

MOS 커패시터 절연막의 수명예측법에 관한 연구

논문
12-7-7

A Study on the Life Time Prediction for the oxide of MOS Capacitor

이동희*, 최복길***, 성만영**, 문병무**, 성영권**

(Dong-Hee Rhie*, Bok-Gil Choi***, Man Young Sung**, Byung-Moo Moon**, Yung-Kwon Sung**)

Abstract

This paper presents the results of an evaluation of the statistical distribution of TDDB test under the acceleration conditions of elevated temperatures of each 170℃, 200℃, 250℃ for the laboratory fabricated silicon dioxide films. In all cases, the TDDB data were found to follow the Weibull distribution. The authors estimated the shape parameters and the scale parameters of the Weibull plots of the TDDB data, using the LSMRE(least square median rank estimation) for the shape parameters and the MLE(maximum likelihood estimation) for the scale parameters. For the shape parameters, the values of 0.54, 0.49, 0.56 were obtained at each above mentioned temperature conditions, and from these results it can be concluded that all of the failure types of this temperature accelerated tests were DFR type. The scale parameters estimated in this paper represents the expectation life of the samples, and the values of 1317(hr), 251(hr), 36(hr) were obtained at each above mentioned temperature conditions, using the MLE. Using the scale parameters of the Weibull plots, the Arrhenius plot of time-to-failure for the oxide dielectric breakdown was prepared, and from this result the activation energy for the breakdown reaction process was calculated as 0.83 eV. From these results, the expectation life was estimated as above 3,500,000(hr) for the sample at 50℃ operating temperature.

Key Words(중요용어) : Weibull distribution(Weibull 분포), DFR(decreasing failure rate : 감소형, 초기고장형), shape parameter(형상모수), scale parameter(척도모수), LSMRE(least square median rank estimation : 중앙순위 최소자승법), MLE(maximum likelihood estimation : 최우추정법), activation energy(활성화 에너지)

1. 서 론

현재 submicron 단위의 미세 구조가 구현됨에 따라 반도체 집적회로는 보다 더 고속화, 고성능화되고 있으나, 이에 수반되어 반도체 칩 내부의 단위소자가 받는 스트레스는 보다 엄격해지고 있으며, 이에 따라 소자의 신뢰성에 영향을 미치는 요인에 대한 규명 작업 또한 보다 적극적으로 검토되고 있다. 그 중에서

도 산화막의 경시파괴(time dependent dielectric breakdown : TDDB)현상은 submicron CMOS 기술 분야에서 특히 중요한 고장양상(failure mode)인데, 왜냐하면 소자의 고집적화를 위한 게이트 산화막의 박막화에 대해 신뢰성 면에서는 산화막의 최소 두께가 이 경시파괴(TDDB) 전계가속 시험치로 제한되기 때문이다.

이와 같이 고집적화로 인한 소자 치수의 미세화에 따라 소자의 신뢰성이 중요한 문제로 대두되었으며, 따라서 장기 신뢰성에 대한 품질 보증을 위해서는 파괴기구 및 고장분포에 대해 통계적인 처리에 의한 열회기구 해석 및 수명예측기법을 확립하는 것이 극히 중요한 과제로 되었다.

산화막의 경시파괴(TDDB)특성 데이터를 해석하기 위한 방안으로 종래 Arrhenius 모델이라고도 불리는 E 모델[1~3]이 널리 적용되어 왔으나, 근래에

* : 수원대학교 전기공학과
(경기도 화성군 봉담면 와우리 산 2-2, Fax : 0331-220-2494)

** : 고려대학교 전기공학과

*** : 공주대학교 전기공학과

1999년 1월 4일 접수, 1999년 7월 5일 심사완료

Fowler-Nordheim 전류전도에 기초한 1/E 모델 [4, 5]이 제안되어 그 적합성에 대한 논의가 상당한 쟁점이 되었다. 그러나 최근의 연구 결과에 의하면 10MV/cm에서 5MV/cm의 전계 범위에 대해 E 모델의 적합성이 보다 우수한 것으로 보고되고 있다 [6].

