

전자현미경에 의한 확산 깊이 측정

허창우*

*목원대학교

The Measurement of Junction Depth by Scanning Electron Microscopy

Chang-wu Hur*

*Mokwon University

E-mail : chang@effff.mokwon.ac.kr

요 약

본 논문은 주사형 전자 현미경을 사용하여 간단한 형태의 반도체 소자뿐만 아니라 집적회로의 내부 P-N 접합 층의 깊이를 소자를 파괴하지 않고 패키지 상태 그대로 측정 할 수 있는 방법이다. 전자 현미경에서 주사되는 전자 빔의 에너지에다 반도체 내에 여기 되는 전류를 측정하여 이 입계치에서 전자 빔의 침투 범위를 산출하여 접합의 깊이를 측정한다. 실제 시판되고 있는 소자를 사용하여 SEM 의 전자 주사빔 에너지를 변화 시키면서 외부의 전류 변화를 측정하였다. 소자 내부의 전자와 정공 생성율은 접합에서 더 많이 발생되므로 이를 고려하여 확산 깊이를 측정하였다. 이렇게 측정 한 결과와 이후에 소자를 lapping 하여 파괴 측정한 측정치와 비교 한 결과 일치함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to determinate and to confirm p-n junction depth with nondestructive method by using electron beam. By measuring the critical short circuit current on the p-n junction which induced by electron beam and calculating generation range, the diffusion depth can be obtained. It can be seen that values destructively measured by constant angle lapping and nondestructively by this study almost concur. As this result, it is purposed that diffusion depth of p-n junction can be easily measured by non-destruction. And this nondestructive method can be recommended highly to the industrial analysis.

키워드

주사형 전자 현미경, 비파괴측정, 접합의 깊이, 전자/정공 생성율

1. 서 론

비파괴 측정에 대한 관심은 현재 많은 산업분야에서 관심을 가지고 있다. 반도체 산업에서도 집적회로의 소자에 대한 비파괴 측정은 상당한 관심을 기울이고 있다. 이러한 소자의 비파괴 측정에 대한 연구를 통해서 소자의 결함이나 특성 등을 조기에 발견 한다면 이후에 일어날 수 있는 시스템에서의 심각한 문제를 해결 할 수 있으므로 상당한 손실을 막을 수 있다. 집적회로의 내부 소자에서 발생 되는 결함에 대한 비파괴 검사방법으로는 방사성 투과 검사, 초음파 탐사 검사, 자분 탐상 검사, LASER 비파괴 검사 및 액체 침투 검사 등이 있으며 가장 많이 사용 되는 방법으로는 X 선 또는 γ

선 등을 이용해 물질 내에 방사선을 투과해 이를 필름에 노출시켜 분석함으로써 결함에 의한 유무, 크기 및 분포 등을 알아낸다. 반도체 산업에서는 실제의 기능을 확인하는 방법으로 성능 검사를 하고 있으나 물리적인 결함에 대해서는 마찬가지로 방사선 검사를 통한 비파괴 측정을 해 왔다. 그 후 1970년 K Kanaya 와 Okagama 등에 의해 고형재료 속의 전자의 침투 및 에너지 법칙이 발표되고 1972년 B.F. Bress 에 의해서 실리콘 planar p-n 접합 내의 전자 빔에 의한 전류이론이 발표됨으로 하여 새로운 전기를 열었으며 실제 이에 대한 응용은 Harry C Gatos 에 의해 발표 되었다. 최근에는 2002년 Tsuyoshi TSUJIOKA 등을 비롯해 이에 대한 수많은 논문이 발표되고 있다. 본 논문에서는

이러한 이론 및 측정법을 바탕으로 npn Tr.의 에미터, 베이스 확산 깊이를 전자 현미경에 의해 측정하고 파괴에 의한 방법으로 확인하여 이론을 증명하였다.

