

MOSFET 트랜지스터의 CV 측정오차 해석 및 정확도 개선에 관한 연구

Study of Improvement and Analysis for Capacitance Voltage Measurement Accuracy on MOSFET Transistor

*이원정¹, 김윤곤², 김상기², 유세진², 임채원², 박현호¹

*W. J. Lee (leewjvlo@samsung.com)¹, Y. G. Kim², S. G. Kim², S. J. Yoo², C. W. Lim², H. H. Park¹
¹ 삼성전자 공과대학교, ² 삼성전자 개발평가그룹

Key words : C-V method, MOSFET, Measurement Accuracy

1. 서론

반도체회로가 미세화 됨에 따라 MOSFET(metal-oxide-semiconductor field-effect transistor)의 capacitance 값은 매우 작아지고 있기 때문에 C-V (capacitance voltage) 측정환경을 구축할 때 주의를 기울여야 한다. 본 논문에서는 cable, connector, grounding 그리고 calibration 등 측정 시 발생할 수 있는 오차요인을 파악하고 개선함으로써 MOSFET transistor capacitance 의 측정정확도를 높이는 방법을 연구하고자 한다.

Capacitance 는 전자 회로와 부품, 그리고 부품을 만드는데 사용하는 재료들을 규정할 때 사용하는 중요한 파라미터이다. 반도체제품에서 C-V 특성들로부터 MOS(metal-oxide-semiconductor)소자와 산화막-반도체 계면에 대한 많은 정보들을 얻을 수 있다. 예를 들어서 어떤 실험곡선에서 곡선의 일그러짐은 계면상태의 존재를 가리키고, 곡선의 평행이동은 고정 산화막 전하의 존재를 가리킨다. 그리고 산화막의 유전율과 Cox(oxide capacitance)을 이용해서 산화막의 EOT(equivalent oxide thickness)를 구할 수 있다.

Capacitance 를 측정하기 위해서는 여러 측정방법 중에서 각기 장단점을 고려하여 적절한 방법을 선택할 수 있다. 먼저 측정에 필요한 사항과 조건을 고려한 가장 적합한 방법을 택해야 한다. 하나의 측정 방법에 모든 측정 기능이 포함될 수는 없으므로, 여러 측정 방법 중에서 최적의 조건을 고려하여 가장 좋은 방법을 택해야 한다.

일반적으로 많이 사용하는 capacitance 를 측정방법이 자동 평형 브리지 이다. 측정원리는 DUT(device under test)를 통해 흐르는 전류는 저항기 R 에도 흐른다. “L 점”의 전위는 저항기 R 을 통해 흐르는 전류가 I - V 컨버터 증폭기의 작동에 의해 DUT 전류와 평형을 이루기 때문에 (“가상 접지”라고 불리는) 0[V]로 유지된다. DUT 임피던스는 고전위 단자의 전압 측정과 저항기 R 의 전압을 측정하여 계산된다. 이 것의 장점으로는 LF(low frequency)부터 HF(high frequency)까지 넓은 주파수범위(20 ~ 100[MHz])와 넓은 임피던스 측정 범위에서 높은 정확도 이다. 단점으로는 더 높은 주파수 범위 사용할 수 없는 것이다.

Fig. 1 과 같이 지시값은 계측기로 측정해서 얻은 값이다. 이 값에는 장비 자체에서 오는 손실과 부정확도가 반영된다. 지시값은 측정 때마다 다를 수도 있는데 그 원인 중에 하나가 test fixture 에 따른 값의 변화이다. 계측기와 device 간의 연결에는 R,L,C 의 기생성분이 존재하며 이 것이 측정오차를 유발한다. 그래서 test fixture 에 따른 측정값의 변화를 이해함으로써 측정오차를 줄이는 것이 이 연구의 목적이다..