한편 절연과괴현상은 DRAM 소자의 초기 수명에 영향을 미치는 주된 인자로서 그 파괴기구는 MOS 소자의 dc 도전성에 의해 특성화된다. 이에 따라 종래 산화막에 대한 스트레스 시험에 있어서 그 고장시간(time-to-failure)이, 보진시간 관측치에 주로 이용되는 분포인 대수정규분포(log-normal distribution)를 따른다고 가정하여 소자의 신뢰성을 평가하였다[7, 8].

이에 비해 일반적인 신뢰성 데이터 해석에서는, 그 모수(parameter)의 값을 변경함으로써 각종 분포형에 적용시킬 수 있는 Weibul 분포가 유용한 것으로 알려져 있다[9]. 이는 Weibul 분포의 경우 그 형상모수(shape parameter)로부터 분포의 형태, 즉 고장발생현상을 분류할 수 있고 이로부터

고장 원인을 규명함에 있어 하나의 지침을 설정할 수 있기 때문이다. 또한 Weibul 분포함수에서의 척도모수(scale parameter)는 시험 대상 시료의 특성수명(characteristic life) 즉 기대수명(expectation life)을 나타내므로 이로부터 피시험소자의 수명 예측에 이용할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 DRAM 소자의 기본 구성요소인 MOS 커패시터를 모의하기 위해 실험실에서 산화막 박막(thin oxide film)을 성장시켜 MOS 구조를 제작한 후, 이 시료 소자에 일정한 온도 스트레스를 가한 상태에서 경시과괴(TDDDB)특성을 조사하여 이로부터 정상 동작온도 상태에서의 수명 예측을 위해 Weibul 분포를 적용하여 그 형상모수와 척도모수를 각각 중앙순위최소자승법(MRLSE : median rank least square method)과 최우추정법(MLE : maximum likelihood estimation)에 의해 구한 뒤 이들 데이터로부터 산화막의 신뢰도 평가 방안을 수립하기 위한 방안의 일환으로 온도가속계수를 구하여 그 기대수명을 예측하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 아레니우스(Arrhenius) 모델

반도체 소자는, 물질의 표면적인 화학적, 물리적 변

화를 이용한 것으로서, 소자에 대해 유해한 화학적, 물리적 반응이 진행되어 어느 한계에 도달하면 고장이 발생한다고 하는 반응론 모델이 일반적으로 이용되고 있다[10, 11]. 즉 정상상태로부터 열화상태로 진행되는 과정에서는 그 진행과정 도중에 에너지장벽이 있어, 이를 넘어가기에 필요한 에너지가 환경(스트레스)으로부터 공급되어야 한다. 또한 이 에너지장벽(활성화에너지)을 넘어 반응이 진행되는 빈도는 확률적으로 주어지며, 소위 볼츠만통계에 따른다. 그림 1에 이 과정을 도식적으로 나타내었다. 그림 1에서 파괴에 대한 구동력은 외견상 안정상태(apparently stable state) G_1 와 열화상태(또는 파괴상태) G_2 간의 자유에너지차(free energy difference)이다. 그러나 이 열화반응이 진행되는 속도는 급격한 열화상태, 즉 파괴상태로 이르는 활성상태와 안정상태를 구분하는 자유에너지차 ΔG^* 에 의존하는 특성을 가진다. 이 에너지차 ΔG^* 는 활성화 자유에너지 또는 활성화에너지라 하며, 파괴에 이르는 그 반응속도(reaction rate) K 는 다음과 같이 주어진다.

