

PDM Tool을 이용한 plasma nonuniformity 측정에 관한 연구

A Study for plasma nonuniformity measurement by PDM Tool

*김상용(아남반도체),서용진대불대,이우선(조선대),정현상(조선대),김창일(중앙대),장의구(중앙대)
*Sang-Yong Kim, Yong-Jin Seo, Woo-Sun Lee, Hun-Sang Chung, Chang-Il Kim, Eui-Goo Chang

Abstract

This paper is estimated to enhance yield improvement and device reliability using PDM(plasma damage monitoring) system capable of in-suit detection about plasma nonuniformity. PDM Tool is the non-contact method of wafer and surface potential electrode(kelvin probe). Its tool measures V_{ox} (oxide barrier) with charge created by plasma. It's possible to inspect the wafer damage generated by plasma charge and analysis of in-situ monitoring data. we obtained the good data which is continuously prevented from plasma damage using its tool for 10weeks. This tool is contributed to preventive steps contemporaneously inspecting the difference of inter-chamber.

Key Words(중요용어) : plasma(플라즈마), pdm(플라즈마 손상 모니터링), Nonuniformity(균일률)

1. 서론

반도체 제조에 있어서 플라즈마에 의한 공정이 매우 많다. 소자가 집적화됨에 따라 이 플라즈마에 의한 소자에 영향을 막대하게 주는 경우가 많아 반도체 제조 라인에서 대량으로 소자에 영향을 주어 심각한 문제로 대두 되었다. 본연구는 Plasma사용 장비의 Plasma nonuniformity에 의한 device의 charging (antenna) damage를 사전에 예방하기 위한 수단으로 Plasma damage Monitoring (PDM) Tool 을 이용 주기적인 monitoring을 실시, Data 분석 후 적절한 조치를 취할수 있도록 연구 고찰 했다.

2. 본론

PDM Tool은 Fig.1과 같이 Wafer와 Surface Potential Electrode (Kelvin Probe)와의 Noncontact 방식으로 Plasma에 노출된 wafer의 Plasma

nonuniformity로 생성된 charge에 의해 변화된 V_{ox} (Oxide barrier)를 측정 하는 방식으로 다음과 같은 Theory에 의해 측정 결과를 얻는다.

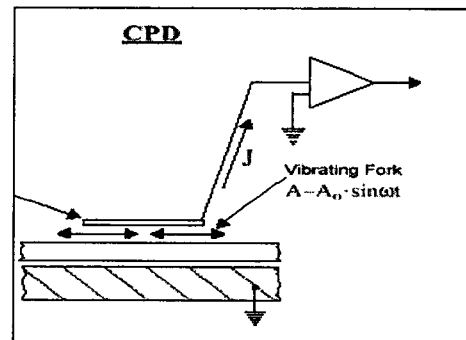


Fig.1. wafer와 surface potential electrode와의 PMD이론

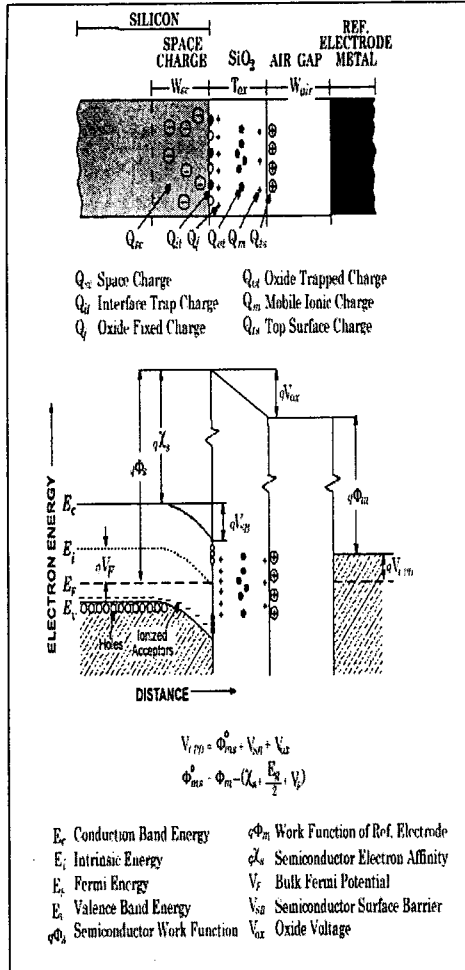
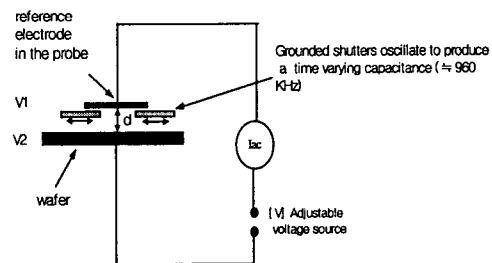


