

論文96-33A-6-16

다수의 전계제한링을 갖는 Planar소자의 해석적 모델

(An Analytic Model for Planar Devices with Multiple Floating Rings)

裴東健*, 鄭相九**

(Dong-Gun Bae and Sang-Koo Chung)

요 약

다수의 전계제한 링을 갖는 접합다이오드에서 항복전압과 최적 링 간격을 해석적으로 계산할 수 있는 간단한 모델을 제안하였다. 각 링의 정규화 전위식을 정규화 공핍영역 폭 및 링간격의 함수로 유도하였으며 표면에 서의 최대전계가 같을 때 각 접합에서 동시에 항복이 일어난다는 조건으로 해석적 모델을 만들었다. 제안된 모델의 계산결과를 2차원 소자 Simulation 프로그램인 MEDICI를 사용하여 얻은 결과와 이미 보고된 data들과 비교하였으며 매우 잘 일치함을 알 수 있었다. 또한 모든 수식이 정규화된 형태로 제안되었으므로 접합깊이나 기판농도가 변하더라도 항복전압과 최적간격을 손쉽게 구할 수 있음을 보였다.

Abstract

A simple analytic model for the planar junctions with multiple floating field limiting rings (FLR) is presented which yields analytic expressions for the breakdown voltage and optimum ring spacings. The normalized potential of each ring is derived as a function of the normalized depletion width and the ring spacing. Based on the assumption that the breakdown occurs simultaneously at cylindrical junctions of FLR structure where the peak surface electric fields are equal, the optimum ring spacings are determined. The results are in good agreement with the simulations obtained from two dimensional device simulation program MEDICI and with the experimental data reported. The normalized expressions allow a calculation of breakdown voltage and optimum spacing over a broad range of junction depth and background doping levels.

1. 서 론

반도체 pn접합에 있어 수평방향의 확산에 의해 소자의 가장자리 부분에 원통형 접합 및 구형 접합이 생김으로 해서 소자의 항복전압이 평면형 접합의 이상적인

값보다 매우 낮아진다. 항복전압을 높이기 위해서는 이러한 원통형 접합 및 구형 접합부에 집중되는 전기장을 분산시켜야 하는데 이러한 방법으로 Field Limiting Ring (FLR)^{[1][2]}, Field Plate^{[3][4]}, Junction Termination Extension^[5] 등이 있다. 이 방법들중 FLR구조는 부가적인 마스크 공정의 필요없이 주접합 제조공정중에 링을 만들수 있으므로 많이 사용되는 방법으로 Kao와 Wolley^[1]에 의해 처음으로 제안된 후 2차원 수치해석 기법을 사용하여 최적의 링간격을 설계하는 방법이 Adler^[2] 등에 의해 제안되었다. 그러나 이러한 수치해석 기법은 많은 계산시간을 필요로 하며 소자의 크기, 기판의 불순물농도, 접합깊이 등이 바뀌면 매번 다시 계산을 해야하는 문제점이

* 正會員, 巨濟專門大學 電子科

(Dept. of Electronics, Koje Junior College)

** 正會員, 亞洲大學校 電子工學科

(Dept. of Elect. Eng., Ajou University)

※ 이 연구는 95년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임(과제번호: 95-0100-05-01-3).

接受日字: 1995年1月27日, 수정완료일: 1996年4月29日

있다.

한편 Brieger¹⁶⁾ 등은 2차원 Poisson방정식을 상호 연관되는 2개의 1차원 Poisson방정식으로 단순화한 해석적 Model을 제안하였는데 미지의 결합 parameter를 구해야 하는 어려움이 있다. 그 밖에 Baliga¹⁷⁾의 FLR구조를 1차원적 원통형 접합의 문제로 가정한 해석적 Model은 가정이 단순하고 근사가 심하여 실제값과 잘 맞지 않으며 1개 링 구조에 대한 Model이어서 다수 링 구조에는 적용할 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 1개링을 갖는 FLR구조에 대하여 최적 링간격과 항복전압을 손쉽게 계산할 수 있는 해석적 모델을 제안하고 여러개의 링을 갖는 FLR구조에 대하여 여러개의 링을 순차적으로 1개링으로 등가화하는 방법을 사용하므로써 1개링의 논리를 그대로 적용하여 각 링간의 최적거리와 항복전압을 쉽게 계산할 수 있는 간단한 모델을 제안하였다. 모든 거리변수와 전위식 및 전계식을 정규화된 형태로 사용하여 접합깊이나 불순물 농도에 관계없는 설계방법이 되도록 하였다. 제안된 방법에 의한 계산결과를 이제까지 보고된 실험결과들과 2차원 소자 simulation program인 MEDICI를 사용하여 계산한 결과들과 비교하여 이 설계방법의 타당성을 보였다.