$$K \propto \exp \left[-\frac{\Delta G^*}{kT} \right] \quad (1)$$

만일 ΔG^* 를 상수 E_a (스트레스 및 온도에 무관)라 가정하면, 상기 식은 고장시간(time-to-failure)에 대한 아레니우스식(Arrhenius equation)으로 주어진다. 반응속도(reaction rate) K 의 온도스트레스에 대한 의존성은 아레니우스에 의해 다음과 같이 주어지며,

$$\frac{\partial x}{\partial t} = K = A \exp(-E_a/RT) \quad (2)$$

여기서 x 는 특성치 또는 열화량을 나타내고, K 는 반응속도 즉 열화속도, A 는 빈도인자, E_a 는 1몰당 활성화에너지, R 은 기체상수, T 는 절대온도이다. 여기서 특성치 x 가 어느 규정치 x_{sp} 에 이르렀을 때 수명($t=L$)이 끝난다고 하면, 위 식을 적분함으로써,

$$x = Kt + x_0 \quad \text{또는} \quad x - x_0 = \Delta x = Kt \quad (3)$$

$$L = \frac{x_{sp} - x_0}{K} = \frac{\Delta x_{sp}}{K}$$

위 식의 K 에 식 우변의 온도스트레스의 영향을 대입하여 대수를 취하면 다음과 같은 아레니우스식이 주어진다.

$$\ln L = A + \frac{E_a}{kT} \quad (4)$$

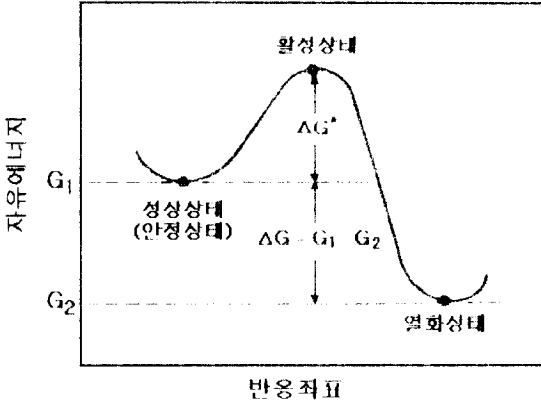


그림 1. 파괴반응속도의 자유에너지 모식도
Fig. 1. Free energy description of break-down reaction rates

2.2 Weibul 분포

신뢰성 데이터의 해석에는 parametric 추정, 즉 모수추정(분포형을 가정하여 추정)과 nonparametric 추정, 즉 비모수추정(분포형을 가정하지 않고 추정)의 두가지 방법이 있으나, 반도체 소자의 고장은 몇가지의 분포로 분류할 수 있으므로, 경제적인 측면에서 거의 모수추정법이 이용되고 있다. 실제로 이용되고 있는 분포형으로는 지수분포, 정규분포, 대수 정규분포, Weibul 분포 등이 있으며, 각각 그 용도에 따라 다양하게 적용되고 있다. 이 중에서도 모수(parameter)의 값을 변화시킴으로써 특정 분포형에 합치시킬 수 있는 Weibul 분포는 다양한 분야에서 유용하게 활용되고 있다.

임의 변수가 시간 t인 경우의 Weibull 확률밀도함수 f(t)는 다음과 같이 주어진다.

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (5)$$

여기서, α는 척도모수(scale parameter), β는 형상모수(shape parameter), γ는 위치모수(location parameter)라 한다. 만일 t=0이전에 고장이 발생하지 않는다면, γ=0 이므로 다음과 같은 2모수

Weibull 확률밀도함수가 주어진다.

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (6)$$

상기 2모수 Weibull 분포의 누적고장분포함수 F(t)와 신뢰도 함수 R(t)는 다음과 같다.

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (7)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (8)$$

(4)식의 의미는 t시간까지 시료가 고장이 없이 생존할 누적확률분포이다.

