

구형 PN 접합의 항복전압에 대한 소고

김해미\*, 윤준호\*, 최연익\*, 조종열\*  
아주대학교 전자공학부\*

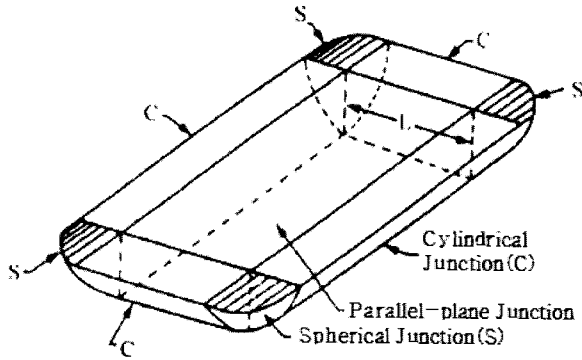
On the Breakdown Voltage of Spherical PN Junction

Hae-Mi Kim\*, Jun-Ho Yun\*, Yearn-Ik Choi\*, Jung-yol Jo\*  
School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University\*

**Abstract** - Baliga는 구형 PN 접합에 대한 해석적인 항복전압을 유도하였으며, 이 식은  $\gamma (=r_j/W_{pp})$  값이 1보다 큰 구간에서 구형 접합의 항복전압이 원통형 및 평면형 항복전압 보다 큰 값을 가지게 된다. 기본적으로 구형 접합의 항복전압이 원통형과 평면형 접합의 항복전압보다 클 수 없기 때문에 이는 명백한 오류이다. 이 오류는 식을 구하는 과정에서 소수점 두 자리를 무시하고 계산을 하였기 때문임을 밝혀냈으며, 또한 이러한 작은 실수가 구형 접합의 항복전압에 미치는 영향이 지대할 수 있다는 결과를 보고하고자 한다.

1. 서 론

항복전압은 전력 반도체 소자의 중요한 특성 중 하나이다. 그림 1에서 나타낸 바와 같이 PN 접합을 형성시키기 위해 후확산(drive-in diffusion)을 수행하는 과정에서 확산은 수직방향 뿐만이 아니라 수평방향으로도 이루어지게 되고 이로 인해 일차원적인 평면 접합(parallel-plane junction), 이차원적인 원통형 접합(cylindrical junction), 삼차원적인 구형 접합(spherical junction)이 생기게 된다[1]. 일반적으로 전계의 집중도가 높은 구형 접합의 항복전압이 가장 작고 다음으로 이차원적인 원통형 접합의 항복전압, 그리고 일차원적인 평면접합의 항복전압이 가장 높은 값을 가지게 된다.



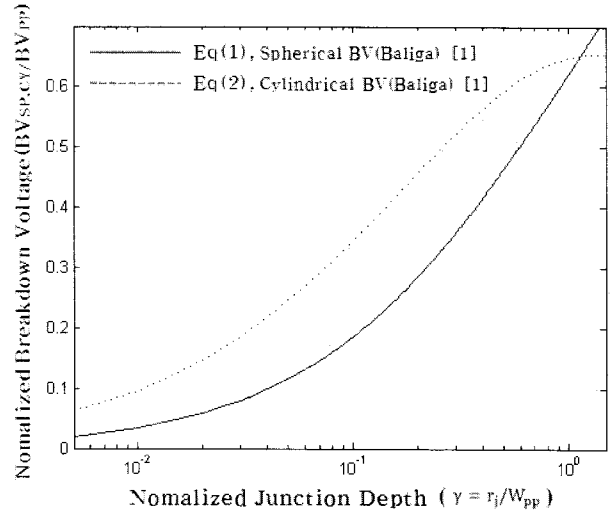
<그림 1> 확산 장을 통한 접합형성 모형

Baliga는 구형 접합의 항복전압에 관한 해석적인 식 (1)과 원통형 접합의 항복전압에 관한 해석적인 식 (2)를 유도하였다. [1, 2]

$$\frac{BV_{SP}}{BV_{PP}} = \left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^2 + 2.14 \left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^{6/7} - \left[\left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^3 + 3\left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^{13/7}\right]^{2/3} \quad (1)$$

$$\frac{BV_{CY}}{BV_{PP}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^2 + 2\left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^{6/7}\right] \ln \left[1 + 2\left(\frac{W_{pp}}{r_j}\right)^{8/7} - \left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^{6/7}\right] \quad (2)$$

식 (1)과 (2)는 각각 구형접합의 항복전압,  $BV_{SP}$ 와 원통형 접합의 항복전압,  $BV_{CY}$ 를 평면형의 항복전압,  $BV_{PP}$ 로 정규화한 값을 접합의 깊이  $r_j$ 와 항복 시 평면 접합의 공핍층의 두께,  $W_{pp}$ 의 관계로 나타낸 식이다. 또한 앞으로 언급될  $\gamma (=r_j/W_{pp})$ 는  $r_j$ 를  $W_{pp}$ 로 정규화한 값이다. 식 (1)과 (2)를 이용하여  $\gamma$  값의 변화에 따른 구형 접합과 원통형 접합의 항복전압을 비교하면 그림 2와 같다.



<그림 2>  $\gamma$  값의 변화에 따른 정규화 된 구형 접합과 원통형 접합의 항복전압의 변화

식 (1)을 이용하여 구형 접합의 항복전압을 계산하던 중, 그림 2에 나타난 바와 같이  $\gamma$ 의 값이 1 부근에서는 구형 접합의 항복전압이 원통형 접합의 항복전압에 점점 가까워져 이후에는 보다 더 커지는 것을 알게 되었다. 또한  $\gamma$ 가 더욱 증가하면 그 값이 1을 넘어 평면형 접합의 항복전압보다 커진다. 이는 명백한 오류라고 판단되며, 본 논문에서는 이와 같은 오류가 발생하는 이유를 밝혀내고 이를 수정함으로써 구형 접합의 항복전압의 정확한 식을 보고하고자 한다.