II. 원통형 p+n접합의 항복전압

원통형 p+n접합에서 역 바이어스가 인가될때 그림 1과 같이 원통좌표계를 사용하여 Poisson방정식의 해를 구하면 임의의 점 P에서의 전위의 크기에 대한 식을 구할 수 있다. 그림 1에서 모든 거리는 r_j로 정규화하고 qN_D r_j² / 2ε_s로 정규화한 정규화전위(normalized potential)을 구하면 다음과 같이 된다.

$$y_r(z) = F(z_r, z) = z_r^2 \left(\ln \frac{z_r}{z} - \frac{1}{2} \right) + \frac{z^2}{2} \quad (1)$$

여기서 F(z_r, z)는 이 함수의 형태만을 표시하기 위한 것이다. 그러므로 인가된 전압의 정규화값은 z=1일 때의 값이므로 Y_R = F(z_r, 1) = z_r² (ln z_r - 0.5) + 0.5로 주어진다. 접합다이오드에서 Avalanche항복이 일어나는 조건은 공핍영역내의 이온화 적분(Ionization Integral)값이 1이 될때로 정의되며 평면형 접합(plane junction)과 원통형 접합(cylindrical junction)의 항복전압을 비교하기 위해 이를 구하면 다음과 같다.

$$1 - \frac{1}{M} = \int_w a_{eff} dx = 1 = \begin{bmatrix} a_0 \left[\frac{qN_d}{\epsilon_s} \right]^7 \frac{W_{cyl}^8}{8} \\ a_0 \left[\frac{qN_d}{2\epsilon_s} \right]^7 r_j^8 I_1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 M은 증식계수(multiplication coefficient), r_j는 접합깊이, W는 공핍영역의 폭, α_{eff}는 유효 이온화 계수(effective ionization coefficient)로 Si의 경우 α_{eff} = α₀, E⁷ = 1.8×10⁻³⁵ E⁷으로 주어지며 I₁는 다음과 같다.

$$I_1 = \int_1^{z_r} \left(\frac{z_r^2 - z^2}{z} \right)^7 dz \quad (3)$$

따라서 W_{cyl}로 정규화한 접합 곡률반경(normalized radius of curvature)는 식 2)로부터 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{r_j}{W_{cyl}} = \frac{\sqrt{2}}{I_1^{1/8}} \quad (4)$$

한편 평면형 접합 및 원통형 접합의 항복전압은 각각 다음과 같다.

$$BV_{pp} = \frac{qN_D}{2\epsilon_s} W_{cyl}^2 \quad (5a)$$

$$BV_{cyl} = \frac{qN_D r_j^2}{2\epsilon_s} Y_R \quad (5b)$$

그러므로 평면형 접합의 항복전압으로 정규화한 원통형 접합의 항복전압은 정규화 곡률반경과 정규화 전위로 표현된다.

$$\frac{BV_{cyl}}{BV_{pp}} = \left(\frac{r_j}{W_{cyl}} \right)^2 Y_R \quad (6)$$

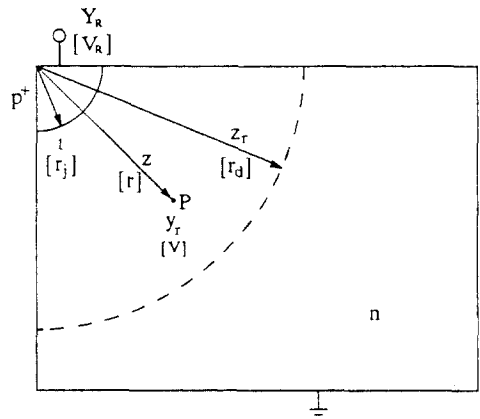


그림 1. 원통형 p+n접합 및 정규화된 각 변수의 정의. []의 값은 실제변수
Fig. 1. Cylindrical p+n junctions and definition of normalized variables. The variables in brackets are physical variables.

따라서 농도와 접합깊이가 주어지면 식(2)로부터 W_{cnp} 의 값을 구하고 식 (4)로부터 I_i 값을 구하여 원통형접합에서 항복이 일어날때의 정규화 공핍영역의 폭 z_r 를 식 (3)에서 역으로 구할 수 있으며 이로부터 Y_R 를 계산하여 원통형 접합의 정규화 항복전압값을 구할 수 있다.

