

RAPID THERMAL PROCESS를 응용한 THIN DIELECTRIC FILM의 전기적 특성에 관한 연구.

이 양 구. 박 성 식. 최 진 석. 류 지 호.  
삼성 반도체 연구소

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF THIN DIELECTRIC FILMS PREPARED BY RAPID THERMAL PROCESS

ANG GOO LEE. SEONG SIK PARK. JIN SEOG CHOI. JI HYO RUIEU.  
SAMSUNG SEMICONDUCTOR LABORATORY

ABSTRACT

THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF RAPID THERMAL OXIDES AND NITRIDED OXIDES HAVE BEEN INVESTIGATED. R.T.OXIDE FILMS HAVE BEEN PREPARED BY ONLY R.T. OXIDATION OR R.T.OXIDATION AND SUBSEQUENT R.T.ANNEAL. NITRIDED OXIDE FILMS HAVE BEEN PREPARED BY R.T.OXIDATION AND SUBSEQUENT R.T.NITRIDATION. AND CONVENTIONAL OXIDES ALSO HAVE BEEN PREPARED TO COMPARE WITH R.T.P OXIDES. R.T.ANNEALED OXIDES SHOW EXCELLENT BREAKDOWN FIELD. LEAKAGE CURRENT AND TDBB CHARACTERISTICS. ALSO, CAPACITANCE OF R.T NITRIDED OXIDES ARE SUPERIOR BY 10 % TO CONVENTIONAL OXIDES. BUT TDBB CHARACTERISTIC ARE POORER THAN OXIDE FILMS.

1. 서 론

오늘날 MEMORY DEVICE의 DESIGN RULE이 SUBMICRON 까지 감소됨에 따라, 1M D RAM급이상의 DEVICE에 사용되는 CAPACITOR의 경우에는 면적감축으로 인한 CAPACITANCE의 부족 현상이 심각하게 대두되고 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서 THERMAL OXIDE 막의 박막화, TRENCH CAPACITOR 그리고 CAPACITOR를 쌓아올리는 적층구조등의 실험편지를 증대시키는 방법 및 보다 유전율이 높은 필질을 사용하는 방법등이 검토되어왔다. 현재, 기존의 FURNACE를 사용하여 100 Å 정도와 그 이하의 두께를 가진 OXIDE막에 관하여 연구 발표되고 있으며 고 유전율을 가진 재질을 이용하는 방법은 주로 NITRIDE막( $\epsilon_{\text{SiN}} = 7.5$ )을 사용한것으로 NITRIDE막의 결점을 보완하기 위해서 OXIDE-NITRIDE-OXIDE 막 구조(STACKED FILMS)로 사용하거나 FURNACE에서 NH<sub>3</sub> GAS분위기하에서 OXIDE막을 NITRIDATION시켜서 CAPACITANCE를 증가하는 방법도 활발히 연구하고 있다.

최근에는 고온 PROCESS의 장점을 이용한 RAPID THERMAL ANNEAL SYSTEM을 사용하여 RAPID THERMAL PROCESS개발도 진행되고 있다. 이들 PROCESS를 살펴보면 먼저, OXIDE 막의 박막화를 위해서 RAPID THERMAL OXIDATION(RTO)과 RTO막에 RAPID THERMAL ANNEALING(RTA) PROCESS를 진행하는 방법, 그리고

NITRIDE막을 이용하는 방법으로 RTO막에 RAPID THERMAL NITRIDATION(RTN) PROCESS를 실시하는 방법이 집중 연구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 RTO PROCESS로 100 Å 정도의 OXIDE 막을 성장 시켜서 기존의 사용하고 있는 OXIDE막질과 전기적 특성을 비교분석하고, 나아가 RTO막에 RTA시킨 OXIDE막질, 그리고 RTO막에 RTN PROCESS를 실시한 막질등도 아울러 비교분석코자 한다.

2. 실험 방법 및 측정

(1) 시편제작

가) 시편 제작을 위해 사용된 실리콘 WAFER는 고유저항 (BULK RESISTIVITY)이 15-25 Ω-cm 이며, 직경이 125 mm 인 P 타입의 (100) 이다.

