

Spherical 구조를 갖는 고전압용 Analog CMOS의 Drain 역방향 항복전압의 계산 방법

The Calculation Method of the Breakdown Voltage for the Drain Region with the Spherical Structure in High Voltage Analog CMOS

이 은 구*
(Un Gu Lee)

Abstract - A calculation method of the breakdown voltage for the Drain region with the spherical structure in high voltage analog CMOS is proposed. The Drain depletion region is divided into many sub-regions and the doping concentration of each sub-region is assumed to be constant. The field in each sub-region is calculated by the integration of the net charge and the breakdown voltage is calculated using the ionization integral method. The breakdown voltage calculated using the proposed method shows the maximum relative error of 3.3% compared with the result of the 2-dimensional device simulation using BANDIS.

Key Words : Breakdown voltage, Spherical structure, Analog CMOS, Drain engineering, Ionization integral

1. 서 론

CMOS 소자는 BJT 소자에 비해 높은 집적도를 보이고 있으며, 온도가 증가하면 캐리어 이동도 속도가 감소하고[1] 흐르는 전류가 줄어들기 때문에 온도와 함께 전류가 급격하게 증가함으로써 소자가 파괴되는 thermal runaway 현상[2]을 피할 수 있다. 이러한 장점을 가지고 있는 CMOS 소자를 제작하기 위한 공정개발이 꾸준히 이루어지고 있는 추세이다[3]. Analog CMOS는 신호처리를 위한 회로에서 저전압 전원단과 외부 고전압 응용회로 간 인터페이스를 제공하는 회로에 많이 사용된다. 일반적으로 저전압은 2.9[V]에서 5[V]의 전압 범위를 의미하고 고전압은 12[V] 이상의 전압을 의미한다. 경제적인 관점에서 저전압 회로와 고전압 회로를 하나의 칩으로 제작하는 것이 유리하나 저전압 또는 고전압 회로 중 한쪽만 회로의 성능의 저하 없이 칩을 제작하는 것이 불가능하다[4]. 고전압 Analog CMOS 용 공정을 개발하기 위해서는 고전압 소자에 최적화된 공정을 기반으로 저전압 제어 회로용 소자를 만드는 방법과 저전압 CMOS 공정에 고전압 소자를 포함하도록 공정을 제작하는 방법이 사용된다. 고전압 Analog CMOS 소자가 칩 단면적을 대부분 차지하고 있으므로 일반적으로 고전압 CMOS 공정을 근간으로 저전압 소자를 포함할 수 있도록 공정을 개발하는 방법이 많이 사용된다[5].

Analog CMOS는 높은 인가전위 영역에서 동작하기 위해서 역방향 항복전압에 강한 내성을 가져야 한다. Drain의 모서리 영역은 3차원 Spherical 구조를 갖기 때문에 낮은 전

압에서 역방향 항복 현상이 발생되나, CMOS 소자가 동작 영역내에서 신뢰도를 확보하기 위해서는 Drain 인가전위 이상의 공정 내압을 갖도록 설계해야 한다. 역방향 항복전압을 높이기 위해서 Field Plate를 이용한 방법과 Float Field Ring을 사용한 방법을 사용하지만 칩의 단면적이 증가하는 단점이 있다[6].

Float Field Ring을 사용하지 않고 Spherical 구조를 갖는 Drain에 대한 역방향 항복전압을 높이기 위해서는 곡률반경을 크게 만들어야 하고 Well 영역의 불순물 농도를 낮게 제작해야 한다. Well의 불순물 농도가 감소하면 비저항이 증가하고 On 저항이 증가하는 단점이 있기 때문에 Drain 영역을 포함하고 있는 Well의 불순물 농도는 역방향 항복전압과 On 저항 간에 최적의 조건을 찾아야 한다[7]. 이러한 이유로 인해 고전압용 Analog CMOS의 Source와 Drain 영역의 접합을 깊게 제작하고, Latch-up을 방지하기 위해 Well 접합 또한 깊게 만든다. Well 영역의 접합을 깊게 만들기 위해 긴 시간동안 고온 열 확산 공정이 진행되므로 표면에서 Drain 영역 하단까지 불순물 농도가 일정한 값을 갖는다.

