

MOS 및 MNS 다이오드의 임피던스 특성

이 상훈* 김 종관 성 영근

고려대학교

THE IMPEDANCE CHARACTERISTIC OF MOS AND MNS DIODES

Sang-Hoon LEE Jong-Koan KIM Young-Kwon SuNG
KOREA UNIVERSITY

1. 서 론

MIS(Metal-Insulator-Semiconductor) 구조는 반도체 집적회로 중의 가장 기본적인고도 전기적동작에 가장 능동적인 영역이기때문에 많은 사람들의 연구대상이 되어 왔다. 가령 반도체 표면에서의 캐리어의 거동을 이해하는 방면으로 미소신호의 등가회로로서 그 물리적 성질을 기술하고 그것으로 실험결과를 설명하는 방법은 대단히 유용하다. 그러나 그러한 방법은 수학적으로 너무나 복잡하여 물리적인 의미를 파악하기 어렵다. 또한 간혹 활용되는 분포정수형 미소신호회로를 통한 방법도 실험결과를 비교적 정확하게 설명하나 변잡한 수치 계산이 수반되고 물리적인 성질을 직관적으로 이해하기 곤란하다.

따라서 우리는 각종표면 콘덕턴스에 대한 특성들이 반도체 표면에서의 소수 캐리어의 거동에 관련됨을 전제하여 그 임피던스특성을 측정하고 그 결과및 이론에 의거하여 반도체표면에서의 등가회로를 구성하여 그곳에서의 캐리어의 거동을 물리적으로 명확히 하려고 하였다.

그 대상으로는 저온화공정의 일환으로 대두된 플라즈마 CVD법에 의하여 형성시킨 SiN 막과 침 Passivation막으로 아직도 크게 활용되고 있는 SiO₂ 막을 택하였다. 또한 임피던스측정을 위해서 그 측정장치를 제작하였다.

2. 시료제작및 측정

2-1 시료의 제작

시료의 제작에 사용된 기판은 P형 및 N형, (100) 비저항이 0.2-0.6 Ωcm인 실리콘웨이퍼를표준 세척법으로 세척한후 1000°C 온도에서 500Å 두께의 건식산화막을 성장시켰고 또한 pecvd장치를 이용하여 기판온도 300°C SiH₄/N₂유량비 1/30, RF 전력 200W, Chamber 압력 0.7 torr의 퇴적조건에서 500Å 정도의 SiN 막을 퇴적시켰다. 전극은 진공증착장치로 면적이 7.9×10⁻³cm²인 원형 Al전극을 입혀 MOS및 MNS 다이오드를 시료로 삼았다.

2-2 측정

그림-1은 MOS및MNS다이오드의 임피던스측정을 위한 Block Diagram이다. 여기서 임피던스의 측정에는 사넨브리지와 변성기브리지가 있으나 사넨브리지의 경우 용량등의 대지임피던스영향등이 크게 나타나 정밀한 측정은 곤란하다. 따라서 이와같은 경우 대지임피던스가 제외되고 변성기로부터 임피던스비를 알수있는 등의 장점을 지닌 변성기브리지가 적합하다. 따라서 현재 고정밀의 고임피던스측정용브리지로서는 변성기브리지가 잘 이용되어 특히 반도체에서의 캐패시턴스나 콘덕턴스등의 측정에는 변성기브리지가 잘 이용되고 있다. 그러나 변성기브리지는 측정주파수범위(100kHz-1MHz)가 주로 트랜스의 주파수특성에 의해 정해지므로 광대역에서 고임피던스를 정밀하게 측정하는것은 곤란하며 특히 저주파 (0.1Hz-20kHz)에서는 트랜스를 사용하는것자체가 곤란하다. 또한 광범위한 임피던스를 측정하는 경우에는 트랜스의 램을 절환시켜 변성비를 바꿀필요도 있어 그러한 경우 조정이 곤란해진다. 따라서 저주파범위에서의 정밀한 측정을 위해서는 트랜스 대신에 연산증폭기를 사용하여 초저주파까지도 측정이능한 임피던스브리지를 제작하였다. 임피던스의 온도의존성과 광조사 효과를 살펴보기위해, 냉각및 가열이 가능한 Thermo Box 내에 시료를 장치하였고, 공원으로는 W램프를 사용하여 윌터에 의해 적외영역의 파장을 제거하여 시료의 온도상승을 억제토록 하였다.

