

CAPACITANCE 증가를 위한 STACKED FILM의 전기적 특성 연구

○ 최 종 완, 유 재 안, 최 진 식, 류 지 호, 송 성 해.
삼성 반도체 연구소

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF STACKED FILM TO INCREASE CAPACITANCE

JONG WAN CHOI, JAE AN YU, JIN SEOG CHOI, JI HYO RHIEU, SUNG HAE SONG.
SAMSUNG SEMICONDUCTOR LABORATORY

ABSTRACTS

TO INCREASE THE CELL CAPACITANCE OF SMALL GEOMETRY DRAMS, HIGH DIELECTRIC MATERIAL HAS BEEN USED RECENTLY. THE PURPOSE OF THIS WORK IS TO INVESTIGATE THE STRUCTURAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF SiO₂/Si₃N₄/SiO₂ STACKED FILM UTILIZING HIGH DIELECTRIC MATERIAL Si₃N₄(ε=7.5). IN RESULT, THE DIELECTRIC CONSTANT OF STACKED FILM IS 4.0 - 5.0 AND CAPACITANCE AND BREAKDOWN FIELD WERE MORE INCREASED THAN THOSE OF SiO₂ FILM.

1. 서 론

오늘날 MEMORY DEVICE의 DESIGN RULE이 SUBMICRON까지 감소함에 따라 부족한 CAPACITANCE 용량증가를 위해서 PALANAR 구조의 CAPACITOR로 사용된 THERMAL SiO₂막의 두께는 10nm 이하로 감소되고 있으며 또한, ALPHA PARTICLE 에 의한 SOFT ERROR를 방지하기 위해 충분히 큰용량의 전하량을 갖을수 있도록 전계(ELECTRIC FIELD)는 증가해야 한다.

이러한 문제를 해결하기위하여 THERMAL SiO₂의 박막화와 CAPACITANCE를 (4) 상아 올리는 적층구조등으로 실효면적을 증대시키는 방법 (5,6,7,8) 그리고, 보다 큰 유전율의 물질을 사용하는 방법등이 검토되고있다. 현재 고유전율을 가진 재질을 이용하는 방법은 주로 Si₃N₄막(ε_{sin} =7.5)을 사용한 것으로 Si₃N₄막의 결점을 보완하기위하여 SiO₂/Si₃N₄/SiO₂ 막 구조(STACKED FILM)로 사용하거나 FURNACE에서 NH₃ GAS 로 SiO₂막을 NITRIDATION 시켜서 CAPACITANCE를 증가시키는 방법이 활발히 연구되고있다.

또한, 근래에는 초 고유전율을 갖는 Ta₂O₅와 TiO₂막을 적용하는 방법까지 검토 되고있다.

본 연구에서는 고유전율을 갖는 재질을 이용하는 방법으로서 Si₃N₄막을 사용한 SiO₂/Si₃N₄/SiO₂ 구조를 갖는 적층막의 전기적특성 및 RELIABILITY 에 대해 검토하였다.

2. 실험 방법 및 측정

(1) 시편제작

가) WAFER 선정

시편은 ORIENTATION 이 (100) 이고 비저항 18 Ω cm를 갖는 직경 125mm 인 P-TYPE SILICON WAFER 이다.

나) 제작방법

제작 순서는 그림.1 과 같다. 적층막의 구조를 분석하기위해 STACKED FILM 에서 1, 2 차 TEST 로 조건을 분류하였다.

A) 1차 TEST

1ST SiO₂는 FURNACE에서 DRY OXIDATION (800°C) 방법으로 40Å을 일괄적으로 형성하였다. 이때 사용된 RECIPE는 그림.2(a)에 나타내었다. 그리고 이층 막위에 Si₃N₄막을 LPCVD법으로 700°C에서 가스랑, SiH₂CL₂/NH₃-6/300(SCCM)으로 60Å, 90Å, 110Å, 125Å을 각각 DEPOSITION 하였다. 그림.2(B)는 이때 사용된 RECIPE이다. 연속으로 이 시편들을 1000 °C에서 10분간 동시에 WET OXIDATION 시켜 2ND.SiO₂를 형성 시켰다. 그림.2(C)에 사용된 RECIPE를 나타냈다.