Analog CMOS의 Well과 Drain 영역에 대한 최적의 공정 조건을 찾기 위해서는 접합영역에서 역방향 항복전압을 빠르고 정확하게 예측할 수 있어야 한다. Drain 영역에 대한 역방향 항복전압을 예측하기 위해 기존에는 수학 식에 의한 방법과 소자 모의실험을 이용한 계산방법을 사용하였다. 수학 식을 이용한 방법은 계산량이 적어 빠른 시간에 예측이 가능한 반면 Drain 영역의 불순물 농도 분포를 고려할 수 없으며 측면 확산에 의한 곡률반경을 정확하게 계산할 수 없기 때문에 실험 값과 큰 오차를 갖는다. 소자 모의실험을 이용하는 경우 Well 영역의 불순물 농도가 낮고 접합 영역이 깊어 공핍영역이 크게 확대되기 때문에 모의실험 영역을 넓게 제작해야 한다. 모의실험 구조가 커지면 컴퓨터 계산량과 계산시간이 소자 크기의 제곱에 비례하여 증가하고 공

* Corresponding Author : Dept. of Information and Communication, Bucheon University, Korea

E-mail : leg@bc.ac.kr

Received : April 4, 2013; Accepted : August 13, 2013

정개발 기간이 증가하는 단점을 갖는다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 모의실험 결과와 유사한 정확도를 보이고 있으면서 계산시간을 획기적으로 줄일 수 있는 역방향 항복전압 계산방법을 제안한다.

본 논문에서는 cylindrical 구조를 해석하는 방법[8]을 확장하여 Spherical 구조를 해석하는 방법에 적용한다. 또한 측면 확산을 고려하여 3차원 구조에서 곡률반경을 계산하는 방법을 제안한다. Spherical 좌표계에서 정의된 포아송 방정식을 적분하여 내부 전계와 전위를 구한 후 Ionization Integral 방법을 이용하여 항복전압을 계산한다. 제안한 방법의 정확도를 확인하기 위해 N⁺-Pwell 접합 다이오드에 대해 BANDIS[9]를 이용한 소자 시뮬레이션을 수행한 결과와 비교한다.

2. Drain 영역에서 역방향 항복전압 계산 방법

그림 1은 고전압용 Analog CMOS 중 n-MOS의 Layout 도면과 수직 단면도이다. Drain 영역의 역방향 항복전압을 높이기 위해 Well은 접합이 깊고 불순물 농도를 낮게 제작한다. Drain 영역에 높은 전압이 인가되면 곡률반경이 작은 그림 1의 화살표 방향으로 항복현상이 발생하므로 제품의 인가전압 범위를 고려한 최적의 Analog CMOS 공정을 설계하기 위해서는 Drain 영역의 곡률반경과 불순물 농도를 고려하여 역방향 항복전압을 정확하게 예측할 수 있어야 한다[1]. Drain 과 P-well 간 역방향 항복전압을 높이기 위해 P-well 영역은 긴 시간 열확산 공정을 거쳐 접합을 깊게 제작되어야 하므로 P-well의 깊은 영역까지 불순물 농도는 일정한 값을 갖는다.

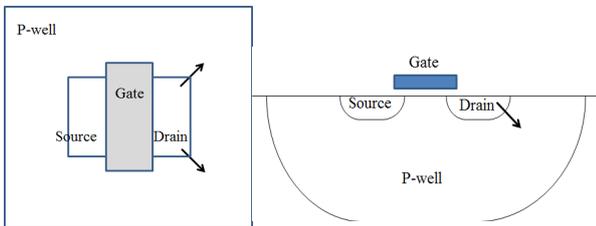


그림 1 고 전압용 Analog n-MOS 소자의 Layout과 수직구조
Fig. 1 The Layout and the vertical structure of Analog n-MOS for the high voltage device

식 (1)은 그림 1의 2개의 모서리 영역에서 Spherical 구조를 갖는 역방향 항복전압을 계산하기 위한 근사식이다[6]. 식 (1)은 N⁺P 접합에서 P 영역에만 공핍영역이 존재하는 것으로 가정하여 유도하였다.