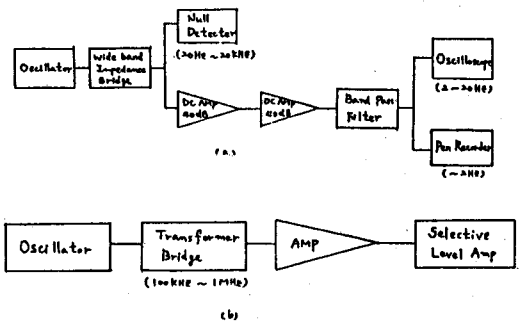


그림-1. MOS 및 MNS 다이오드의 임피던스 측정 Block Diagram

3. 실험결과 및 검토

3-1 임피던스의 온도의존성

MOS 다이오드의 주파수에 따른 C_m-V 및 G_m-V 특성의 온도의존성은 그림-2 와 그림-3에 나타내었고 강한 반전상태에 있는 MOS 다이오드의 C_m 및 G_m 의 온도의존성은 그림-4와 그림-5에 제시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 C_m 은 온도상승과 더불어 급격히 증가하여 산화막용량에 접근해가며 G_m 은 어느 온도에서 최대치를 취하며 그 최대치를 취하는 온도도 주파수 가 높아짐에 따라 고온측으로 전이됨을 알 수 있다.

그림-5에서 G_m 이 고온측에서는 고르지 않으나 이것은 산화막 자신 혹은 산화막 표면의 누설 콘택턴스의 영향이 나타난 것으로 생각된다.

이와같은 경우에 MOS 다이오드의 dc I-V 특성을 측정 하면 그림-6에 나타낸 바와 같이 ohm의 법칙이 성립하고 전류 drift 가 있음을 비추어 볼 때 산화막 내부 또는 그 표면에서의 이온전도 효과가 나타난 것으로 생각된다.

이러한 경우 이온전도는 다음식으로 표현된다.

$$\sigma = q\mu n = \frac{q^2 n}{kT} D_0 \exp\left(-\frac{\phi_b}{kT}\right) \quad (1)$$

단, μ 는 mobility, n 은 vacancy 수, ϕ_b 는 potential height 이다.

한편 G_m 의 온도의존성의 최대치는 다음과 같이 생각 된다.

그림-7의 등가회로에 의해 $\omega C_s R_s \gg 1$ 로 되는 강한반전 상태에서는 C_{ox} 를 포함한 MOS 다이오드의 어드미턴스 Y_m 은

$$Y_m = \frac{\omega^2 R_s C_{ox}^2 + j\omega [C_{ox} + \omega^2 C_{ox} C_p R_s^2 (C_0 + C_{ox})]}{1 + \omega^2 R_s^2 (C_0 + C_{ox})} = G_m + jB_m \quad (2)$$

가 된다.

여기서 R_s 는 계면 또는 공핍층내에서의 캐리어 생성 및 재결합에 관계하는 저항과 공핍층 내의 소수 캐리어의 흐름에 관계하는 저항 및 quasi 중성영역에서의 소수 캐리어 확산에 관계하는 저항등이 생략되나 뒷식에서 알 수 있는 바와같이 R_s 의 변화에 대한 콘덕턴스 G_m 의 변화를 생각하면

$$\omega^2 R_s^2 (C_0 + C_{ox}) \approx 1 \quad (3)$$

로 되게하는 R_s 값에서 최대치는 취하게 된다. 또 주파수 f 가 높아지면 G_m 이 최대도 되는 경우 R_s 가 감소한다 따라서 온도가 올라감에 따라 R_s 가 감소되어 G_m 이 이온도에서 최대치를 취하게 되리라고 본다.