Fig.2. Si/SiO₂와 페의 Electrode간의 Energy band diagram.

Fig.2 에서와 같이 P-type Si wafer의 경우 energy band gap diagram위 Fermi level이 Valance band에 가깝게 위치하고 있으며 여기에 SiO₂ Film을 증착할 경우 Q_{sc} (space charge), Q_{it} (interface trap charge), Q_f(Oxide fixed charge), Q_{ot} (Oxide trap charge), Q_m (Mobil ionic charge), Q_{ts} (Top space charge)등에 의한 Charge build-up으로 인해 Vox(Oxide barrier potential)만큼 Energy bandgap 힘이 발생 하나 Plasma를 사용하는 장비에서 Film 증착시나 Etch시 Plasma Nonuniformity에 의한 Plasma charge에 의해 추가로 Vox의 변화를 가져오는데 이런 Theory를 응용, PDM Tool의 Kelvin Probe (Surface potential Electrode)를 사용하여

Plasma에 노출된 Si/SiO₂의 Surface를 통해 V_{cpd}(contact potential difference) = V_{ox} + V_{sb} 을 측정 Plasma Damage 여부를 간접적으로 Monitoring 하는 방식이며 P-type Si wafer (20 Ω-cm) 사용시, 1KA thk의 Thermal Oxide가 증착된 시료를 쓸 경우 V_{sb} (Si Surface Barrier)를 읽식에서 무시할 수 있는 실험 Data를 얻어, 즉 V_{cpd} ≃ V_{ox} 로 단순화 시킬 수 있다. 여기서 V_{ox} 는 V_{ox} = (dox · Qp) / ε₀ · ε_{ox} 이며 dox는 oxide thk 이고 Qp는 Surface Oxide charge로 Plasma process 동안 생겨난 Charge를 의미한다. Fig.3 는 PDM Tool 의 가장 중요한 역할을 하는 Kelvin-Probe의 측정방식을 도식 한 것으로 측정하고자 하는 Plasma에노출된 Wafer를 stage에 올려 놓고 Wafer위에서 일정간격의 거리차를 유지하는 Kelvin Probe가 960KHz 주파수 대역으로 Kelvin Probe의 Capacitance Area를 변화시켜가며 측정을 하는데 이때 Electrode에 가해주는 교류 전류가 0 이 될때까지 Voltage를 Adjust하여 I_{ac} 가 0 일때의 [V]를 V_{cpd}로 정의하며, 이 Value가 Plasma Charge에 의해 생성된 Qp 이다. Fig-4는 등가회로를 나타낸 것이다.



V2 -V1 is the contact potential difference

Fig-3 Measurement of contact potential difference-Kelvin probe

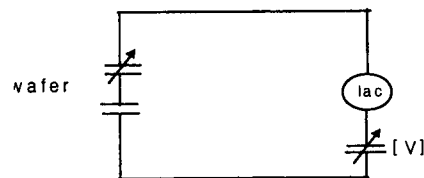


Fig-4 PDM 등가 회로

결론적으로 V_{cpd}는 PDM Tool의 Kelvin Probe로 측정되는 Value로 V_{pdm}으로 표기하며 아래 식으로

단순화 시킬 수 있다.