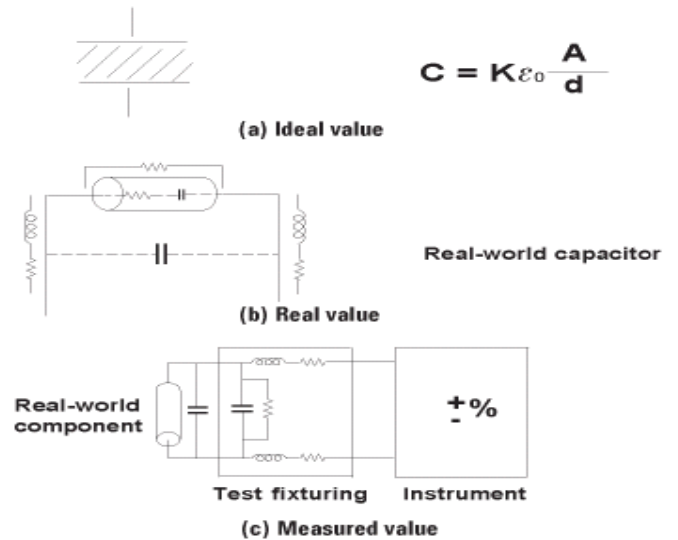


Fig. 1. Ideal, real, and measured values

2. 본론

측정장비와 wafer 를 연결하는 방법은 여러 가지가 있으며 사용하는 케이블 및 액세서리의 종류도 매우 다양하다. 이 때문에 연결이 복잡해지고 측정오차의 요인을 제공한다. 예를 들어 Fig.2 는 GND(ground)의 불안정으로 인해 노이즈가 발생한 것이다.

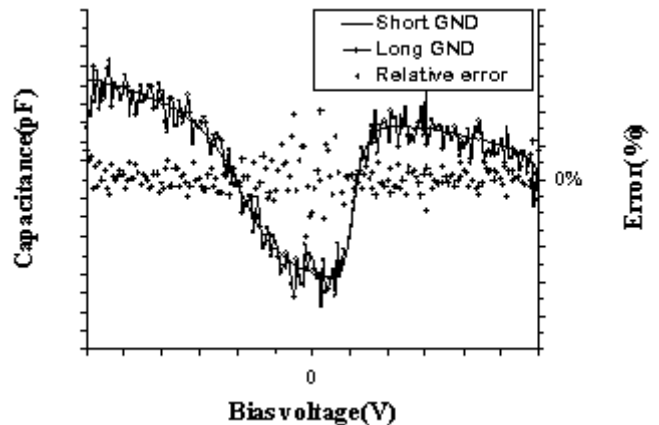


Fig. 2. C-V measurement results at the influence of the GND

A. Cable 에 따른 영향

Cable 의 구성방법은 2 개의 Cable 을 사용하는 2 terminal configuration 과 4 개의 cable 을 사용하는 4 terminal configuration 있다. 측정주파수 100[Khz]에서의 두가지 방식의 차이는 0.5% 이내로 작다. 측정장비와 wafer 를 연결하는데는 보통 긴 cable 이 사용되기 때문에 외부 노이즈의

영향을 쉽게 받는다. 노이즈를 차단하기 위해서 이중 차폐 구조를 가지고 있는 triaxial cable 을 사용할 수 있는데 노이즈를 차단하는 shield 의 효과는 뚜렷하게 나타난다.

B. Connector 에 따른 영향

측정장비는 BNC(Bayonet Neill-Concelman)타입이고 cable 은 triaxial 타입의 단자를 가지고 있다. 이 것을 서로 연결하기 위해서는 타입을 변경해주는 아답터가 필요하다. guard floating adapter 를 사용할 경우 triaxial cable 의 이중 차폐를 사용할 수 없기 때문에 BNC cable 과 유사한 특성을 보인다. triaxial cable 의 이중 차폐를 사용하기 위해서는 shield floating adapter 사용이 필요하다.

C. Ground 에 따른 영향

LCR meter 와 prober 는 전원의 접지단자를 통해서 GND 가 서로 연결되어 있다. 하지만 별도의 전원을 사용하는 경우 GND 의 길이가 매우 길어지는 경우가 발생할 수 있다. 이렇게 되면 두 GND 간에 전위차가 발생하여 노이즈의 원인이 될 수 있다. 이 것을 방지하기 위해서 짧은 GND 를 별도로 사용해서 해결 할 수 있다.