전술한 γ=0의 조건과, α=t₀라 하면,

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] = \exp\left(-\frac{t^\beta}{t_0^\beta}\right) \quad (9)$$

로 되고, 윗 식의 양변에 자연대수를 2회 취하면,

$$\ln \ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) = \beta \ln t - \ln t_0^\beta \quad (10)$$

가 얻어진다. Weibul 확률지는 종속의 눈금이 Y=ln ln [1/(1-F(t))]로, 횡축 눈금이 X=ln t로 작성되어 있으므로 Y=mX-ln t₀의 1차식 관계를 나타내며, 따라서 그 기울기로부터 형상모수 β를 간단히 구할 수 있다. 한편 일반적으로 Weibul 확률지를 이용한 고장해석시 윗식의 t₀를 척도모수로 취급하고 α를 특성수명 즉 기대수명(expectation life)으로 하여 확률지 상에서 척도모수를 구한 후 (5)식의 관계에서 기대수명을 구하는 방법이 널리 이용되고 있다. 그러나 이와 같은 직관적 방법으로는 그 분포형이 Weibul 분포형인지의 여부는 충분히 판단할 수 있으나 모수의 값을 정확히 추정하기는 어려우므로 일반적으로 최소자승법(least square method)을 이용한 회귀선을 작도(plotting)하여 모수를 추정하고 있다.

한편 신뢰성시험에서 총시료수 n에 대해, 시험시간 t_i에서의 누적고장수 Σr_i가 얻어질 때 이 데이터로부터 가능한 한 고정도 추정을 위한 누적고장확률 F(t_i)의 계산방법으로는 일반적으로 중앙순위법(median rank method)이 이용되고 있다. 즉 고장시간 데이터의 수가 많은 경우(50개 이상)에는 일정 시간 간격별 히스토그램을 작성하고, 구간 고장개수를 시료수로 나누면 해당 구간까지의 누적고장확률 F(t)를 구할 수 있다. 그러나 시료수가 적은 경우

(n(20)에는 오차가 커지므로 n개의 시료 중 j번째 고장이 발생할 확률밀도함수에 대한 면적 적분이 50%가 되는 50% 중앙순위함수를 사용하여 누적고장확률을 구한다. 이 경우 시간 t_i 에서의 누적고장확률 $F(t_i)$ 는 다음 식으로 주어진다[13].

$$F(t_i) = \frac{\sum r_i - 0.3}{n + 0.4} \tag{11}$$

이들 누적고장확률을 오름차순으로 정렬한 고장시간($t_1 \leq \dots \leq t_n$)에 맞추어 Weibull 확률지 상에 t_i , $F(t_i)$ 를 표시한 후, 최소자승법을 이용하여 (10)식의 직선으로 선형회귀(regression)시켜, α 와 β 의 추정치를 구하면 다음과 같다.

$$\alpha = \exp \left\{ \frac{\sum x_i}{n}, \frac{\sum y_i}{n\beta} \right\} \tag{12}$$

$$\beta = \frac{\left[\left(\sum x_i y_i \right) n - \sum x_i \sum y_i \right]}{\left[\left(\sum x_i^2 \right) n - \left(\sum x_i \right)^2 \right]} \tag{13}$$

이때, $x_i = \ln t_i$, $y_i = \ln[-\ln(1-F(t))]$ 이다.
 한편 Gibbons 등[12]은 Monte Carlo법에 의해 2모수 Weibull 분포에 대한 각종 모수 추정법을 비교한 바 있다. 이에 의하면 평균자승오차(MSE : mean square errors)를 지표로 하여 각 추정법을 비교하였을 때 시료수가 10에서 25 사이인 경우, 중앙순위최소자승법(LSMRE : least square median rank estimator)은 β 에 대한 추정에는 상당히 양호한 결과를 나타낸 반면 α 에 대한 추정치는 신뢰도가 낮은 것으로 알려졌다. 이에 비해 최우추정법(MLE : maximum likelyhood estimator)은 각각의 모수에 대해 모두 양호한 결과를 보이는 것으로 보고하고 있다. 따라서 본 논문에서는 Weibull plot의 기울기를 나타내는 형상모수 β 는 최소자승법으로 추정하고, 척도모수에 대해서는 다음에 나타낸 최우추정법에 의해 추정해 보았다.
 2 모수 Weibull 분포의 우도함수(likelihood fuction) L은 다음과 같다.