$$V_{pdm} = V_{ox} = (d_{ox} \cdot Q_p) / \epsilon_0 \cdot \epsilon_{ox}$$

2-1. PDM Data 분석 방법

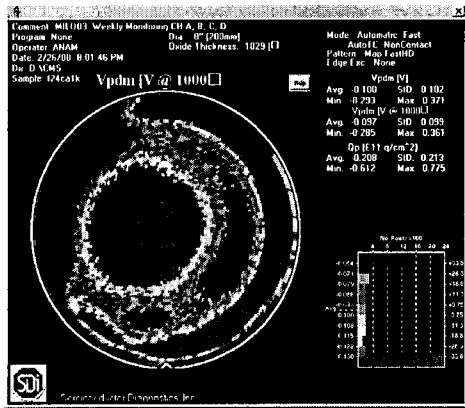


그림5. PDM Data 분석 프로그램

그림5에서 ①은 Si Bare Wafer에 deposition된 Oxide Thk를 입력한 값을 나타내며 ②는 입력한 oxide thk를 Base로 PDM Tool의 Kelvin Probe를 통해 실제로 측정된 Vpdm Data로 6200 points의 Raw data를 갖고 Average, Max, Min, Standard Deviation을 나타내고 있으며 ③은 ③에서 측정된 값들을 Oxide thk 1000Å으로 Normalization 된 값으로 변환한 것으로 이 항목을 분석 Data의 기준으로 삼는다. Plasma의 nonuniformity를 판별하는 기준으로 Vpdm max value(Vmax)와 Vpdm min value(Vmin)차이인 Range를 구하거나 Standard Deviation STD Value를 비교 분석하여 특정 값 이상 나올 경우 Plasma nonuniformity에 의한 Antenna Damage를 추론 할 수 있으며 그림 6은 SEMICON Taiwan 96에 발표된 'Plasma Damage Thresholds for varying Gate Oxide thickness' 자료로 Gate Oxide thickness에 따른 Vpdm Max-Min Range와 STD (1σ) Value를 비교 test하여 얻은 limit 값을 나타낸 것으로 이 test에서는 GOI Pattern wafer의 Antenna Ratio는 1000 : 1을 reference로 얻은 Data이다.

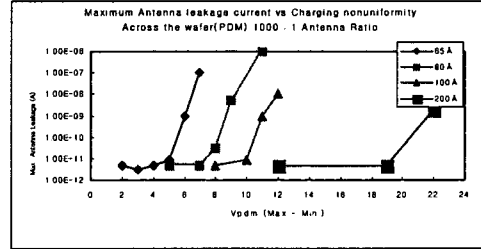


그림6. SEMI Proceeding of Tech. program

그림6에서와 같이 Vpdm Max-Min Range, STD Value에 따른 Gate Oxide Thickness 별 leakage current 변화가 절대적인 수치는 아니지만 밀접한 상관관계가 있다는 것을 확인 할 수 있는 Reference로 삼을 수 있으며 본 연구에서는 (특히 PE CVD Process) 각 MC 별 Vpdm Repeatability를 산정하여 Plasma 관련 장비를 Monitoring 하면서 고찰했다. 제조 fab에서 Plasma를 이용한 각 Deposition Module에 대한 PDM Reference Data를 얻기 위해 MILO Process, AMAT社의 Centura TEOS, NOVELLUS社의 SEQUEL TEOS, AMAT社의 POX Dep/Etch, NOVELLUS社의 HDP SPEED Module에 대해 재현성 Check를 통해 Reference SPEC limit을 정하기로 하였으며 이에 대한 대표적인 Trend는 그림7 Graph와 같다. 이때 사용한 Wafer는 Bare Si Wafer위에 direct로 Plasma TEOS를 증착한 Wafer를 Sample로 사용 했으며 Thermal Oxide를 Barrier로 증착한 Film과 유의차 없는 것으로 확인 되었다.