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

여기서 BV_{sph} 는 Spherical 구조에서 역방향 항복전압이고 BV_{pp} 는 planar 구조에서 근사된 역방향 항복전압[6]이다. W_c 는 planar 구조에서 근사된 공핍영역의 폭이고 r_j 는 곡률반경이다.

2.1 Spherical 좌표계에서 내부전계 및 전위 계산 방법

Analog CMOS 에서 Drain 모서리 영역의 역방향 항복전압을 계산하기 위해서는 Spherical 좌표계에서 미분 형태의 포아송 방정식을 해석해야한다. 식(2)는 미분 방정식의 형태를 갖는 포아송 방정식으로써 내부 전계와 불순물 농도의 관계를 나타내며 식(3)은 식(2)를 적분한 결과 식이다.

$$\frac{d}{dx}(x^2E) = -\frac{qN_{pw}}{\epsilon_s}x^2 \quad (2)$$

$$E(x) = \frac{qN_{pw}}{3\epsilon_s} \left(\frac{x_d^3 - x^3}{x^2} \right) \quad (3)$$

내부 전위와 전계의 미분관계를 식 (2)에 대입하면 내부 전위와 불순물 농도의 관계를 나타내는 식 (4)의 포아송 방정식을 구할 수 있으며 식(5)는 식(4)를 적분한 결과 식이다.

$$\frac{d}{dx} \left(x^2 \frac{dV}{dx} \right) = \frac{qN_{pw}}{\epsilon_s} x^2 \quad (4)$$

$$V(x) = \frac{qN_{pw}}{3\epsilon_s} \left\{ \left(\frac{x_j^2 - x^2}{2} \right) + x_d^3 \left(\frac{1}{x_j} - \frac{1}{x} \right) \right\} \quad (5)$$

여기서 x_j 는 곡률 반경이고 x_d 는 공핍영역의 폭을 나타낸다. N_{pw} 은 P-well 영역의 불순물 농도이다. 공핍영역 내에 분포한 공핍 전하 N_{pw} 를 적분하여 내부 전계와 전위를 계산한다. 공핍 전하가 공핍영역 전체에 걸쳐 상수가 아니므로 식 (4)를 식 (5)의 단순한 형태로 적분하는 것이 불가능하다. 본 논문에서는 공핍영역을 여러 개의 미소 구간으로 나눈 후 미소 구간 내에서 공핍 전하는 일정한 값을 갖는 것으로 가정한다. 식 (4)를 미소 구간에 대해 적용하면 각 구간별 식 (5)를 계산할 수 있고 경계에서 내부 전계와 전위에 대한 경계조건을 만족한다면 공핍영역 전체에 대해 식 (4)의 적분을 수행할 수 있다. Spherical 구조에서 원점으로부터 x 가 증가함에 따라 적분영역이 x 에 대해 3제곱에 비례하여 넓어지기 때문에 적분하는 전하량이 크게 증가한다. 미소 전하량이 증가하면 미소 전계 또한 증가하므로 전계의 집중 현상이 Cylindrical 구조에 비해 크며 역방향 항복전압이 크게 감소하는 결과를 보인다.