$$L(t_1, \dots, t_n; \beta, \alpha) = \prod_{i=1}^n (\beta/\alpha)(t_i/\alpha)^{\beta-1} \exp[-(t_i/\alpha)^\beta] \tag{14}$$

(10)식의 양변에 자연대수를 취한 후, α 와 β 에 관해 미분하면 다음 식이 얻어진다.

$$\frac{\left(\sum_i t_i^\beta \ln t_i \right)}{\left(\sum_i t_i^\beta \right)} - \frac{1}{\beta} - \frac{\left(\sum_i \ln t_i \right)}{n} = 0, \tag{15}$$

$$\alpha = \left[\frac{1}{n} \sum_i t_i^\beta \right]^{1/\beta} \tag{16}$$

β 는 기본적으로 위 (15)식을 Newton Raphson법을 이용하여 구하고, α 는 β 를 (16)식에 대입하여 얻게 된다.

Newton Raphson법과 같은 반복 수치계산법(numerical iteration procedure)를 이용하는 경우에는 그 초기값이 실제값에 근접하게 설정되어야 한다. 그러나 본 연구에서는 선술한 바와 같이 Gibbons 등의 결과를 이용하여 β 는 최소자승법을 적용하여 추정하고 이 값을 이용하여 (16)식으로부터 α 를 구하였다.

3. 시료제작 및 실험

3.1 시료 제작

비저항이 0.1~10 Ω -cm인 (100) p형 Si 웨이퍼(4")를 표준세척법()으로 세척한 후 확산로에 의해 건식산화법으로 900 $^{\circ}$ C 분위기에서 1 l/min의 유량으로 산소를 흘리면서 90A 정도의 산화막 박막을 형성시켰다. 이 때 막의 두께는 Nanoscope(Anelva 911-9150)를 사용하여 측정하였다. 이와 같이 산화막을 성장시킨 후 진공증착장치를 이용하여 2 \times 10 $^{-6}$ Torr의 고진공 분위기에서 shadow 마스크를 이용하여 순도 99.999%의 Al(Junsei Kagaku Co.)을 증착하여 MOS 구조의 상부전극으로 하였다. 이 때 시료의 전극은 1mm의 직경이 되도록 준비하였으며, 한 시료당 전극은 20개가 되도록 하였다. 하부전극은, 상부전극 증착 전에 HF 용액을 이용하여 산화막을 제거한 후 웨이퍼 후면을 Al으로 증착하여 공통전극 구조가 되도록 하였다.

3.2 특성 측정

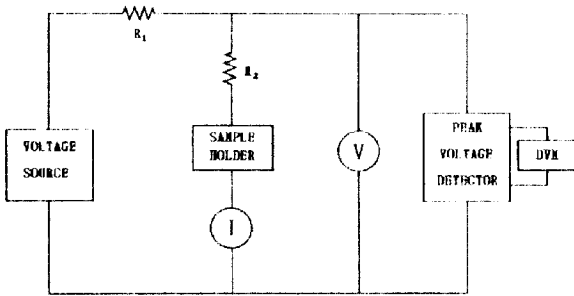
상기와 같이 제작된 시료의 TDDB 특성용 측정하기 위해, 시료에 7V의 일정전압을 인가한 채 시료를 통해 10 μ A 이상의 전류가 흐를 때를 고장(failure)

즉 절연파괴된 상태로 규정하여 시료 양단의 전압강하가 급강하할 때 이를 피크치검출계(peak detector)로 검출하여 DVM(digital voltmeter)으로 읽어 파괴전압을 측정하였다. 온도스트레스에 의한 영향을 살펴보기 위해 분위기 온도를 170℃, 200℃, 250℃로 변화시킨 조건 하에서 각각 시료수(n) 20개 썩의 MOS 구조가 형성된 시료를 대상으로 전압 인가시간에 대한 절연파괴양상을 측정하였다. 그림 2에 본 실험에 사용된 측정시스템의 회로도 및 샘플홀더 구조도를 나타내었다. 한편 전계스트레스효과는 시료에 인가되는 전계를 일정하게 하여 온도를 변수로 하여 그 TDDDB특성을 조사하였다.