2. Baliga의 구형 항복전압의 검토

구형접합의 항복전압은 식 (3)의 평면 접합의 푸아송 방정식을 식 (4)와 같이 구형 좌표로 변환하여 구할 수 있다.

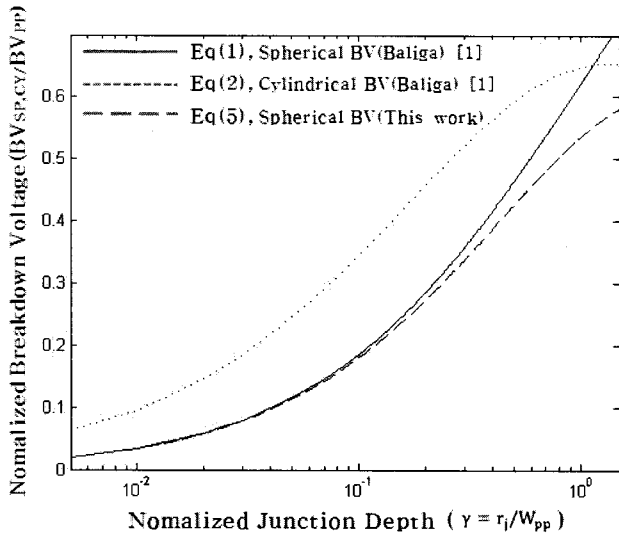
$$\frac{d^2 V}{dx^2} = -\frac{dE}{dx} = \frac{qN_D}{\epsilon_s} \quad (3)$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{dV}{dr} \right) = -\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r^2 E) = \frac{qN_D}{\epsilon_s} \quad (4)$$

이를 이용해 구형접합의 항복전압,  $BV_{SP}$ 를 구하였으며 이를  $BV_{PP}$ 로 정규화하면 다음의 식 (5)와 같다.

$$\frac{BV_{SP}}{BV_{PP}} = \left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^2 + 2\left(\frac{13}{8}\right)^{1/7} \left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^{6/7} - \left[\left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^3 + 3\left(\frac{13}{8}\right)^{1/7} \left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^{13/7}\right]^{2/3} \\ = \left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^2 + 2.14 \left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^{6/7} - \left[\left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^3 + 3.22 \left(\frac{r_j}{W_{pp}}\right)^{13/7}\right]^{2/3} \quad (5)$$

식 (5)는 Baliga가 제시한 구형 접합의 항복전압의 식 (1)과 달리 셋째 항인 [ ]내의 두 번째 항의 상수가 3이 아닌 3.22로 차이가 있다. 이 소수점 두 자리의 무시했을 경우, 두 식의 차이는  $\gamma$  값의 변화에 따른 그래프를 그려보았을 때 더 명확하게 나타난다.



**<그림 3>  $\gamma$  값의 변화에 따른 정규화 된 구형 접합과 원통형 접합의 항복전압**

그림 3은 그림 2와 마찬가지로  $\gamma$  값의 변화에 따른 원통형과 구형 접합의 항복전압의 변화를 비교한 모습이다. 그림 3에 나타낸 바와 같이 식 (5)의 경우 식 (1)과 달리 구형 접합의 항복전압이 원통형 접합의 항복전압보다 커지지 않는 것을 확인 할 수 있다. 또한 식 (1)과 (5)를 이용해 구형 접합의 항복전압의 차이가  $\gamma$  값이 커짐에 따라 더 커지는 것을 알 수 있다. 이를 통해 식 (5)의 [ ]항의 상수 3.22를 3으로 소수점 두 자리를 무시한 것이  $\gamma$  값이 작은 영역에서는 영향을 미치지 못하지만  $\gamma$  값이 증가할수록 영향을 주는 것을 알 수 있다.

또한 그림 3을 통해 식 (1)과 식 (5)의 구형 접합의 항복전압의 차이는 식 (1)을 이용한 항복전압의 값이 원통형 접합과 평면형 접합의 항복전압의 값을 넘기 이전인  $\gamma > 0.2$  인 부근에서부터 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 [ ]항의 상수의 소수점 두 자리를 무시하지 않은 식 (5)를 사용하면 구형 접합의 항복전압을 더 정확하게 계산 할 수 있다.

### 3. 결 론

Baliga의 구형 PN 접합에 대한 해석적인 식을 이용해 구형 접합의 항복전압은  $\gamma$  값이 커짐에 따라 계속 그 값이 커져  $\gamma$  값이 1보다 큰 구간에서 원통형 접합 및 평면형 접합의 항복전압보다도 큰 값을 가지게 되는 것을 보고하였다. 이는 명백한 오류로 식을 유도하는 과정에서 소수점 두 자리를 무시하였기 때문에 발생하였음을 보고한다. 또한 기존의 Baliga의 식에서와 같이 소수점 두 자리의 상수를 무시했을 경우  $\gamma$  값의 변화에 따라 구형 접합의 항복전압에 미치는 영향이 지대할 수 있음을 밝혔다.

### [참 고 문 헌]

- [1] B. Jayant Baliga, Power semiconductor devices, PWS Pub. Co., 1996.
- [2] B. Jayant Baliga, "Analytical solutions for the breakdown voltage of abrupt cylindrical and spherical junctions", Solid-State Electronics, Vol. 19, No 9, pp. 739-744, Sept, 1976
- [3] 최연익, "전력 반도체 소자의 항복전압 모형", 새물리, 제 38호, pp.320-333, 1998