나) 제작 방법

시편제작은 그림 1과 같은 방법으로 진행되었다. RAPID THERMAL PROCESS로 성장시킨 DIELECTRIC FILM의 전기적 특성 검토를 기존의 FURNACE설비로 성장시킨 OXIDE막과 상호 비교코자 먼저, FURNACE로 800°C에서 100Å 정도의 OXIDE막을 성장시켰으며, 이때에 사용된 RECIPE는 그림 2와 같다. 그리고 RAPID THERMAL PROCESS경우, RAPID THERMAL OXIDE막은 PROCESS TEMPERATURE를 800°C와 1150°C로 2 STEP 방법으로 성장시켰고 PROCESS TIME은 10초로 두었다. RAPID THERMAL ANNEAL은 이 RTO막에 다시 Ar GAS 분위기하에서 (Ar = 2 l/min) 1000°C에서 30초간 ANNEALING 시켜서 시편을 제작 했다. 마지막으로 RAPID THERMAL NITRIDATION PROCESS의 특성을 보기 위한 시편은 RTO 막과 FURNACE로 성장시킨 OXIDE OXIDE막에 각각 NH<sub>3</sub> GAS분위기하에서 (NH<sub>3</sub> = 2 l/min) 30, 120초 동안 NITRIDATION을 시켰다. 아울러, RTP로 제작된 시편의 두께는 전부 100Å 정도로 하였으며, 사용한 RECIPE는 그림 3에 나타내었다.

(2) 시편의 측정

가) DIELECTRIC FILM의 성장

FURNACE와 RTP로 성장된 OXIDE막과 NITRIDED OXIDE막의 두께는 ELLIPSOMETER (RUOLPHSA / AUTO ELIV)를 사용하여 WAFER 당 5점을 측정된 뒤 평균값을 취했다.

나) 전기적 특성 측정

전기적 특성 CHECK를 위해서 500 $\mu$ m \* 600 $\mu$ m의 직사각형 PATTERN을 사용하였다.

A) FOWLER NORDHEIM 특성 조사

PARAMETER ANALYZER( HP4145B )를 사용하여 WAFER 당 3점씩 전류-전압특성을 측정한 뒤 평균값을 취했다. 여기에서 BREAKDOWN VOLTAGE는 전류가 1  $\mu$ A가 흐를 때로 정했으며, 또한 ELECTRIC FIELD가 5 MV/cm가 되도록 전압을 인가했을 때의 전류를 LEAKAGE CURRENT값으로 설정했다.

B) CAPACITANCE 측정

DIELECTRIC FILM의 CAPACITANCE값을 측정하기 위해서 LCR METER(HP4257)를 사용하여 WAFER당 3점을 측정한 뒤 평균값을 취했으며, 또한 DIELECTRIC FILM의 유전계수(DIELECTRIC CONSTANT)를 구했다.

C) TDDB 특성 평가

단위면적당 0.1 A/cm<sup>2</sup>의 전류밀도를 갖는 전류를 인가하여 DIELECTRIC FILM이 파괴되기까지 걸리는 시간을 HP 4145B를 사용하여 측정하였으며, 아울러 파괴될때까지의 전하밀도도 조사 하였다.

D) FAILURE RATE에 의한 평가

성장된 OXIDE막과 NITRIDE의 OXIDE막의 FAILURE RATE를 확인하기 위해서 D C PARAMETER ANALYZER (KEITHLY 사/ S-250)를 사용하여 WAFER 당 70점씩 BREAKDOWN VOLTAGE를 측정하여 그 분포를 조사하였다.

3. 결과 및 토의

전기적 특성을 검토하기 위한 DIELECTRIC FILM을 성장시킨 공정진행방법 및 성장된 FILM의 두께를 표 1에 나타내었다.

SAMPLE NO.	공정 진행 방법	두께 ( $\text{\AA}$ )
A	FURNACE OXIDATION	98.5
B	RTO	94.5
C	RTO + RTA	94.1
D	RTO + RTN (30초)	98.5
E	RTO + RTN (120초)	98.5

표 1. 시편의 두께 및 공정진행방법

TABLE 1 THICKNESS OF SAMPLES AND PROCESS FLOW METHOD

가) FOWLER-NORDHEIM 특성 검토

그림 4은 각 시편에 대해서 BREAKDOWN FIELD값을 나타낸 것이다. FURNACE로 성장시킨 열산화막과 RTO 막의 결과는 서로 비슷했으며, RTO 막에 RTA 공정을 추가로 시킨 시편은 앞의 결과보다 0.25 MV/cm 정도 더 높게 나타났다. 그렇지만 RTO막에 RTN공정을 시킨 결과는 전반적으로 BREAKDOWN FIELD 값이 낮아지고 있다.