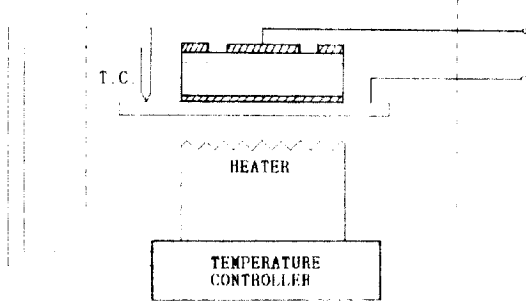
전술한 바와 같이 TDDDB 특성 측정시 170℃ 조건에서 시험한 경우에는 1000시간 동안에 대해 관측구간 i 를 10구간으로 하고, 전관측시간 t_i 를 100시간 간격으로 하여 각 관측구간에서의 잔존시료수 즉 동작시료수 n_i 를 구한 후 이로부터 고장수 $r_i = n_{i-1} - n_i$ 와 누적고장수 $\sum r_j = n - n_i$ 및 누적고장확률 $F(i) = 1 - n_i/n$ 을 구하였고, 200℃ 및 250℃ 조건에서 시험한 경우에는 각각 60시간 및 10시간 동안에 대한 고장양상을 관측하였으며, 이 때 관측구간 i 는 동일하게 10 구간으로 하고 전관측시간 t_i 는 각각 6시간 간격 및 1시간 간격으로 하였다. 이로부터 각 시험온도 조건에서의 시간에 대한 누적고장확률을 구하여 Weibul 용지에 기록하였다.

그림 3에 각 시험조건별 TDDDB 특성을 Weibul 도표 상에 나타내었다. 이로부터 각 시험온도에서 수명분포의 형(type)은 기본적으로 동일함을 알 수 있으며, 따라서 열화의 물리적원인은 변하지 않고 열화현상이 발생하는 속도만이 변하는 것으로 생각할 수 있다. 이는 본 MOS 소자의 관리시험을 수행함에 있어 온도가속 수명시험을 적용할 수 있음을 나타낸다. 한편 Weibul plot의 기울기 즉 Weibul 분포 함수에서의 형상모수(shape parameter)는 그림 3의 결과로부터 직관적인 방법에 의해 간단히 구할 수 있으나 일반적으로 오차가 커지므로 전술한 최소자승 중앙순위법(LSMRE : least square median rank estimator)에 의해 170℃, 200℃, 250℃의 각 시험조건에 대한 형상모수를 구해본 결과 각각 0.54, 0.49, 0.56 정도의 값이 얻어졌다. 이로부터 각 시험조건에 대해 그 형상모수의 값이 모두 1보다 작음을 알 수 있고, 이는 본 연구에서의 시험이 모두 온도가속시험이므로 그 고장형태 모두 초기고장형(DFR : decreasing failure rate)임을 나타낸다. 한편 이 형상모수의 값과 (16)식을 이용하여 최우추정법에 의해 각 시험조건에 따른 척도모수의 값을 구한 결과 각각 1317(hr), 251(hr), 36(hr)의 값을 얻었다. 여기서 구한 척도모수는 전기한 바와 같이 산화막 시료의 특성수명, 즉 기대수명을 나타낸다.

그림 4는 앞에서 구한 Weibul 분포의 척도모수(scale parameter), 즉 기대수명으로부터 이를 산화막 시료의 고장시간으로 간주하여 온도스트레스에 대한 고장시간-온도 간의 아래니우스 plot으로서, 이 결과로부터 (4)식에 주어진 파괴반응에서의 활성화에너지를 구한 결과 0.83 eV의 값이 주어졌다. 이 결과는 McPherson 등이[6] 장기간 저전계 시험조건하에서 산화막의 TDDDB 특성에 대한 E모델과 1/E모델의 비교연구에서 얻어진 활성화에너지 0.75-



(a)



(b)

그림 2. 경시파괴특성 시험용 측정회로 (a) 및 샘플홀더 구조 (b)

Fig. 2. Measuring circuit for TDDDB test (a) and the structure of sample holder (b)

4. 실험결과 및 고찰

10eV의 값과 대략 일치하는 값이다.