B) 2차 TEST

1ST SiO₂는 70Å, 80Å, 100Å을 각각 형성한후 Si₃N₄막을 60Å DEPOSITION 하였다. 그리고 연속으로 이층 막위에 1차 TEST와 같은 조건으로 2ND SiO₂를 형성하였다.

(2) 시 편 측정 방법

가) 막의 두께 측정 방법

THERMAL SiO₂막과 Si₃N₄ DEPOSITION된 막은 ELLIPSOMETER로 한 WAFER당 5점을 측정하여 평균값을 취하였다. (Rudolph 사 AUTO ELV)

나) 전기적 특성 측정 방법

A) FOWLER-NORDHEIM TUNNELING 특성조사

LEAKAGE CURRENT와 BREAKDOWN VOLTAGE는 DC PARAMETER ANALYZER(HP4145B)를 사용하여 한 WAFER당 3점을 측정하여 평균값을 취했다. 여기서 BREAKDOWN VOLTAGE는 1-A가 흐를때의 전압으로 정의했고, 5 V 전압을 가하여 그때의 흐르는 전류를 LEAKAGE CURRENT로 설정하여 이들의 값을 측정했다.

B) CAPACITANCE 측정방법

DEVICE 의 CAPACITANCE 값을 측정기 위해서 LCR METER (HP 4275A)로 한 WAFER당 3점을 측정하여 평균값을 취했고 또, 막의 유전상수(DIELECTRIC CONSTANT)값은 계산하여구했다.

C) TIME DEPENDENT DIELECTRIC BREAKDOWN 의 측정방법.

단위면적당 0.1 A/cm의 전류밀도를 갖는 전류를 인가하여 DIELECTRIC FILM이 파괴되는 시간을 HP4145B 장비로 측정하고 파괴될때 까지의 전하밀도도 조사하였다.

D) FAILURE RATE 측정방법

WAFER위에 성장시킨 SiO₂/Si₃N₄/SiO₂막의 균일성을 보기위하여 DC PARAMETER ANALIZER (KIETHLEY/S250)로 한 WAFER당 70점에대한 BREAKDOWN VOLTAGE값을 측정하여 FAILURE RATE를 관찰하였다.

3. 결과 및 토의

(1) 막의 성장

실제로 각각의 공정조건에 따른 시편들의 두께는 표.1에 나타내었다. 1ST SiO₂와 Si₃N₄막의 두께는 ELLIPSOMETER로 측정한것이며 2ND SiO₂의 두께측정은 일반적으로 알려진 산화된 Si₃N₄막의 두께에 대한 성장된 SiO₂막의 두께 비 즉,

$$\frac{\text{성장된 2ND SiO}_2 \text{ 막 두께}}{\text{산화된 Si}_3\text{N}_4 \text{ 막 두께}} = 1.6 \quad \text{식.1}$$

이므로 산화된 Si₃N₄막 두께를 측정한 후 1.6 배한 계산치로 얻었다. 산화된 Si₃N₄막 두께는 2ND SiO₂막을 기른 시편들을 100:1 HF 용액으로 SiO₂를 전부 STRIP 하고 잔류 Si₃N₄막 두께를 측정하여 처음 DEPO된 Si₃N₄막의 측정치에서 뺀 값으로 구했다. 아울러, SiO₂/Si₃N₄/SiO₂ 적층막을 SiO₂막으로 환산한 EQUIVALENT 두께 (T_{eff})는 식.2를 이용하여 구했다.

$$T_{eff} = T_0 + T_2 + \epsilon_{ox} / \epsilon_{sin} (T_1 - T_2 / 1.6) \quad \text{식.2}$$

여기서, T₀, T₁, T₂는 각각 1ST SiO₂, Si₃N₄, 2ND SiO₂의 두께이고 ε_{ox}, ε_{sin}은 SiO₂막과 Si₃N₄막의 유전상수이다.

2) 적층막의 전기적 특성 검토.

가) I - V 특성 검토.

그림.3은 적층막의 실제두께 변화에 따른 BREAKDOWN FIELD값을 나타낸 것이다. 여기서, Si₃N₄막의 두께와 1ST SiO₂막의 두께를 증가시켜도 BREAKDOWN FIELD값은 큰변화가 없음을 알수있다. 그렇지만 SiO₂ EQUIVALENT 두께로 환산된 BREAKDOWN FIELD값은 SiO₂막을 증가한 적층막이 Si₃N₄를 증가한 것 보다 적음을 알수있다.