III. 1개 링을 갖는 FLR구조의 항복전압

그림 2에 1개의 링을 갖는 FLR구조를 나타내었다. 주접합에 인가되는 전압이 증가함에 따라 주접합의 공핍영역이 확장되어 링접합에 전위가 유기된다. 이 링에 의한 공핍층의 전계성분에 의해 주접합의 전계가 일부 상쇄되므로 주 접합의 전계가 감소하여 더 높은 전압에서 항복현상이 일어나게 된다. 그러므로 링접합에 적절한 전압이 유기되어 주접합과 링접합에서 동시에 항복이 일어나는 최적거리가 존재하며 이때 항복전압의 개선효과가 가장 크게 된다.

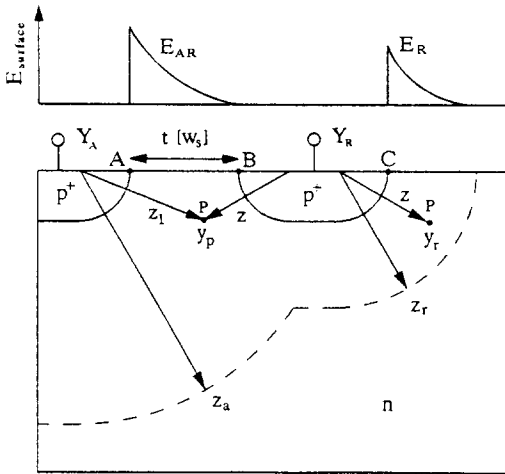


그림 2. 1개링을 갖는 FLR구조 및 표면의 전계분포
Fig. 2. FLR structure with single ring and surface electric field distribution.

그림 2에서 모든거리는 r_j 로 정규화한 값이다. 주접합과 링접합의 원통형 접합의 중심에서 공핍영역 끝까지의 거리를 각각 z_a, z_r 이라 하고 공핍층내 임의의 점 P까지의 거리를 각각 z_1, z 라 한다. 또한 주접합과 링접합사이의 거리를 W_s 라 할때 이를 정규화한 거리를 t 라 하고 주접합에 인가된 정규화 전압은 Y_A 이며 이에 의해 링접합에 유기된 정규화전압을 Y_R 이라 한다. 주

접합과 링접합사이의 공핍영역내 임의의 점 P의 전위는 주접합과 링접합의 전위가 동시에 영향을 미치게 되므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y_p = K_a y_a + K_r y_r = K_a F(z_a, z_1) + K_r F(z_r, z) \tag{7}$$

여기서 K_a 와 K_r 은 y_p 가 Poisson방정식을 만족하도록 도입한 것으로 이를 유도하면 $K_a + K_r = 1$ 이 된다. 따라서 표면에서의 주접합과 링접합의 접합점인 A, B점의 전위는 각각 Y_A, Y_R 이므로

$$Y_A = K_a F(z_a, 1) + K_r F(z_r, 1+t) \tag{8a}$$

$$Y_R = K_a F(z_a, 1+t) + K_r F(z_r, 1) \tag{8b}$$

이 된다. 링접합 오른쪽의 공핍영역에서는 주접합의 영향이 무시될 수 있다고 가정하면 이 영역내의 임의의 점 P에서의 전위는 링접합만의 전위이므로 (1)식으로 주어진다. 따라서 링접합점 C점의 전위는 $Y_R = F(z_r, 1)$ 이 된다. B점 및 C점은 링접합의 양단이므로 같은 전위이다. 따라서 식 8 b)에서 $F(z_r, 1) = K_a F(z_a, 1+t) + K_r F(z_r, 1)$ 및 $K_a + K_r = 1$ 의 조건으로부터

$$z_r^2 (\ln z_r - \frac{1}{2}) + \frac{1}{2} = z_a^2 (\ln \frac{z_a}{1+t} - \frac{1}{2}) + \frac{(1+t)^2}{2} \tag{9}$$

을 얻을 수 있고 z_r, t 값이 주어질때 이 식을 만족하는 z_a 값을 계산할 수 있다.

원통형 구조나 전계상쇄 효과를 갖는 FLR구조에 있어서 전계가 가장 큰곳은 표면의 접합점 부근이며 항복현상은 이 곳에서 일어나는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 주접합과 링접합의 표면에서의 전계분포가 중요하게 된다. 표면에서의 전계는 식 (1)및 식(7)의 전위의 식을 미분하여 얻을 수 있다.

$$E_{AR} = K_a (\frac{z_a^2 - z_1^2}{z_1}) - K_r (\frac{z_r^2 - z^2}{z}) \tag{10a}$$

$$E_R = \frac{z_r^2 - z^2}{z} \tag{10b}$$

여기서 E_{AR} 및 E_R 은 $qN_D r_j / 2\epsilon_s$ 로 정규화한 전계 분포로서 E_{AR} 은 주접합과 링접합사이의 표면 공핍영역에서의 전계, E_R 은 링접합의 오른쪽표면공핍영역에서의 전계분포함수이다. 링접합의 접합점(B점)에서는 아주 약하게 순방향으로 바이어스될것이므로 이 점에서의 전계는 0에 가까운 값을 갖게 된다.¹⁶⁾ 따라서 $E_{AR}(z_1=1+t, z=1) \approx 0$ 의 조건으로부터 K_a, K_r 은