그림 2는 Drain의 모서리 영역에서 불순물 분포의 Spherical 구조를 나타낸다. 영역 B는 N⁺ Drain 영역이고 영역 A는 P-well 영역이다. 실선은 영역 B와 영역 A의 금속학적 접합면을 나타내며 영역 B의 접합깊이는 x_j 이다. 곡률반경은 측면확산을 고려하여 계산되어야 한다. 영역 B에서 x_n 까지 중성 영역이고 x_n 에서부터 x_j 까지 공핍영역이다. 영역 A는 x_j 에서부터 x_p 까지 공핍영역이다. 영역 B의 불순물 분포는 Gaussian 분포를 따르고 있으며 그림 2와 같이 미소 영역 내에서 일정한 값을 갖는 것으로 가정한다. P-well의 접합을 깊게 만들기 위해 장시간 고온 확산 공정을 거쳐야하므로 영역 A의 불순물 농도는 일정한 값 N_{pw} 를 갖는 것으로 가정한다. 그림 2에서 사다리꼴 영역은 Spherical 구조에서 미소 적분영역이 중점에서 멀어질수록

적분영역의 단면적이 증가함을 나타낸다. Spherical 구조의 경우 금속학적 접합면에서 멀어지는 거리의 3승에 비례하여 불순물의 유효 농도가 증가하는 것과 같은 효과를 갖는다.

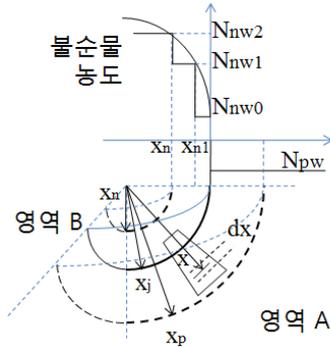


그림 2 Drain 모서리 영역의 Spherical 구조
Fig. 2 The Spherical structure of the Drain corner region

영역 A와 영역 B에서 공핍 영역의 전하량을 적분하면 내부전계를 구할 수 있다. 식(6.a)는 영역 A의 내부전계이고 식(6.b)와 식(6.c)는 2개의 미소영역으로 나누어진 영역 B의 내부전계이다.

$$E(x) = -\frac{qN_{pw}}{3\epsilon_s} \left(\frac{x_p^3 - x^3}{x^2} \right) \quad x_j < x < x_p \quad (6a)$$

$$E(x) = -\frac{qN_{nw1}}{3\epsilon_s} \left(\frac{x_n^3 - x^3}{-x^2} \right) \quad x_n < x < x_{n1} \quad (6b)$$

$$E(x) = -\frac{qN_{nw1}}{3\epsilon_s} \left(\frac{x_n^3 - x_{n1}^3}{-x^2} \right) - \frac{qN_{nw0}}{3\epsilon_s} \left(\frac{x_{n1}^3 - x^3}{-x^2} \right) \quad x_{n1} < x < x_j \quad (6c)$$

영역 A와 영역 B에서 공핍 영역의 전계를 적분하면 내부전위를 구할 수 있다. 식(7.a)는 영역 A의 내부전위이고 식(7.b)와 식(7.c)는 2개의 미소영역으로 나누어진 영역 B의 내부전위이다.

$$\phi(x) = \phi_{pw} - \frac{qN_{pw}}{3\epsilon_s} \left\{ \frac{x_p^3}{x} - \left(\frac{3x_p^2 - x^2}{2} \right) \right\} \quad x_j < x < x_p \quad (7a)$$

$$\phi(x) = \phi_{nw} + \frac{qN_{nw1}}{3\epsilon_s} \left\{ \frac{x_n^3}{x} + \left(\frac{x^2 - 3x_n^2}{2} \right) \right\} \quad x_n < x < x_{n1} \quad (7b)$$

$$\phi(x) = \phi_{nw} + \frac{qN_{nw1}}{3\epsilon_s} \left\{ \frac{x_n^3}{x_{n1}} + \left(\frac{x_{n1}^2 - 3x_n^2}{2} \right) \right\} \quad x_{n1} < x < x_j \quad (7c)$$

$$+ \frac{qN_{nw0}}{3\epsilon_s} \left\{ \frac{x_{n1}^3}{x} + \left(\frac{x^2 - 3x_{n1}^2}{2} \right) \right\}$$

$$+ \frac{qN_{nw1}}{3\epsilon_s} \left(\frac{x_n^3 - x_{n1}^3}{x} - \frac{x_n^3 - x_{n1}^3}{x_{n1}} \right)$$