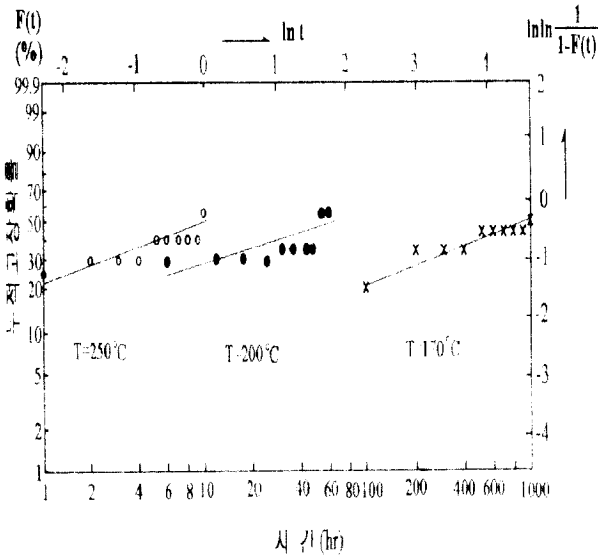


그림 3. 각 시험온도에서의 산화막 경시파괴특성 데이터
 Fig. 3. TDDB data at each test temperature

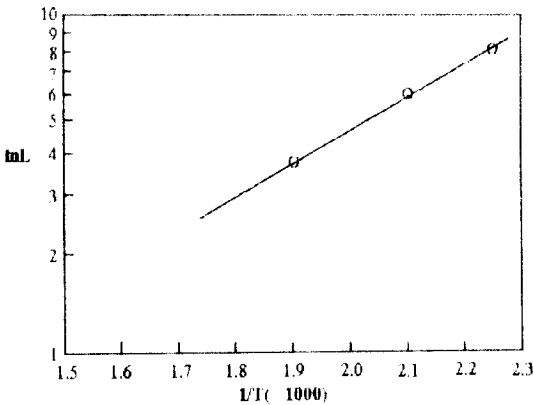


그림 4. 유전체 산화막 절연파괴에 대한 고장시간-온도 특성
 Fig. 4. Arrhenius plots of time-to-failure for oxide dielectric breakdown

한편 이 온도가속시험의 결과로부터 산화막 소자를

50℃에서 동작시키는 경우를 가정하여 그 기대수명을 예측해 보기 위하여 온도가속계수(temperature acceleration factor)를 구하였다. 온도가속계수 A_L 은, 아레니우스 식에 의하면, 다음 식과 같이 주어지며,

$$A_L = \frac{L_r}{L} = \exp \left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (17)$$