다음과 같이 된다.

$$K_a = \frac{(z_r^2 - 1)(1 + t)}{z_a^2 - (1 + t)^2 + (z_r^2 - 1)(1 + t)} \cdot K_r = 1 - K_r \quad (11)$$

따라서 임의의 z_r , t 값이 주어지면 식(9)로부터 z_a 의 값을 찾을 수 있으며 식(11)로부터 계산한 K_a , K_r 값으로 식(8)의 Y_A , Y_R 값을 계산할 수 있다.

이상의 논의를 바탕으로 $N_D = 3 \times 10^{14} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$, $r_j = 5 \mu\text{m}$ 인 p-n 접합다이오드를 가정하여 주접합과 링접합의 전위관계를 계산하고 2차원 소자 Simulation Program인 MEDICI를 사용하여 얻은 결과들과 비교하여 그림 3에 보였다. 두 접합의 전위관계가 큰 오차가 없이 매우 잘 일치하고 있어 이 식들이 타당하다는 것을 알 수 있다.

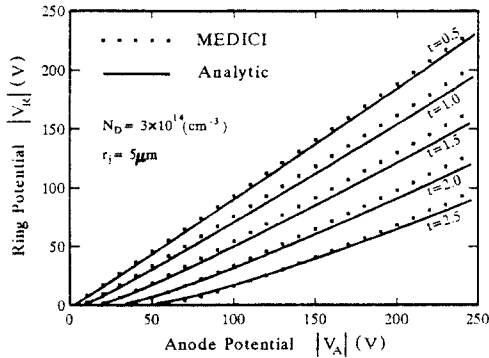


그림 3. 링 간격에 따른 주접합 전위와 링접합 전위의 관계

Fig. 3. The potential relation between main and ring junction in parameter of ring spacings.

각 접합에서 표면전계의 이온화 적분값이 같을때 즉 각 접합에서 동시에 항복이 일어날 조건으로부터 주접합과 링접합사이의 최적거리를 구할 수 있다. 그러나 이온화 적분은 전계의 7제곱을 적분하는 것이므로 이온화 적분값이 같으면 전계의 최대치도 거의 같다. 따라서 그림 2에서의 같이 표면에서 주접합점(A점)의 전계와 링접합점(C점)에서의 전계값이 같아지는 t 값을 최적거리의 근사값으로 택할 수 있다. 따라서 $E_{AR}(z_i=1) = E_R(z=1)$ 의 조건으로부터

$$K_a (z_a^2 - 1) - \frac{K_r}{1 + t} (z_r^2 - (1 + t)^2) = z_r^2 - 1 \quad (12)$$

의 조건이 성립하게 된다. 이 조건이 맞게되는 z_a , t , z_r

값을 계산하면 최적거리와 그때의 정규화 항복전압 Y_A 를 알 수 있다. 따라서 기판의 농도와 접합깊이가 주어지면 원통형 접합의 경우와 마찬가지로 식 (3)과 식(4)로부터 z_r 값을 계산할 수 있으며 식 (12)의 조건을 만족하는 z_a , t_{opt} 값을 계산할 수 있고 이로부터 항복전압은 식 (6)과 같이 다음식으로 주어진다.

$$\frac{BV_{FLR}}{BV_{pp}} = \left(\frac{r_j}{W_{cpp}} \right)^2 Y_A \quad (13)$$

최적거리와 항복전압의 타당성을 검토하기 위하여 그림 3)에 사용된 다이오드에서 계산한 결과와 MEDICI Simulation의 결과를 비교하였다. 이 다이오드에서 평면형 접합의 항복전압과 공핍영역폭은 각각 740V, 57.4 μm 로 계산되며 정규화 곡률반경 $r_j/W_{cpp} = 0.087$ 이다. 따라서 식 (4)와 식 (3)에 의해 $z_r = 5.7173$ 의 근을 찾을 수 있으며 원통형 접합의 최대 전계값은 $E_m = 31.69$ 가 된다. 그러므로 식 (9), 식 (11), 식 (12)에 의해 정규화 최적간격 t_{opt} 과 z_a 의 근을 찾으면 $t_{opt} = 1.5474$, $z_a = 7.8138$ 이 되며 $K_a = 0.5967$, $K_r = 0.4033$ 이 된다.