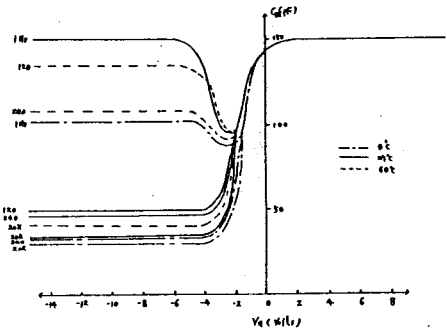


그림-2. 주파수를 파라미터로한 $C_m - V$ 의 온도의존성

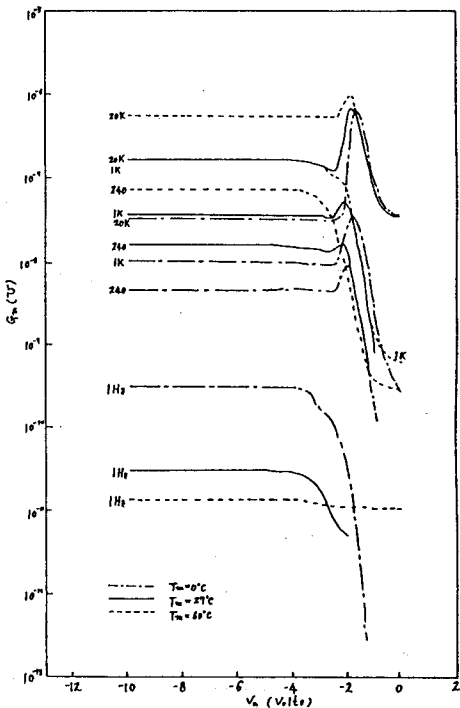


그림-3. 주파수를 파라미터로한 $G_m - V$ 의 온도의존성

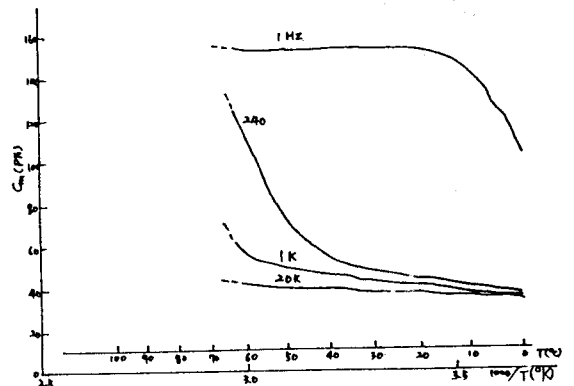


그림-4. 주파수를 파라미터로한 C_m 의 온도의존성

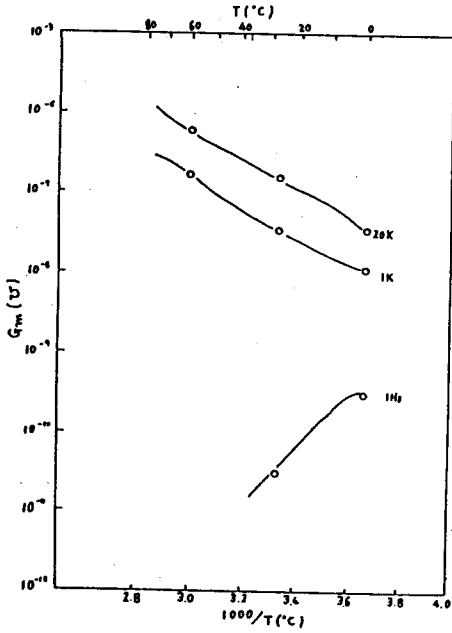


그림-5. 주파수를 파라미터로한 G_m 의 온도 의존성

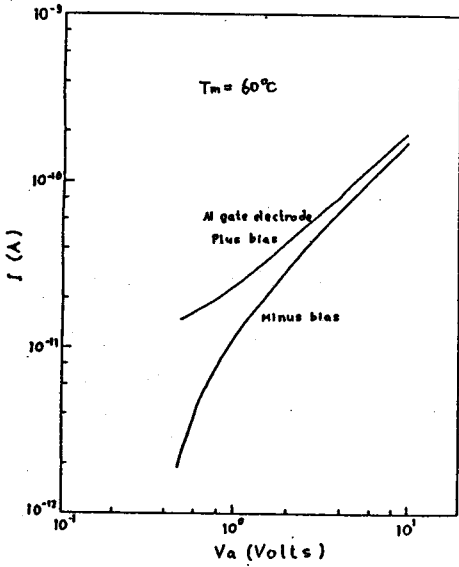


그림-6. MOS 다이오드의 I - V 측정곡선

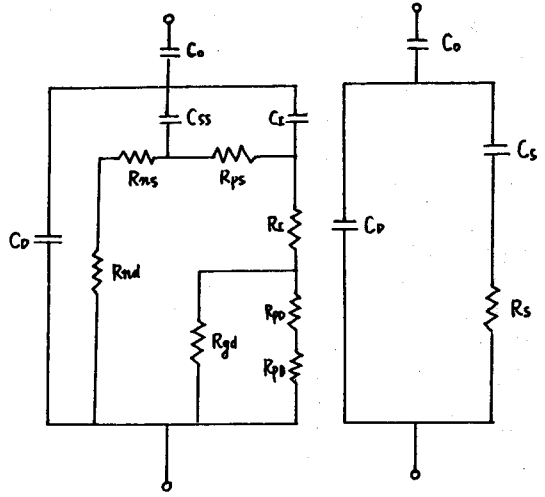


그림-7. MOS 다이오드의 등가회로

3-2 임피던스의 광조사 효과

MOS다이오드에 광조사를 한 경우 C_m 및 G_m 의 광강도 의존성을 그림-8, 9에 제시했다. 그림에서 알수있는 바와같이 광강도를 증가시킨 경우는 온도를 상승시킨 경우와 마찬가지로 C_m 은 급격히 증가하나 G_m 은 어느 광강도에서 최대값이 나타남을 보여준다. 이 같은 현상은 계면준위에 기인한 peak라고 생각되며 이것은 빛을 차단하는 상태에서 측정된 경우에는 수Hz 이하의 저주파에서만 관측된다. 이상의 실험결과와 함께 추가적인 실험결과로부터의 새로운 등가회로의 제시 및 고찰에 대한 보다 상세한 내용은 당일 발표할 예정이다.

