하일 때의 두 스펙트라는 상이하였다. 어닐링 한 샘플의 경우 이 전압 크기의 변화가 거의 없었으나 어닐링 하지않은 샘플의 전압 크기는 크게 변화되었다. 이는 이 어닐링 하지않은 샘플에 깊은준위가 존재함을 나타낸다.

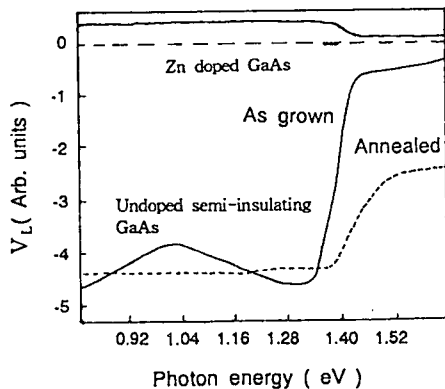
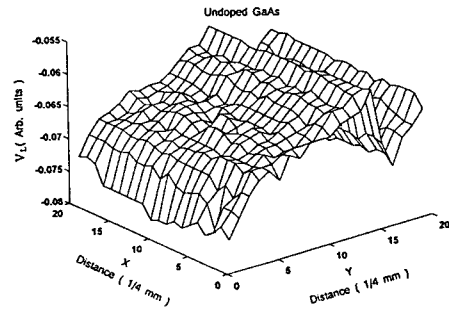
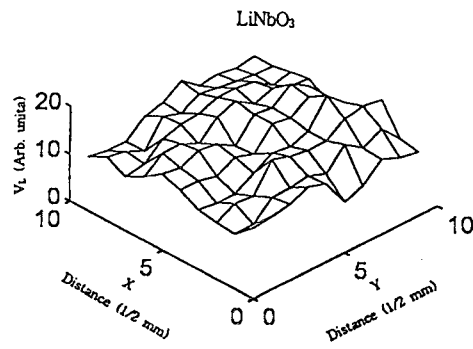


Fig.4 Photocharge voltage vs energy of the bias energy for GaAs wafers.

레이저를 이용하여 5[mm] x 5[mm] 면적의 undoped GaAs 및 LiNbO₃웨이퍼의 광전하전압스캔(scan)의 결과를 그림5에 나타내었다. undoped GaAs 웨이퍼의 경우 이 전압은 위치 이동에 따라 선형적인 변화가 나타났으며 인접한 위치의 전압 값들은 변화가 작았다. LiNbO₃웨이퍼의 경우 인접한 전압위치의 전압변화가 크게 나타났다. 이는 샘플 격자구조의 불균일에 의한 것으로 생각된다.



(a)



(b)

Fig.5 Two dimensional photocharge voltage scan for undoped GaAs and LiNbO₃ wafers.

측정된 도체, 반도체 및 유전체의 광전하전압의 크기를 표1에 나타내었다.

표1 측정된 고체의 광전하전압 크기

Material	Photo-charge voltage (μV)	Size (mm)	Chopping frequency (Hz)
Aluminum	30	10x10x0.05	1000
Iron	50	10x10x0.1	1000
polymer(floppy disk exterior, 5.25 inches)	1.4	5x5x0.2	45
LiNbO ₃	11	5x5x1	45
paper (milk packing)	1.8	5x5x0.2	45
Undoped semi-insulating GaAs	1200	10x10x0.4	80
Cr-doped semi-insulating GaAs	1400	10x10x0.4	80
Boron doped Si (5 μ cm)	1500	10x10x0.4	80

고체의 경우 광 초퍼의 초핑 주파수에 따라 이 전압의 크기가 크게 변화되었으며 주파수가 증가함에 따라 그 크기가 증가하였다. 이에 대한 보다 이론적인 연구가 필요하다고 생각된다.

IV 결론

이 논문에서는 레이저에 의하여 발생하는 고체의 광전하전압을 이용하여 고체의 표면 성질을 용량성결합에 의해 비파괴적으로 측정하는 새로운 측정 구조를 제시하고, 이를 이용하여 도체, 반도체 및 유전체의 광전하전압을 측정하고 그 실용성을 밝혔다. 이 기법을 광케이블 및 원자간력 현미경(atomic force microscope)을 결합하면 약 10nm의 높은 공간분해능의 고체표면 특성 측정이 가능하다.

참고문헌

- [1] V. I. Pustovoit, M.Borissov and O.Ivanov Phys. Lett. A 135 59 (1989)
- [2] V. I. Pustovoit, M.Borissov and O.Ivanov

- Solid State Communications 72 613 (1989)
- [3] L. D. Landau and E.M. Lifshitz *Electrodynamics of Continuum*, Nauka, Moscow, 1982, 361.
- [4] P.Das, V.Mihailov, O.Ivanov, V.Gueorgiev, S.Andreev and V.I.Pustovoit, IEEE Electron Dev. Lett. 13 291 (1992)
- [5] Nam-Chun Park, A. Abbate and P. Das Compound Semiconductors 1995 (145), IOP Publishing, 1996 593-598.