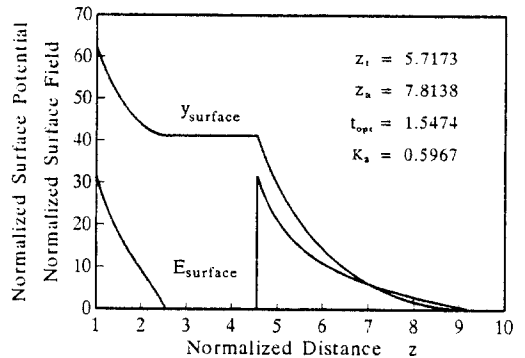


그림 4. 표면에서의 정규화 전계 및 전위분포
Fig. 4. Normalized electric field and potential distribution along surface.

그림 4는 이 값들을 가지고 계산한 표면에서의 정규화전계 및 전위의 분포이다. 그림 2에서의 A점과 C점의 최대전계값은 같으며 정규화 전위값은 $Y_A = 62.355$, $Y_R = 41.147$ 로 계산되며 정규화 항복전압은 $BV_{FLR}/BV_{pp} = 0.473$ 이 된다.

그림 5에는 주접합과 링접합의 거리에 따른 항복전압의 변화를 보였으며 아울러 MEDICI Simulation 결과를 함께 보였다. 접합간의 간격이 최적거리보다 적을 때는 주접합의 최대전계가 링접합의 최대전계보다 작

으며 링 접합에서 항복이 일어날 것이다. 따라서 거리를 변화시킬때 링접합에서의 최대전계가 일정하도록 z_r 을 일정하게 유지하고 계산한 것이다. 접합간의 간격이 최적간격보다 클때는 주접합에서 항복이 일어날 것이므로 거리를 변화시킬때 주접합점의 최대전계값이 일정하도록 z_m, z_l 의 근을 찾아 계산한 것이다. MEDICI 결과는 최적간격이 $8\mu\text{m}$ 이고 그때의 항복전압은 365V 이며 이 값들의 정규화 값은 $W_s/r_j=1.6, BV_{FLR}/BV_{PP}=0.493$ 이다. 위 계산에 의한 $t_{opt}=1.5474, BV_{FLR}/BV_{PP}=0.473$ 와 큰 차이가 없이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

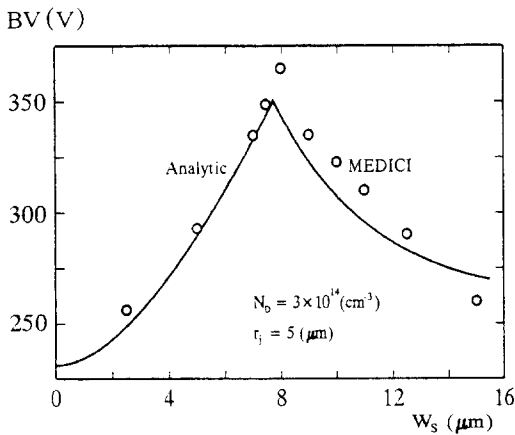
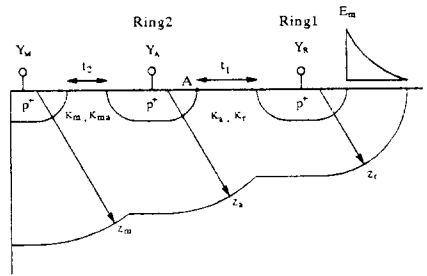


그림 5. 링 간격에 따른 항복전압의 변화
Fig. 5. Breakdown voltage vs. ring spacing.

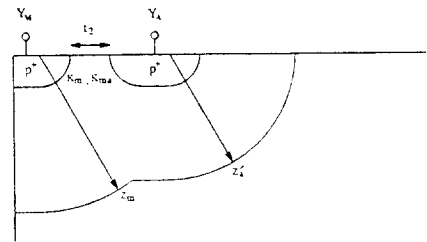
IV. 다수의 링을 갖는 FLR구조의 항복전압

그림 6 a)에 2개의 링을 갖는 FLR구조를 보였다. 표기의 편의상 바깥쪽 링을 링1, 안쪽의 링을 링2라 한다. 주접합에 큰 역전압 Y_M 이 인가되어 링2에 Y_A 의 전위가 유기되고 이 전위에 의해 링1에 Y_R 의 전위가 유기된다. 링1과 링2사이의 표면공핍영역 및 링1의 오른쪽 표면공핍영역에서의 전계나 전위분포에는 주접합의 영향이 미치지 않는다고 볼 수 있다. 주접합의 영향은 이미 유기된 전위 Y_A, Y_R 로 고려되었기 때문이다. 따라서 링1과 링2 사이의 관계는 III장에서 논의한 1개 링 FLR구조에서 주접합과 링접합과의 관계와 같이 취급할 수 있다.