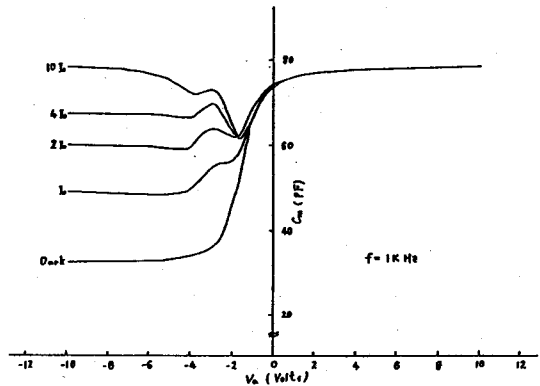
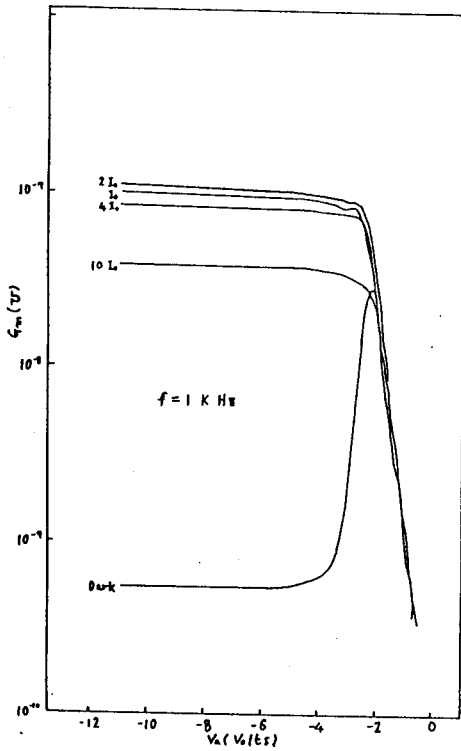


그림-8. 광조사시 C_m 의 광강도 의존성

참 고 문 헌



- (1) E. H. Nicollian and A. Goetzberger, Bell syst. tech. J. , 46, 1055 (1967)
- (2) H. Deuling, E. Klasusmann and A. Goetzberger, Solid - State Electronics, 15, 559 (1972)
- (3) L. B. Freeman and W. E. Dahlke, Solid - State Electronics, 13, 1483 (1970)
- (4) G. Declerk, R. Van Overstraeten and G. Broux, Solide - State Electronics, 16, 1451 (1973)
- (5) S. R. Hofstein and G. Warfield, Solid - State Electronics, 8, 321 (1965)
- (6) K. Lehovec and A. Slobodsky, Solid-State Electronics, 2, 59 (1964)

그림-9. 광조사시 G_m 의 광강도 의존성