이런 결과를 나타내는 이유는 RTA공정을 실시한 막은 ANNEALING효과로 인한 내부 DEFECT의 감소때문에 좋은 결과를 얻는 것으로 추측이 된다. 또한 NITRIDATION을 시킬 때에는 OXIDE막에 질소 원자가 침입확산하여 주로 SiO<sub>2</sub>의 뒷부분과 SiO<sub>2</sub>-Si의 계면 사이에 존재하면서 (4.5,7) 이 부분에 NONSTOICHIOMETRY STRUCTURE(Si-Ox-Ny : OXYNITRIDE) 층이 형성 되면서 많은 결함과 STRESS를 유발시키기 때문에 낮은 BREAKDOWN FIELD값을 갖는 것으로 여겨진다. 각 시편에 대한 LEAKAGE CURRENT값을 그림 5에 보여 주었다. 여기에서는 RTO막이 FURNACE로 성장시킨 OXIDE

막보다 약간 높은 값( 65pA/cm<sup>2</sup> )을 나타내지만 RTA공정을 거친 것은 오히려 낮아지고 있다. 이런 결과는 고온에서 급속하게 성장된 RTO막이 FURNACE에서 성장시킨 OXIDE막보다 내부에 더 많은 결함을 있는 것으로 여겨지며 ANNEALING을 실시함으로써 RTO 막에 내부결함이 FURNACE로 성장시킨 OXIDE 막 이상으로 감소되는 것으로 믿어진다. 그리고, RTN 공정을 적용시킨 시편은 상당한 량의 LEAKAGE CURRENT값이 증가하고 있으며 RTN공정 시간이 길어 질수록 LEAKAGE CURRENT도 증가하고 있다. 이런 현상은 SiO<sub>2</sub>와 Si계면에서 존재하는 질소가 ELECTRON TRAP을 발생시킨다고 알려져 있기 때문에 이로부터 인한 LEAKAGE CURRENT의 증가와 NONSTOICHIOMETRY구조가 형성되어서 STRESS와 DEFECT의 과다 발생등으로 LEAKAGE CURRENT값이 증가 되는 것으로 여겨진다. 따라서, RTN 공정시간이 길어질수록 LEAKAGE CURRENT는 증가하게 된다.

나) CAPACITANCE에 의한 특성 검토

측정 DATA들을 가지고 식 1을 이용하여 유전상수 (DIELECTRIC CONSTANT)값을 각 시편 별로 얻었다

$$CAPACITANCE = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A}{T} \quad \text{식 1}$$

$\epsilon$  : 유전상수의 유전율 (8.85E-14 F/cm)  
 $\epsilon_0$  : 자유공간의 유전율  
 $A$  : 유전체의 면적  
 $T$  : 유전체의 두께

아울러, 계산된 유전상수값을 가지고 각 시편당 두께 100 $\text{\AA}$  을 가질때의 CAPACITANCE값을 동시에 그림 6에 그렸다. 여기에서 FURNACE로 성장시킨 OXIDE막과 RTO막은 전부 이른치에 접근하는 유전상수( 3.9 )를 가지고 있다. 그리고, RTN 공정을 실시한 결과는 일부 Si-Ox-Ny층이 형성되어서 OXIDE 막과 NITRIDE막의 중간치인 유전상수를 나타내고 있고, 전반

적으로 OXIDE막에 비해서 10% 이상 CAPACITANCE값이 증가하고 있으며, RTN 공정시간이 길어질수록 약간 유전상수와 CAPACITANCE값이 증가함을 보여주고 있다.