한편 주접합과 링2사이의 표면공핍영역에서의 전계나 전위분포에는 이들 두접합만이 영향을 미친다고 생각할 수 있다.



(a)



(b)

그림 6. a) 2개링을 갖는 FLR구조
b) 등가 1개링 FLR구조
Fig. 6. a) FLR structure with 2 rings.
b) Equivalent single ring FLR structure.

그러나 A점의 전위 즉 Y_A 는 이미 링1의 영향으로 고려하여 계산된 것이므로 이 공핍영역에 링1이 간접적으로 영향을 미친다고 볼 수 있다. 따라서 두 링접합을 등가적으로 같은 Y_A 값을 갖는 하나의 링접합으로 취급한다면 그림 6 b)와 같이 되며 여기서 $Y_A = F(z_a', 1)$ 으로 주어진다. 이 경우 그림 6 a)의 Y_A 값과 그림 6 b)의 Y_A 값은 같아야 하므로

$$K_a F(z_a, 1) + K_r F(z_r, 1+t_1) = F(z_a', 1) \quad (14)$$

의 조건이 성립한다. 여기서 z_a' 은 등가 링에서의 전위가 Y_A 가 되기 위한 등가 공핍영역거리이며 이 조건에서 z_a' 값을 구할 수 있다. 따라서 앞에서 유도한 바와 같이 등가 링 구조에서도 다음의 조건이 성립하게 된다.

$$K_m F(z_m, 1+t_2) + K_{ma} F(z_a', 1) = F(z_a', 1) \quad (15)$$

여기서 K_m, K_{ma} 는 이미 논의한 것처럼 $K_m + K_{ma} = 1$ 이 되어야 하므로

$$F(z_m, 1+t_2) = F(z_a', 1) \quad (16)$$

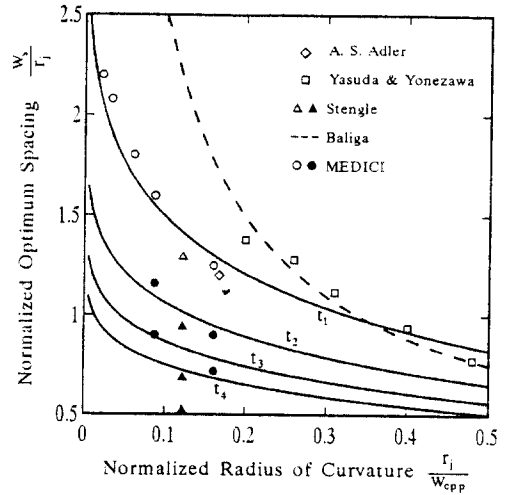
을 얻을 수 있으며 z_a', t_2 의 값이 주어질때 z_m 의 값을 구할 수 있다.

t_2 의 최적거리를 구하기 위해서는 앞에서의 조건과 마찬가지로 주접합점의 최대전계값이 링 접합들의 최대전계값과 같아야 한다. 그림 6 a)에서 링접합들의 최대전계값은 $E_m = z_r^2 - 1$ 이었으므로

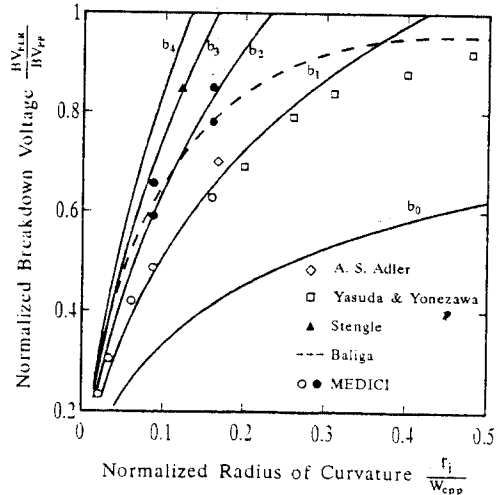
$$E_{MA}(z_2=1) = z_r^2 - 1 \quad (17)$$

의 조건으로부터 최적거리를 구할 수 있다. 같은 방법으로 3개, 4개, \dots , n개 링을 갖는 구조에 대해서도 제일 바깥의 링에서부터 차례로 1개 링 구조로 등가화시키면 각 경우의 최적거리 및 항복전압을 구할 수 있다.