II. 이론 및 측정법

전자빔을 초점 맞추어 반도체에 비추게 되면 빛 에너지가 반도체에서 변환되어 여러 종류의 방사 신호 즉 이차전자, Backed scattered electrons, Auger electrons, X-ray 및 cathodoluminescence를 발생시킨다. 본 논문에서 사용한 SEM으로 전자 주사시 에너지를 증가시켜 소자의 내부에 전자와 홀을 구형의 여기 범위도 생성시켜 전류를 유도하고 그 전류를 측정함으로써 확산깊이를 측정하는 방법이다. 즉 전자빔은 주사시에 물체 내부에 침투해서 전자와 정공의 생성을 이루는데 반도체인 경우에는 p형이나 n형 또는 전성반도체 등 결합을 이루지 않는 중성상태일 때의 생성율과 p-n접합을 이루었을 때의 전자와 정공의 생성률이 차이가 나게 되므로 그 차에 의한 전류를 고려하여 확산 깊이를 측정하는 방법이다. (그림 1) 과 같이 SEM을 반도체소자 표면에 비추면 반도체소자 내부에서 반경 R을 갖는 영역에서 전자와 정공이 형성된다. 전자 빔을 (그림 1) 과 같이 p-n 접합 경계로 이동하게 되면 공핍층내에 전자가 침투하여 자신이 갖고 있던 에너지를 주변 원자들에 주어서 그 들 원자내부의 전자와 정공을 생성시킨다. 여기서 중성영역과 공간전하영역을 비교하면, 공간전하영역에서 2배이상의 전자-정공이 생성되어 많은 전류를 유발시킨다. 주사시킨 전자-빔의 전력을 계속해서 증가시키면 반경 R도 커지게 되며 공간전하영역이 반경 R 내부에서 더욱더 많은 부분을 차지하게 된다. 그에 따라 외부에서 측정되는 전류의 크기도 증가한다. 전자-빔 출력 전력이 증가하여 어느 임계치에 도달하게 되면 p-n 접합 경계(x=0)에서 반경 R에 의해 교차되는 공간전하영역이 r1=r2=R 로서 같아지게 되므로 전류의 침투 깊이가 없어지게 된다. 여기서 최대 전자-빔의 반경 R은 다음 (1)식과 같이 주어진다.

$$R \cong 1/\rho \times 2.76 \times 10^{-11} \times AZ^{8/9} \times E_0^{5/3} \dots\dots(1)$$

여기서,
 ρ: 밀도, A:원자질량, Z:원자번호, E₀:에너지이다.

또한, 중심확산 깊이는 다음식과 같이 여기범위(generation range)와 관련된다.

$$Z_d/R = 1/(1+Y) \dots\dots (2)$$

$$Y = 0.187Z^{3/2} \dots\dots(3)$$

여기서, Si의 밀도(ρ) = 2.33 g/cm³
 원자질량(A) = 28

원자번호(Z) = 14

그러므로 Z_d = 0.48(4)

이며 여기범위는 구형이다.

정리하면 중심확산깊이는 최대여기범위의 0.48 배에 해당됨을 알 수 있다.