D. Calibration 의 영향

Probe 가 device 에 접촉이 안된 open 상태에서도 작은 capacitance 값이 측정이 된다. 이 값은 미세한 capacitance 값을 측정할 때 영향을 주게 된다. 측정이 잔류 성분의 단일 요소에 의해서만 영향을 받을 때는, 유효 값은 측정값에서 오차 값만 빼면 구할 수 있다. 예를 들어 작은 값 Capacitance 측정을 하는 경우에는 DUT 의 capacitance 인 C_x 와 병렬로 연결된 표유 capacitance C_o 는 측정에 중요하며 표유 capacitance 값을 측정 capacitance 값인 C_m 에서 빼면 보상될 수 있다. 표유 capacitance 값은 측정 단자를 개방해 놓은 상태에서 구할 수 있다.

3. 실험결과

Fig.3 와 같이 측정편차는 일반 triaxial cable 을 사용한 것과 shield floating adapter 를 사용한 구성에서 적게 발생한다. 작은 capacitance 측정에서는 calibration 의 영향이 크게 작용한다. 4 terminal configuration 과 2 terminal configuration 의 차이는 작다. 따라서 cable 의 선택 시 이중 차폐된 것을 사용하고 2 terminal configuration 을 사용해서 구성을 단순화해도 무방하다..

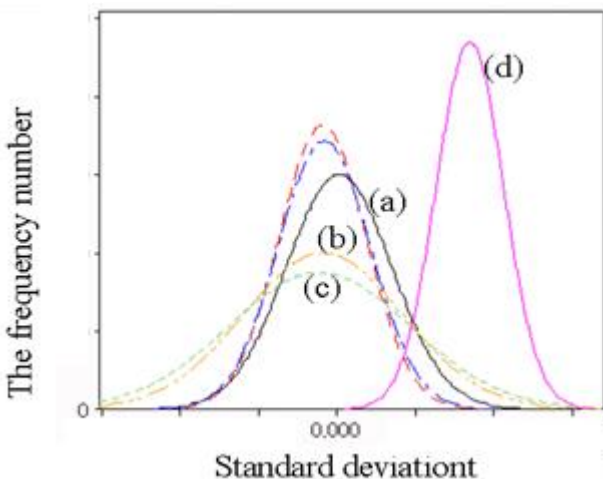


Fig. 3. (a) Reference. (b) The influence of the connector. (c) The influence of the cable. (d) The influence of the Calibration

4. 결론

측정환경을 구축하는데 있어서 측정하고자 하는 제품의 종류 및 측정조건에 따라 구성이 달라진다. wafer 상태에서의 측정은 capacitance 값이 작을 뿐만 아니라 probing 등의 문제가 있기 때문에 특히 복잡하고 까다롭다. 메모리제품은 보통 1[MHz]이하에서 일반적인 C-V 특성을 관찰하는데 가장 간단하고 적합한 구성으로 측정함으로써 시간과 노력을 줄이고 측정오차를 최소화 할 수 있었다. 긴 cable 의 사용시 shield 처리는 반드시 필요하다. 따라서 일반 BNC cable 보다 triaxial cable 이나 이중 차폐된 BNC cable 을 사용하는 것이 적합하고 triaxial cable 사용시 shield floating adapter 를 사용함으로써 shield 를 GND 에 연결할 수 있도록 하며 calibration 을 실시해서 미세한 기생 capacitance 를 제거하여 측정편차를 줄일 수 있다. 하지만 높은 주파수에서는 액세서리 및 케이블의 선택이 달라지며 calibration 방법 또한 달라진다. 따라서 이에 적합한 구성을 별도로 해서 측정정밀도를 높여야 한다

참고문헌

1. Takashi Hori, Gate Dielectrics and MOS ULSIs, . Berlin, Springer, 1997,pp.51 ~ 53
2. Agilent Technologies Impedance Measurement Handbook 4nd Edition.