그리고, SINGLE SiO₂막 보다 BREAKDOWN FIELD값이 0.5 MV/cm 이상 (150Å 기준) 이상 높게 나타났으며, 특히 이들 적층막을 SiO₂ EQUIVALENT 두께로 환산시킨 BREAKDOWN FIELD값은 4MV/cm 이상 높았다. SiO₂막의 경우, BREAKDOWN MECHANISM은 FOWLER-NORDHEIM CURRENT로 설명되는데 반해 Si₃N₄막은 POOLE-FRENKEL CURRENT MODEL에 적용되는데 이 MODEL이 고 ELECTRIC FIELD 시에 적용되기 때문에 이런 현상이 나타나는 것으로 여겨진다.

각 시편들에 대해 LEAKAGE CURRENT값을 그림. 4에 나타냈다. 적층막에서 Si₃N₄막의 두께가 두꺼울수록 LEAKAGE CURRENT가 증가하는 현상이 나타났다. 원래 Si₃N₄막은 LEAKAGE CURRENT와 FLATBAND VOLTAGE를 야기시키는 많은수의 ELECTRON TRAP이 존재한다고 알려져 있다. 그리고 Si₃N₄막이 SiO₂막에 비해서 생성 STRESS가 약 3배 정도 크고 (Si 위에 생성기준), SILICON에 대한 BARRIER HEIGHT가 ELECTRON의 경우 약 2 eV로 SiO₂막에 비교하여 2/3 정도밖에 되지 않아서 LEAKAGE CURRENT가 큰 것으로 추측된다.

그리고, 1ST SiO₂막이 두꺼워져도 LEAKAGE CURRENT는 증가되고 있지만 Si₃N₄막의 증가에 따른 LEAKAGE 보다 훨씬적게 나타내고 있다. 이런 현유는 LEAKAGE CURRENT가 적은 SiO₂막의 두께증가 때문이지만 일반적으로 SiO₂막이 두꺼워 질수록 LEAKAGE CURRENT가 감소되는 경향과 상반되고 있다. 또한, 100Å 정도의 1ST SiO₂막을 가진 적층막의 LEAKAGE CURRENT가 100Å 정도의 SINGLE SiO₂막 보다 크게 나타내고 있다. 이것은 Si₃N₄막을 OXIDATION 시킬 시 SiO₂/Si₃N₄막의 INTERFACE 영역에서 10Å 내외의 OXYTRIDE 층이 형성되고 OXYNITRIDE층(Si-O₂-Ny : NONSTOICHIOMETRY 구조) 이 과다한 STRESS와 DEFECT를 함유하기 때문으로 추측된다.

나) CAPACITANCE에 의한 특성 검토

측정 DATA를 가지고 식.3을 이용하여 유전상수의 값을 각 시편별로 얻었다.

$$CAPACITANCE = \frac{\epsilon * \epsilon_0 * A}{T} \quad \text{식 3}$$

ε : 유전상수
ε₀ : 자유공간의 유전율
A : CAPACITOR의 면적
T : CAPACITOR의 두께

측정된 CAPACITANCE의 값과 계산된 유전상수의 값을 동시에 그림.5에 나타내었다. 여기에서 STACKED FILM PROCESS를 실시한 시편들은 Si-O₂-Ny층이 형성되어서 SiO₂막과 Si₃N₄막의 중간치의 유전상수를 나타내었고 예상한 바와 같이 T_{sin}/(T_{1st ox} + T_{2nd ox}) 값이 증가 할수록 (Si₃N₄막의 두께 증가) CAPACITANCE값은 증가하고, 또한 위의 값이 감소할수록 (1ST SiO₂막의 두께증가) CAPACITANCE 값은 감소한다.

T_{sin}/(T_{1st ox} + T_{2nd ox})비의 값과 유전상수의 관계를 실험치와 이론치를 그림.6에 그렸으며 이 비의 값이 0.84 정도에서 (STACKED FILM 두께 = 148 Å) 같은 두께 SiO₂막보다 유전상수값이 30% 증가됨을 보여주었다.