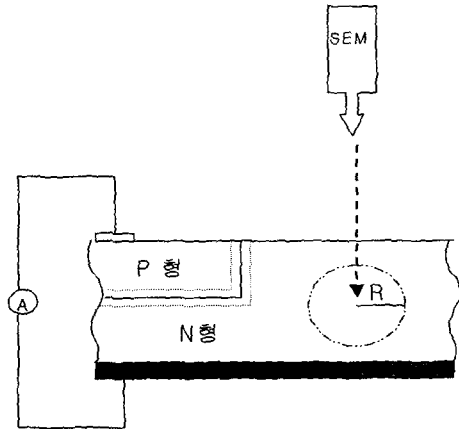


그림1. 전자빔 주사 및 캐리어 생성 영역

III. 실험 및 결과

앞 절에서 설명한 바와 같이 p-n 접합에서 전자빔에 의해 여기 되는 방사에너지에 의해 접합면에서 전자 및 정공의 이동이 발생하는데 이 측정치 전류를 폐회로 전류 또는 EBIC(Electron Beam Induced Current) 라고 한다. 이 전류는 전자 빔 에너지 즉, 주사되는 빔의 전류에 의해 달라진다. (그림1)에서와 같이 전자 빔을 n형에서 p형으로 주사하면, EBIC는 p-n 접합의 근접된 부분에서부터 달라지는데 거리의 함수로 나타난다. 다음 (그림2)는 본 논문에서 사용한 전자현미경이다.

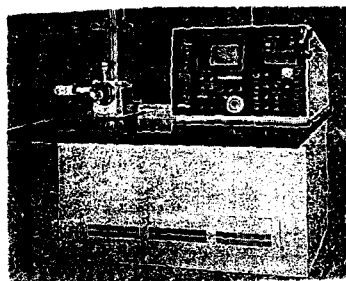


그림2. 전자현미경 (SUPER III A-ISI)

본 논문에서는 전자 현미경 내부에 측정 할 시

료를 고정 시킨 후 전자 빔으로 부더의 각도가 수직이 될 수 있도록 0 position 에 맞춘다. 여기에 시료로는 측정의 편의성 및 일반성을 고려하여 일반 상용 소신포용 Tr(2N2222)를 사용하였다. 이 소자들은 planar 확산된 접합층을 사용하였다.

먼저 시료들의 각 단자 즉, 이미터, 베이스 그리고 컬렉터 단자에 외부에서 Tr의 내부 EBIC 전류를 측정하기 위하여 lead 선을 연결한다. SEM의 holder위에 준비된 시료를 고정시키고 SEM의 측정실 문을 닫고 진공을 뺀 후, SEM의 전자 빔의 초점을 맞추고 mode를 spot에 놓는다. 다음으로 X-position knob를 이동시켜 좌에서 우로 scanning 하면서 c전류계 및 chart record에 기록되는 변화를 측정하였다. 이 chart record에 나타나는 곡선이 앞에서 설명한 EBIC 곡선이며 임계치에 해당되는 에너지를 읽어 식 (1)에서 그 깊이를 계산한다. 또한 이 실험의 결과를 확인하기 위하여 시료를 파피(sectioning, Bevel lapping, polishing, chemical 처리 등)해서 확산 깊이를 측정하였다.

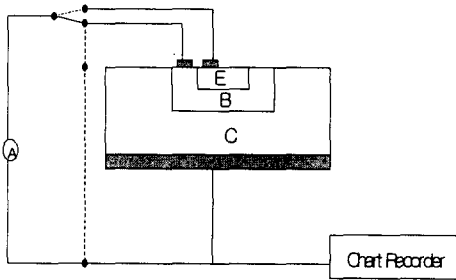


그림3. EBIC 측정 장치

측정한 결과 그림 4와 같이 (P1)의 낮은 전력으로 전자빔을 비춘 결과 EBIC는 p-n 접합의 경계면에서 피크치를 보였다. 전자 빔의 전력의 세기를 증가시키에 따라 피크치의 크기가 줄어들었으며, 전자-빔 출력 전력이 더 증가하여 EBIC의 피크치가 없어지는 점까지 도달하게 되면 p-n 접합 경계에서 반경 R에 의해 교차되는 공간전하영역이 $r_1=r_2=R$ 로서 같아지게 되므로 전류의 침투 깊이가 없어졌다.