다) TDDB에 의한 특성 검토

각 시편에 대한 TDDB 특성치를 그림 7과 8에서 나타내었다. 그림 7은 파괴될때까지 걸리는 시간에 따른 축적된 파괴물의 관계를 보여준 것이다. 여기에서 RTO막의 경우 내부결함으로 발생되는 초기파괴는 FURNACE로 성장시킨 OXIDE막보다 약간 약하지만, 전기적 STRESS에 의해 파괴될때까지 걸리는 시간은 4초 정도(80% 파괴기준) 높았다. 그리고, RTO막에 RTA공정을 실시한 시편은 초기파괴도 현저하게 감소되었고, STRESS에 의한 파괴 역시 14초 정도(80% 파괴기준)이상 더 높게 나왔다. 이런 결과에서도 간접적이거나 RTO막이 FURNACE로 성장시킨 OXIDE막보다 내부 결함이 약간 많은 편이지만, RTO공정이 고온이므로 FIXED OXIDE CHARGE값을 감소시킬, 즉 Si와 SiO<sub>2</sub>계면에서 20 - 30  $\text{\AA}$  정도로 INTERFACE 구역이 존재한다고 알려진 이 구역을 감소시킬 것으로 써 상대적으로 SiO<sub>2</sub>의 완전한 격자구조를 가진 두께층의 증가로 인하여 STRESS에 의한 파괴내구력이 큰것 같다. 특히 RTA공정을 추가로 실시한 시편은 INTERFACE구역을 제외한 SiO<sub>2</sub>막의 내부에 결함을 감소시켜서 초기 파괴율을 감소시켰고, INTERFACE구역을 더 많이 축소시킬 수 있기 때문에 STRESS에 의한 파괴내구력도 훨씬 큰 것으로 사려된다. 그렇지만, RTN공정을 적용시킨 막은 전부 1초 이내에 파괴되었다. 이런 현상은 막의 내부에

Si-Ox-Ny층이 형성되어서 이로 인한 상당한 DEFECT와 STRESS를 가지고 있는 상태이기 때문이라고 판단되어진다. 아울러, 인가된 전류 밀도에 파괴되는 시간을 급하여 각 시편에 대한 파괴전하의 관계를 그림 8에 나타내었다.

라) FAILURE RATE에 의한 특성 검토

WAFER 전면에서 막이 고르게 성장된 여부를 보기 위해서 각 시편에 대한 FAILURE RATE를 조사하였다. (그림 9) RTO막은 FURNACE로 성장시킨 OXIDE막보다 FAILURE RATE가 약간 높으며, RTA공정을 첨가시킨 시편은 거의 비슷했다. 그리고 RTN공정을 실시한 시편은 NITRIDATION시간이 길어질수록 막이 불완전하게 생성됨을 알수있다. 여기에서도 RTO막은 10초 이내의 고온 성장이기때문에 FURNACE에서 성장시킨 OXIDE막보다는 더 많이 내부 결함을 가지는 부분이 존재하고 있다는 의미이며, RTA공정을 추가시키면 이런 내부결함이 감소됨을 또 한번 볼 수 있었다. 그리고, RTN공정을 적용시킨 막은 NITRIDATION되는 도중에 일부에서 OXIDE막이 크게 약화 또는 완전파괴가 되는 것으로 여겨진다.

4. 결 론

- (1) RTO막은 FURNACE설비로 성장시킨 OXIDE막보다 TDDB 특성은 우수하지만 LEAKAGE CURRENT와 FAILURE RATE등은 낮았다.
- (2) RTO막에 RTA공정을 추가시킨 DIELECTRIC FILM막의 특성이 제일 우수하였으며 BREAKDOWN FIELD값은 0.25 MV/cm. TDDB특성은 14초 정도 FURNACE설비로 성장시킨 OXIDE막보다 뛰어났다.
- (3) RTN공정을 시킨 DIELECTRIC FILM의 CAPACITANCE는 일반 OXIDE보다 18 %이상 증가되었지만 그 외의 전기적 특성은 불리했다.