따라서 유전 막의 CAPACITANCE를 증가시키는 효과로서 STACKED FILM은 유효하다. 여기에서 유전상수의 이론치는 다음의 식으로 계산하였다.

$$\frac{1}{C_{sta}} = \frac{1}{C_{1st ox}} + \frac{1}{C_{sin}} + \frac{1}{C_{2nd ox}} \quad \text{식 4}$$

식 3을 이용하여 유전상수 ε_{sta}으로 변환시키면,

$$\epsilon_{sta} = \frac{\epsilon_{ox} * \epsilon_{sin} * T_{sta}}{\epsilon_{sin} * T_{1st ox} + \epsilon_{ox} * T_{sin} + \epsilon_{sin} * T_{2nd ox}} \quad \text{식 5}$$

으로 나타낸다.

이 식들에서

C_{sta} : STACKED FILM의 CAPACITANCE
C_{1st ox} : 1ST SiO₂ 막의 CAPACITANCE
C_{2nd ox} : 2ND SiO₂ 막의 CAPACITANCE
C_{sin} : Si₃N₄ 막의 CAPACITANCE
ε_{sta} : STACKED FILM의 유전상수
ε_{ox} : SiO₂ 막의 유전상수
ε_{sin} : Si₃N₄ 막의 유전상수
T_{sta} : STACKED FILM의 두께
T_{1st ox} : 1ST SiO₂ 막의 두께
T_{2nd ox} : 2ND SiO₂ 막의 두께
T_{sin} : Si₃N₄ 막의 두께

이다.

다) T.D.D.B 특성검토

STACKED FILM의 T.D.D.B특성을 그림 7에 나타내었다.

여기서 STACKED FILM은 전부 수초이내에 파괴됨을 보여주고 있으며 파괴될때 까지 136초 걸리는 OXIDE막과 큰 대조를 보여주고 있다. 이는 STACKED FILM에서 OXIDE막과 NITRIDE막의 생성시에 STRESS차이로 인한 파괴 촉진 역할 및 OXIDE - NITRIDE막의 계면에 OXYNITRIDE막이 존재하기 때문인 것으로 믿어진다.

그리고 NITRIDE막의 두께가 증가된 STACKED FILM이 IST OXIDE막의 두께가 증가된 것보다 T.D.D.B 특성은 우수하게 나타나는데 이런 현상은 앞에서의 BREAKDOWN FIELD 특성과 같이 NITRIDE막이 OXIDE막 보다는 HI ELECTRIC FIELD 에서 파괴되는 것 같다.

라) FAILURE RATE에 의한 평가

그림 9에 STACKED FILM의 FAILURE RATE를 보여주고 있다.

NITRIDE막의 두께가 증가된 STACKED FILM은 전반적으로 3 - 5%의 높은 값을 보여주고 있지만 IST OXIDE막의 두께가 증가된 STACKED FILM은 1% 이하의 값으로 떨어지고 있음을 알 수 있었다. 이렇게 IST OXIDE 막이 70Å 이상이 되면 OXIDE-NITRIDE 계면에 OXYNITRIDE층이 형성되어도 OXIDE막 자체는 큰 손격없이 존재 함을 간접적으로 알 수 있었다.

4. 결 론

1) SiO2/Si3N4/SiO2 구조를 갖는 STACKED FILM은 유전상수가 $\epsilon_{ox}(3.9)$ 와 $\epsilon_{sin}(7.5)$ 의 중간치인 $\epsilon = 4.5$ 에서 5.0 정도를 나타내었으며 일반적인 SiO2 막과 비교하여 CAPACITANCE와 BREAKDOWN FIELD 값을 증가시키므로 새로운 PROCESS로 사용될 수 있다.

2) SiO2/Si3N4/SiO2 구조에서 Si3N4막의 두께가 두꺼울수록 ELECTRON TRAP의 수가 증가하여 LEAKAGE CURRENT는 증가하는 추세이다.

3) STACKED FILM 구조상 OXYNITRIDE 층이 형성되어서 이도인한 DEFECT등의 발생으로 T.D.D.B 특성은 SiO2 막에 비해 아주 불리 하였다.

4) STACKED FILM에서 Si3N4막의 두께 증가시에 BREAKDOWN FIELD값과 T.D.D.B 특성은 좋았으며 IST SiO2 증가시에는 LEAKAGE CURRENT 와 FAILURE RATE 특성이 좋았다.