여기서 L_r 은 기준온도, 즉 시험온도 T_r 에서의 기대수명을 나타내고 L 은 동작온도 T 에서의 기대수명을 나타낸다. 이에 대해 보다 엄밀한 아이링(Eyring) 식[11]이 제시되어 있으나, 활성화에너지가 0.4 eV 이상으로 커짐에 따라 이들 두 모델 간의 온도가속계수 간의 차이는 미소하게 되는 것으로 알려져 있으며, 따라서 본 논문에서는 활성화에너지의 값이 0.8eV 이상의 큰 값으로 구해졌으므로 (17)식의 아레니우스 모델을 적용하여 그 온도가속계수를 구하였다. 즉 활성화에너지를 0.83 eV로 하고 시료의 동작온도를 50℃의 시험온도 170℃에 대한 온도가속계수를 구해보면 3041 정도의 값이 주어지며 이로부터 시료 동작온도 50℃에서의 기대수명을 약 390만시간으로 예상할 수 있었다. 이는 시험온도 250℃의 경우에도, 그 온도가속계수는 9.97×10^4 이로부터 계산된 동작온도 50℃에서의 기대수명은 약 350만 시간으로서 대략 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 DRAM 소자의 기본 구성요소인 MOS 커패시터를 실험실에서 제작한 후, 온도 스트레스를 가한 상태에서의 경시파괴(TDDB)특성을 조사하고, 이로부터 정상 동작온도 상태에서의 수명을 예측하기 위해 Weibul 분포를 적용하여 그 형상모수와 척도모수를 각각 최소자승중앙순위법과 최우추정법에 의해 구한 뒤 이들 데이터로부터 산화막의 신뢰도 평가 방안을 고찰해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) TDDB 데이터로부터 170℃, 200℃, 250℃의 각 시험조건에 대한 형상모수(shape parameter)를 구해본 결과 각각 0.54, 0.49, 0.56 정도의 값이 얻어졌다. 이는 본 연구에서의 시험이 전계스트레스는 일정하게 유지한 상태에서 온도스트레스만을 가변시킨 온도가속시험이므로 그 고장형태 모두 초기 고장형임을 나타낼 것이라는 예상과 일치하였다.

2) TDDB 데이터로부터 170℃, 200℃, 250℃의 각 시험온도 조건에 대한 Weibul 분포의 척도모수

(scale parameter), 즉 기대수명을 구한 결과 각각 1317(hr), 251(hr), 36(hr)의 값을 얻었다.

3) 아레니우스(Arrhenius) 모델을 적용하여 시료 소자에 대한 각 시험온도에서의 온도가속계수를 구하여 동작온도 50℃에 대한 기대수명을 예측해 본 결과 약 350만 시간 이상의 값을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사(기초전력공학공동연구소 96-중-06)의 일부 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고 문헌

- [1] D.Crook, "Method of determining reliability screens for time dependent dielectric breakdown", 1979 IRPS Proceedings, p. 1.
- [2] A. Berman, "Time-zero dielectric reliability test by a ramp method", 1981 IRPS Proceedings, p. 204.
- [3] J. McPherson and D. Baglee, "Acceleration factors for thin oxide breakdown", J. Electrochem. Soc., Vol. 132, p. 1903, 1985.
- [4] J. Lee, I.Chen, and C. Hu, "Modeling and characterization of gate oxide reliability", IEEE Tran. on Electron Dev., vol. 35, no. 12, pp. 2268-2278, 1988.
- [5] K. Schuegraf and C. Hu, "Reliability of thin SiO₂", Semiconductor Sci. and Tech., vol. 9, pp. 989-1004, 1994.
- [6] Joe McPherson, Vijay Reddy, Kaustav Banerjee, and Huy Le, "Comparison of E and 1/E TDDB Models for SiO₂ under long-term/low-field test conditions", IEDM, pp. 171-174, December 1998.
- [7] E. Domangue, R. Rivera and C. Shepard, "Reliability prediction using large MOS capacitors", 1984 Proc. 22nd annual IEEE IRPS, pp. 140-145.
- [8] R. A. Metzler, "Theoretical justifications for the log-normal distribution of time dependent breakdowns in MOS devices", int'l. Elect. Dev. Meeting, 1979.
- [9] 安食 恒雄 監修, 半導體デバイスの信頼性技術, 日科技連 pp. 37-43 1993.
- [10] J. W. McPherson, "Stress dependent activation energy", 1986 Proc. 24th annual IEEE IRPS, pp. 12-18.
- [11] 鹽見 弘, 故障物理入門, 4章 故障物理モデル, 日科技連 1970.
- [12] Diane L. Gibbons and L.C. Vance, "A Simulation Study of Estimators for the 2-Parameter Weibul Distribution", IEEE Trans., Reliability, Vol. R-30, No. 1, pp. 61-66, April 1981.
- [13] Jean Jacquelin, "A Reliable Algorithm for the Exact Median Rank Function", IEEE Transaction on Electrical Insulation" vol. 28 No. 2, April 1993, pp. 168-171.