5. REFERENCE

- (1) A. BHATTA CHRYYA, C. VORST, J. ELECTROCHEM. SOC., VOL. 132, NO. 8, AUG. 1985, P. 19
- (2) J. NULMAN, J. SCARPULAS, T. WELLS, AND J. P. KRUSIUS, IEEE, ELE. DEV. LETT., VOL. EDWM 86, P. 376
- (3) J. NULMAN, J. P. KRUSIUS, AND A. GOT, IEEE, VOL. EDL-6, NO. 5, MAY, 1985, P. 285
- (4) J. NULMAN, J. P. KRUSIUS, J. APPL. PHYS. LETT., VOL. 47, JULY 1985, P. 15
- (5) J. NULMAN, J. P. KRUSIUS, AND C. RARHUM, IEEE, VOL. EDMT 84, P. 169
- (6) D. D. TRAPP, R. A. BLANCHARD, AND T. J. KAMINS SEMICON. TECH. HAND BOOK, 1982, P. 12-14
- (7) C. C. CHANG, A. KAMBER, AND D. KAHNG, IEEE, ELE. DEV. LETT., VOL. EDL-6, NO. 9, P. 476, SEP. 1985
- (8) A. BHATTACHARYYA, AND C. VORST, J. ELECTROCHEM. SOC., VOL. 132, NO. 8, P. 1988, AUG. 1985

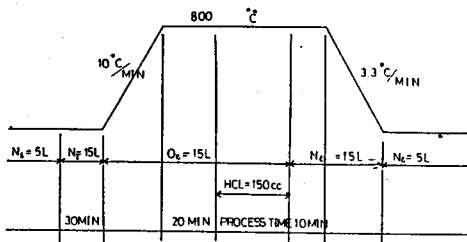


그림 2. FURNACE설비에서 OXIDATION시편에 사용된 RECIPE. FIG. 2 THE RECIPE USED OXIDATION FURNACE.

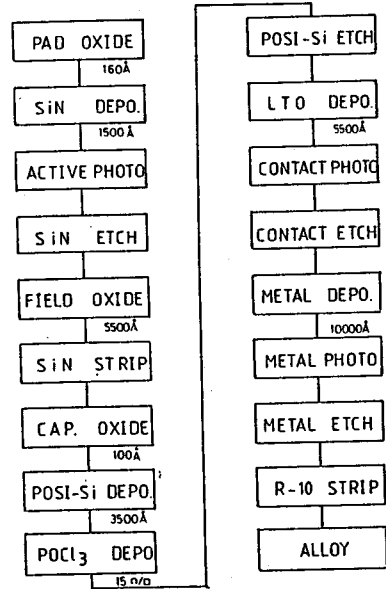


그림 1. 시편제작을 위한 FLOW CHART. FIG. 1 THE FLOW CHART FOR SAMPLE FABRICATION.

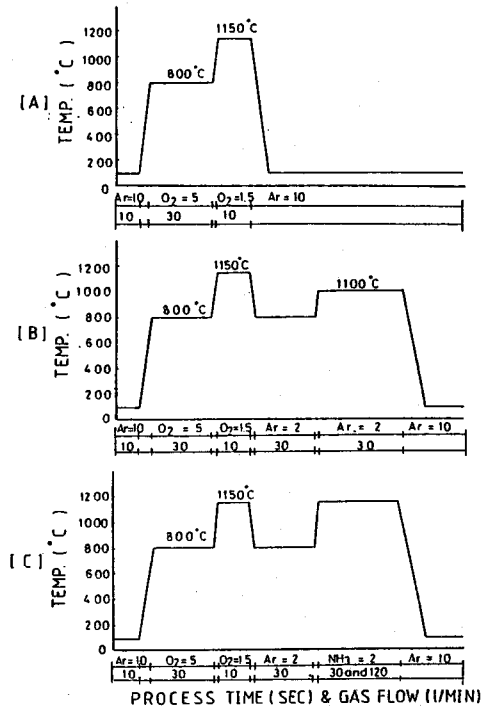


그림 3. (A) RTA설비에서 RTO공정에 사용된 RECIPE. (B) RTA설비에서 RTO와 RTA공정에 사용된 RECIPE. (C) RTA설비에서 RTI의 RTA공정에 사용된 RECIPE. FIG. 3 (A) THE RECIPE USED RTO PROCESS AT RTA SYSTEM. (B) THE RECIPE USED RTO AND RTA PROCESS AT RTA SYSTEM. (C) THE RECIPE USED RTO AND RTN PROCESS AT RTA SYSTEM.