1. A. BHATACHARYYA, C. VORST J. ELECTROCHEM. SOC., VOL. 132, NO. 8, AUG 1985, P1900
 2. J. NULMAN, J. SCAR PULLAS, T. MELE, AND J. P. KRUIUS, IEEE, ELE. DEV. LETT., VOL. IEDM86, P376
 3. J. NULMAN, J. P. KRUIUS, AND A. GOT, IEEE, VOL. EDL-6, NOS. MAY 1985, P205
 4. N. CHAU-CHUN, LU, P. E. COTTRELL, AND W. J. CRAIG, IEEE, VOL. SC-21, NO. 5, OCT 1986, P627
 5. T. WATANABE, A. NENJOH, M. LHIKAWA, AND J. KUMAG, IEDM, P173, 1984
 6. G. S. OHRLEIM, J. ALLY. PHYS., VOL. 47, MAR 1986, P1587
 7. Y. NISHIOKA, N. HJOMNA, H. SHINRIKI, AND K. TURUI, IEEE, TRAN. ELEC. DEV. VOL. ED29, NO. 3, MAR 1982
 8. K. SAITOH, T. MORI, AND H. TAMURA, IEDM, 1986, P680
 9. EIICHI SUZUKI, YUTAKA HAYASHI, IEEE, TRAN. ELEC. DEV. VOL. ED-33, NO. 2 FEB 1986
 10. T. WATANABE, A. MENJOH, M. ISHIKAWA, AND J. KUMAGAI IN IEDM TECH. DIG. P173, 1984
 11. W. E. BEADLE, J. C. C. TSAI R. DDLUMMER, Q. R. M. P129

구분	T _{max} (Å)		T _{min} (Å)		T _{ox} (Å)	T _{off} (Å)	C/V 한 단위 T _{ox} (Å)	
	AS DEPO	초보	전후	전후				
A	42.19	34.24	64.6	21.4	43.2	119.63	98.89	182.39
B	42.7	37.92	91.2	23.7	67.5	146.1	115.72	119
C	43.1	33.6	109	21	88	164.7	122.46	124
D	42.9	38.94	125	19.34	105.6	179.5	128.78	134
E	72.3	35.1	121.1	21.93	48.17	147.57	129.5	129
F	82.3	35.1	121.93	21.93	48.17	157.57	138.5	142
G	183	35.1	121.93	21.93	48.17	178.27	168.2	164

표.1 시편들의 두께 TABLE.1 THICKNESS OF SAMPLES

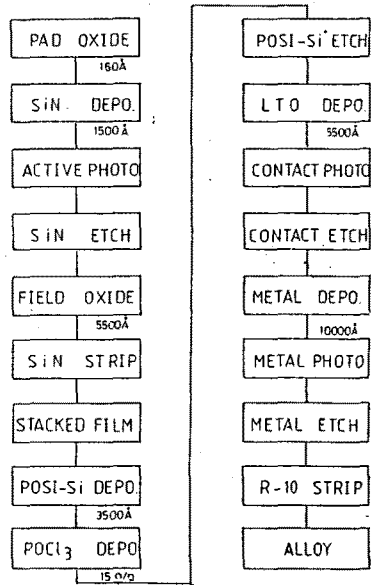


그림.1 시편제작을 위한 FLOW CHART FIG.1 THE FLOW CHART FOR STACKED FILM FABRICATION

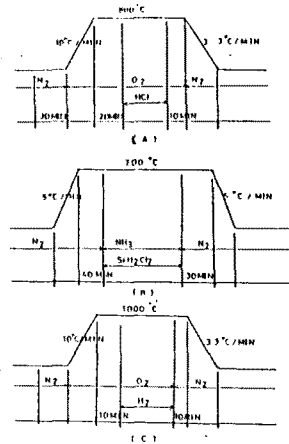


그림.2 (A) IST SiO2 막 공정 RECIPE (B) Si3N4 막 공정 RECIPE (C) 2ND SiO2 막 공정 RECIPE
 FIG.2 (A) THE RECIPE USED 1ST SiO2 PROCESS (B) THE RECIPE USED Si3N4 PROCESS (C) THE RECIPE USED 2ND SiO2 PROCESS

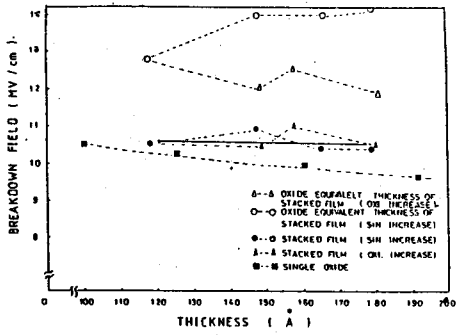


그림 3. 적층막의 두께와 BREAKDOWN FIELD와의 관계.
FIG. 3 THE RELATION OF BREAKDOWN FIELD AND STACKED FILM.