그림 7은 상기 논의를 바탕으로 4개 링을 갖는 구조에 대해 정규화 곡률반경 r_1/W_{cp} 에 따른 정규화 최적거리 및 정규화 항복전압을 계산하여 보인 것이다. 이 계산결과를 비교하기 위하여 MEDICI Simulation 결과와 함께 Adler^[2], Yasuda^[8] 등이 2차원 Poisson 방정식을 수치해석적 방법으로 해를 구하여 보고한 결과들을 함께 보였다. MEDICI Simulation은 접합깊이가 $5\mu\text{m}$ 이고 농도는 $N_D = 6 \times 10^{13}, 1 \times 10^{11}, 2 \times 10^{11}, 3 \times 10^{14}, 6 \times 10^{14} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 의 경우를 그림 5와 같이 여러 간격에서의 항복전압을 구하여 최대값의 항복전압과 그때의 링간격으로 결정하였다. 그림 7 a)에서 t_1, t_2, t_3, t_4 로 표시한 곡선은 1개링을 사용할 경우의 최적거리는 t_1 , 2개링의 경우 주접합과 안쪽링의 최적거리는 t_2 , 링과 링사이의 최적거리는 t_1 이며 3개링의 경우 주접합과 안쪽링의 최적거리는 t_3 , 중간링 사이는 t_2 , 바깥쪽링 사이는 t_4 임을 나타내는 것이며 4개링의 경우도 이와 같은 방법으로 결정됨을 나타낸 것이다. 그림 7 b)에서도 b_0, b_1, \dots, b_4 로 표시된 곡선은 링이 없을 때 원통형 접합의 정규화 항복전압은 b_0 , 1개링을 사용하는 경우는 b_1 , 2개링의 경우는 b_2 , 4개링의 경우는 b_4 로 나타낸 것이다. 링을 많이 사용할수록 항복전압이 높아짐을 알 수 있으며 최적거리는 주접합에 가까울수록 작아짐을 알 수 있다. 그림 7에서 흰점으로 표시한 것들은 1개링을 사용하는 경우의 Simulation data이며 검은 점들은 다수링을 사용하는 경우의 data들이다. 1개링 구조의 경우 본논문의 해석적인 식과 여러가지 Simulation 결과와 잘 맞고 있으나 항복전압의 경우 정규화 곡률반경이 클때는 오차가 있음을 볼 수 있다. 이는 해석적인 식은 모두 단방향(One Sided)접합을 가정하고 개발된 것이며 Simulation 결과는 p 영역의 불순물 농도분포가 Gaussian 분포로 하여 계산



(a)



(b)

그림 7. 다수링 FLR구조의 해석적 계산 및 모의실험 결과

- a) 정규화 곡률반경에 따른 정규화 최적거리
- b) 정규화 곡률반경에 따른 정규화 항복전압

Fig. 7. The results of analytic calculation and computer simulation.

- a) Normalized optimum spacing vs. normalized radius of curvature.
- b) Normalized breakdown voltage vs. normalized radius of curvature.

된 결과의 차이임을 알 수 있다. 그러나 최적거리는 거의 전체 영역에서 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 아울러 Baliga가 제안한 해석적 결과와 비교하였는데 Baliga는 1개링 구조를 해석함에 있어 주접합의 최대전계 E_m 은 주접합과 링접합의 차전압이 단일 원통형

접합에 인가될때의 전계와 같다고 가정하고 FLR구조에 대한 해석적 모델을 제안하였다. 그러나 그림에서 알 수 있듯이 Baliga의 해석적 모델은 가정이 단순하여 큰 오차를 보이고 있음을 알 수 있으며 다수링 구조에는 적용할 수 없는 모델이다.

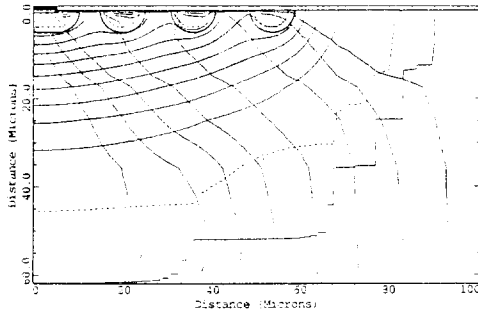


그림 8. 최적 링간격을 갖는 3개링 FLR구조의 항복에 대한 MEDICI simulation ($N_D=3 \times 10^{14}(\text{cm}^{-3})$, $r_j=5\mu\text{m}$, $w_{s1}=4.5\mu\text{m}$, $w_{s2}=5.8\mu\text{m}$, $w_{s3}=8\mu\text{m}$.)

Fig. 8. MEDICI simulation of breakdown in FLR structure with optimally spaced 3 rings. ($N_D=3 \times 10^{14}(\text{cm}^{-3})$, $r_j=5\mu\text{m}$, $w_{s1}=4.5\mu\text{m}$, $w_{s2}=5.8\mu\text{m}$, $w_{s3}=8\mu\text{m}$.)