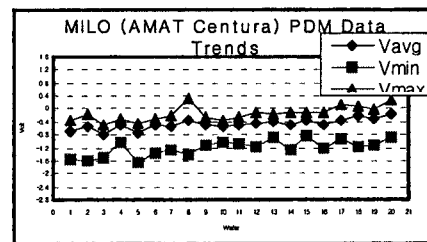


그림7. IMD PDM Data trends

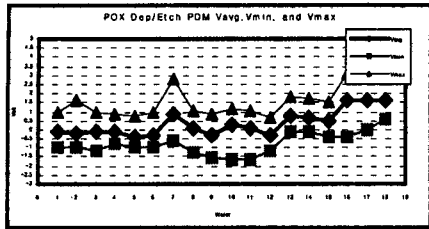


그림 8. POX DEP/ETCH PDM trends

PDM Tool Monitoring Spec 설정에서 각 MC별 재현성 Monitoring을 통해 얻은 Data의 평균 및 표준편차를 참고로 하여 Upper limit Spec을 설정 했는데 HDP와 POX Dep/Etch의 Data가 다소 높은 관계로 적절한 관리를 위해 그림9와 같은 범위로 나타냈다. Novellus HDP Oxide 경우 Vpdm Data가 높은 이유는 ESC를 사용하면서 정전기 원리를 이용한 Wafer Clamping을 적용하는 관계로 Plasma Nonuniformity에 의한 영향 이외에 부가적인 요소로 작용하기 때문에 Vpdm data가 높게 나타나는 것으로 사료된다.

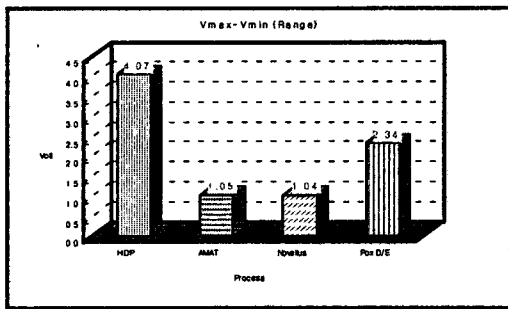


그림 9. pmd Tool Monitoring Spec. 설정

3. 결론

PDM Tool의 장점인 빠른 시간안에 Plasma nonuniformity에 대한 monitoring 및 분석에 의해 Antenna damage를 예방 조치할 수 있는 주 기능에 대한 10주간에 Monitoring 결과 재현성 있는 Data를 나타내는 것으로 보아 Multi-chamber간의 유의차를 실시간으로 확인하여 사전 예방 조치를 취하는데 기여도가 있을 것으로 보인다. 이를 이용함으로써 bare wafer를 이용 빠른 시간내에 측정 및 분

석이 가능하며 8인치 웨이퍼 full scan이 가능할뿐만 아니라 재생 웨이퍼도 3회까지 사용 가능하게 했다. 그러나 패텐 웨이퍼에 대한 검출 능력과 barrier layer로 thermal oxide를 사용하지 않을 경우 측정하고자 하는 plasma charge가 Si sub로 누설 전류가 발생하여 부정확한 데이터가 얻는것에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

참고 문헌

- [1]. Nguyen, S., et. al, "Plasma Deposition and Characterization of Fluorinated Silicon Nitride," ECS Ext. abst., G2-1, P.209, 1992.
- [2]. Flamm, D.L., et. al., "A New Chemistry for Low Hydrogen PECVD Silicon Nitride," Solid State Technology, p.43, March 1997.
- [3]. 김상용, 서용진, 유석빈, 김태형, 김창일, 장의구, PMD-1층의 물질변화에 따른 소자의 전기적 특성 Proceeding of KIEE, P.1327-1329, July, 20-22, 1998.2.
- [4]. Y.J SEO, T.H AN, S.Y KIM, T.H KIM, C.I KIM, E.G CHANG, The Hot Carrier Degradation Effects with Variation of Pre-metal Dielectric(PMD) Materials. Proceeding of ISPSA-98, P 168-169, Nov. 6-7, 1998.
- [5]. 김상용, 김창일, 장의구, 정현상, 이우선, 서용진, ARC를 위한 PECVD SiOxNy 공정에서 N2O 처리 및 Cap 산화막의 영향, Proceeding of KIEEME, P.39~42, Apr. 29, 2000.