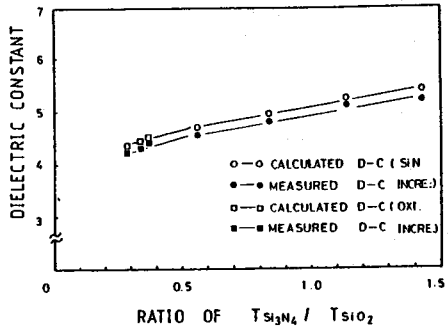


그림 6. Ts_{i3n4} / Ts_{iO_2} 의 비와 유전상수와의 관계.
FIG. 6 THE RELATION OF Ts_{i3n4} / Ts_{iO_2} AND STACKED FILM.

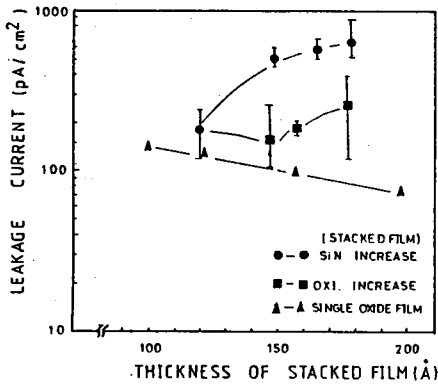


그림 4. 적층막의 두께와 LEAKAGE CURRENT와의 관계.
FIG. 4 THE RELATION OF LEAKAGE CURRENT AND STACKED FILM.

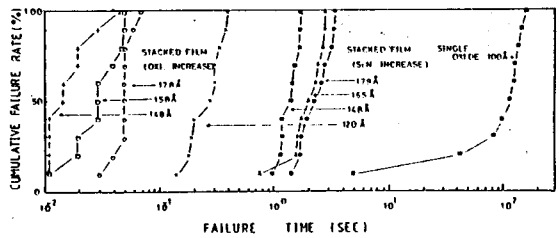


그림 7. 적층막의 파괴되는 시간과 축적된 파괴율과의 관계.
FIG. 7 THE RELATION OF FAILURE TIME AND CUMULATIVE FAILURE RATE ABOUT STACKED FILM.

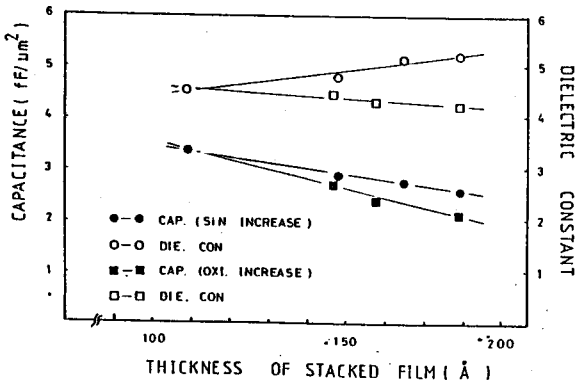


그림 5. 적층막의 두께와 CAPACITANCE DIELECTRIC CONSTANT와의 관계.
FIG. 5 THE RELATION OF CAPACITANCE DIELECTRIC CONSTANT AND STACKED FILM.

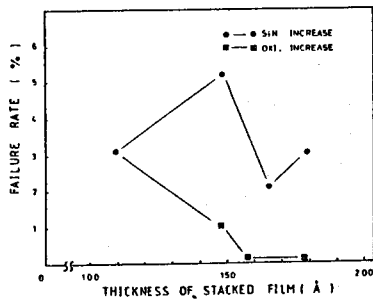


그림 8. 적층막의 두께와 FAILURE RATE와의 관계.
FIG. 8 THE RELATION OF FAILURE RATE AND STACKED FILM.