다수링 구조의 MEDICI Simulation에서는 $N_D = 3 \times 10^{14}$, $6 \times 10^{14} (\text{cm}^{-3})$ 의 두경우에 접합깊이는 $5\mu\text{m}$ 로 하여 3개링 구조의 최적거리와 항복전압을 구하였으며 Stengle¹⁹⁾의 4개링 구조의 data와 비교하였으며 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. 그림 8은 $N_D = 3 \times 10^{14} (\text{cm}^{-3})$, 접합깊이 $5\mu\text{m}$ 일때 각 접합사이의 거리가 최적으로 설정된 3개링 구조의 MEDICI Simulation결과를 보인것이다. 항복현상이 일어날때의 등전위 곡선 및 전류경로를 보였으며 주접합과 각 링 접합에서 동시에 항복이 일어남을 볼 수 있다. 이러한 모든 수치해석적 방법은 수학적으로 정확한 계산결과를 얻을 수 있으나 매우 많은 시간이 필요하며 농도나 접합깊이가 달라지면 새로이 계산하여야 하는 어려움이 있다. 본 논문의 해석적 결과는 이 수치해석적인 결과와 매우 잘 일치하고 있으며 결과를 빠르게 얻을 수 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

원통형 접합의 항복전압을 구하는 방법과 이를 바탕

으로 1개의 전계제한 링을 갖는 다이오드의 항복전압과 최적거리에 대한 해석적 모델 및 이를 확장하여 다수의 전계제한 링을 갖는 다이오드에 대한 해석적 모델을 제안하였다. 정규화 전위 및 정규화 전계식을 사용하여 접합깊이나 불순물 농도에 관계없는 해석적인 식을 만들었으며 종래의 복잡하고 어려운 모델이 아니면서도 Simulation결과들과 잘 일치됨을 볼 수 있었다. 아울러 2차원 소자 simulation program인 MEDICI를 사용하여 항복전압과 최적거리를 구한 결과와 이제까지 보고된 실험결과들과 비교해 본 결과 본 논문의 해석적 모델의 타당성을 확인할 수 있었다. 따라서 빠른시간에 다수의 전계제한 링을 갖는 구조를 설계할 수 있을것이며 이 모델을 바탕으로 항복이 일어날때 epi영역이 완전히 공핍화되는 punchthrough형 다이오드에 대한 해석적 모델이나 기타 다른 구조의 해석적 모델을 개발하는데 확장, 적용될 수 있을것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Y.C. Kao and E.D. Wolley, "High Voltage Planar p-n Junctions," Proc. IEEE, vol.55, pp 1409, 1967.
- [2] M.S. Adler et al, "Theory and Breakdown Voltage for Planar Devices with a Single Field Limiting Ring," IEEE Trans. Elect. Devices, vol. ED-24, pp 107-112, 1977.
- [3] F. Conti and M. Conti, "Surface Breakdown in Silicon Planar Diodes Equipped with Field Plate," Solid State Electronics, vol. 15, pp 93-105, 1972.
- [4] W. Fieler, E. Flack and W. Gerlach, "Multistep Field Plate for High Voltage Planar p-n Junctions," IEEE Trans. Elect. Devices, vol. 39, pp 1514-1520, 1991.
- [5] V.A.K. Temple and W. Tantraporn, "Junction Termination Extension for Near-ideal Breakdown Voltage in pn Junctions," IEEE Trans. Elect. Devices, vol. ED-33, pp 1601-1608, 1986.
- [6] K. P. Brieger et al, "Blocking Capability of planar Devices with Field Limiting Rings," Solid State Electronics, vol. 26, pp 739-745, 1983.

- [7] B.J.Baliga, "Closed-Form Analytical Solutions for the Breakdown Voltage of Planar Junctions Terminated with a Single Floating Field Ring," Solid State Electronics, vol. 33, pp 485-488, 1990.
- [8] S. Yasuda and T.Yonezawa, "High Voltage Planar Junction with a Field Limiting Ring," Solid State Electronics, vol. 25, pp 423-427, 1982.
- [9] R. Stengle, "High Voltage Planar Junctions Investigated by the OBIC Method," IEEE Trans. Elect. Devices, vol. ED-34, pp. 911-919, 1987.

 저자 소개



裴東健(正會員)

1961년 1월 5일생. 1985년 2월
아주대 공대 전자공학과. 1987년
2월 아주대 대학원 전자공학과 석
사. 현재 아주대 대학원 전자공학
과 박사과정. 거제전문대학 전자
과 조교수. 주관심분야는 전력반

도체 소자 등임

鄭相九(正會員)

第29卷 第12號 參照

현재 아주대 공대 전자공학과
교수