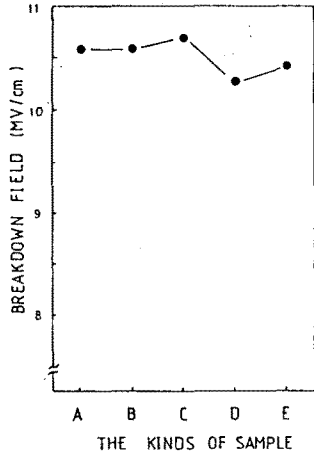


그림 4. 각 시편들과 BREAKDOWN FIELD와의 관계.  
FIG. 4 THE RELATION OF BREAKDOWN FIELD AND SAMPLE.

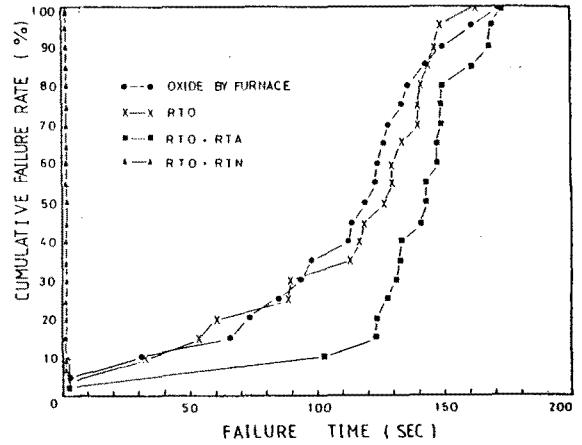


그림 7. 각 시편들의 파괴되는 시간과 축적된 파괴율과의 관계.  
FIG. 7 THE RELATION OF FAILURE TIME AND CUMULATIVE FAILURE RATE ABOUT SAMPLES.

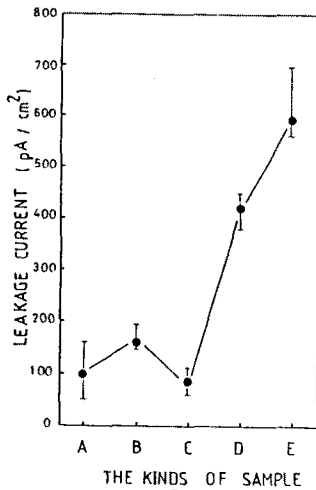


그림 5. 각 시편들과 LEAKAGE CURRENT와의 관계.  
FIG. 5 THE RELATION OF LEAKAGE CURRENT AND SAMPLES.

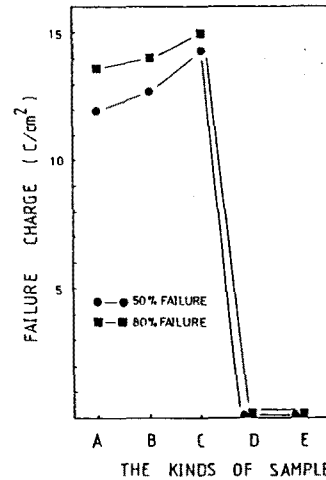


그림 8. 각 시편들과 파괴전하와의 관계.  
FIG. 8 THE RELATION OF FAILURE CHARGE AND SAMPLES.

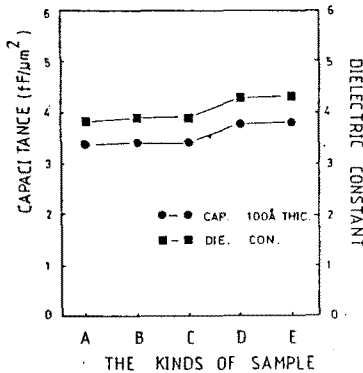


그림 6. 각 시편들과 CAPACITANCE DIELECTRIC CONSTANT와의 관계.  
FIG. 6 THE RELATION OF CAPACITANCE DIELECTRIC CONSTANT AND SAMPLES.

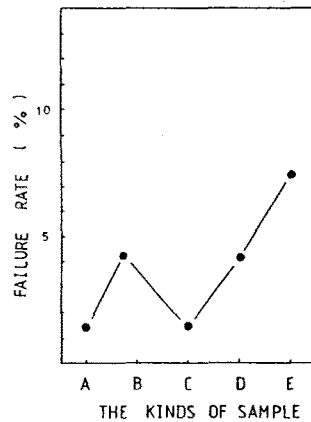


그림 9. 각 시편들과 FAILURE RATE와의 관계.  
FIG. 9 THE RELATION OF FAILURE RATE AND SAMPLES.