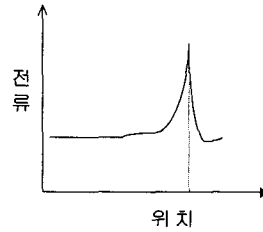
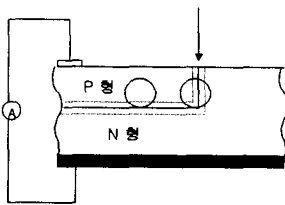


그림4. (P1) 낮은 전력 전자빔의 EBIC

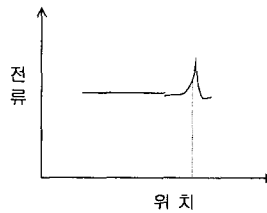
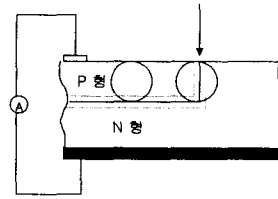


그림5. (P2) 중간 전력 전자빔의 EBIC

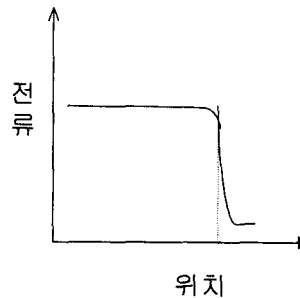
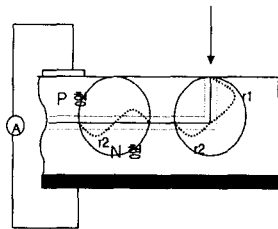


그림6. (P3) 높은 전력 전자빔의 EBIC ($P_1 < P_2 < P_3$)

이상의 측정값을 가지고 식에 대입하여 구한 결과 다음 표 1 과 같은 결과를 구할 수 있었다.

표 1. Tr(2N2222) 의 측정 결과

접합면	입계에너지 (KeV)	최대여기범위 (μm)	깊이 (μm)
베이스/콜렉터	30	9.27	4.45
에미터/베이스	26	7.25	3.46

V. 결 론

본 논문에서는 전자 현미경을 이용하여 반도체 소자내부의 확산된 접합층의 두께를 측정하는 방법이다. 반도체소자로는 측정의 편의성 및 일반성을 고려하여 일반 상용 소신호용 Tr(2N2222)를 사용하였다. 이 소자들은 planar 확산된 접합층을 사용하였다.

전자 현미경에서 주사되는 전자 빔의 에너지에 다 반도체 내에 여기 되는 전류를 측정하여 이 입계치에서 전자 빔의 침투 범위를 산출하여 접합의 깊이를 측정한다. SEM 의 전자 주사빔 에너지를 변화 시키면서 외부의 전류 변화를 측정한 결과 소자 내부의 전자와 정공 생성율은 접합에서 더 많이 발생되었고 이를 고려하여 확산 깊이를 측정하였다. 이렇게 측정된 결과와 이후에 소자를 lapping 하여 파괴 측정된 측정치와 비교 한 결과 일치함을 알 수 있었다.

이러한 이론 및 측정을 바탕으로 npn Tr.의 에미터 및 베이스 확산 깊이를 소자를 펑키지 상태 그대로 비파괴에 의한 방법으로 확인 할 수 있음을 증명하였다.

참고문헌

- [1] S Pandelov, W Seifert, M Kittler and J Reif, Analysis of local electrical properties of grain boundaries in Si by electron-beam-induced-current techniques, J. Phys.: Condens. Matter 14 (2002) 13161-13168
- [2] 이규정,류광렬,허창우, "산화물 반도체 박막 가스센서 어레이의 제조 및 수율 개선", 한국해양정보통신학회 논문지 vol.6, No.2, pp. 315-322, 2002
- [3] M. Bosman, M. Sitarz, A. Z. Sikorski, and V. J. Keast, Measurements of composition and electronic structure in an operating light-emitting diode using analytical electron microscopy. Appl. Phys. Lett. 84(8) 1371 (23 Feb 2004)
- [4] 윤재석,허창우, "게이트 산화막에 따른 n-MOSFET 의 금속 플라즈마 피해", 한국해양정보통신학회 논문지 vol.3, No.2, pp. 471-475, 1999.