$x = x_j$ 인 지점에서 식(6.a)와 식(6.c)는 동일한 내부전계 값을 갖는다는 경계조건으로부터 식(8)을 유도할 수 있다.

$$-\frac{qN_{pw}}{3\epsilon_s} \left(\frac{x_p^3 - x_j^3}{x_j^2} \right) = -\frac{qN_{nw1}}{3\epsilon_s} \left(\frac{x_n^3 - x_{n1}^3}{-x_j^2} \right) - \frac{qN_{nw0}}{3\epsilon_s} \left(\frac{x_{n1}^3 - x_j^3}{-x_j^2} \right) \quad (8)$$

$x = x_j$ 인 지점에서 식(7.a)와 식(7.c)는 동일한 내부전위 값을 갖는다는 경계조건으로부터 식(9)를 유도할 수 있다.

$$\phi_{pw} - \frac{qN_{pw}}{3\epsilon_s} \left\{ \frac{x_p^3}{x_j} - \left(\frac{3x_p^2 - x_j^2}{2} \right) \right\} \quad (9)$$

$$= \phi_{nw} + \frac{qN_{nw1}}{3\epsilon_s} \left\{ \frac{x_n^3}{x_{n1}} + \left(\frac{x_{n1}^2 - 3x_n^2}{2} \right) \right\}$$

$$+ \frac{qN_{nw0}}{3\epsilon_s} \left\{ \frac{x_{n1}^3}{x_j} + \left(\frac{x_j^2 - 3x_{n1}^2}{2} \right) \right\}$$

$$+ \frac{qN_{nw1}}{3\epsilon_s} \left(\frac{x_n^3 - x_{n1}^3}{x_j} - \frac{x_n^3 - x_{n1}^3}{x_{n1}} \right)$$

$$\phi_{pw} - \phi_{nw} = \frac{KT}{q} \left(\ln \frac{N_{pw} N_{nw2}}{n_i^2} + 2V_n \right) \quad (10)$$

전계에 관한 식(8)과 전위에 관한 식(9)를 연립하면 공핍 폭에 관한 미지수 x_p 와 x_n 를 구할 수 있고 미지수를 식(6)과 식(7)에 대입하면 각각의 미소영역에서 내부 전계와 전위를 계산할 수 있다.

2.2 구면계를 이용한 곡률반경의 계산 방법

Drain 모서리 영역을 그림 3의 모양을 갖는 가상의 구면으로 가정하여 x 위치별로 곡률반경을 계산한다. 곡률반경은 구면계(Spherometer)를 이용한 곡률반경 계산 방법을 이용한다. Drain 영역에 고농도 불순물이 주입되면 측면 방향으로 불순물 확산이 이루어진다. 점 O를 그림 1의 모서리로 가정하고 x 방향은 깊이 방향이고, y 방향은 그림 1의 화살표 방향을 나타낸다. 그림 3의 곡면은 N Drain 과 P-well의 금속학적 접합면이고 접합면은 타원 모양을 나타낸다.

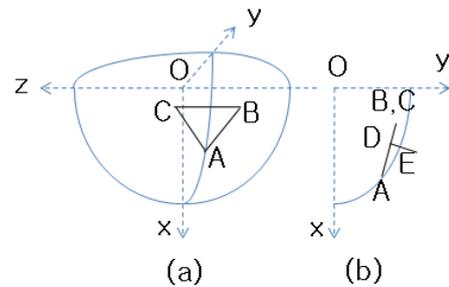


그림 3 구면계를 이용한 곡률반경 계산
Fig. 3 The calculation of curvature using spherometer

식(11.a)는 그림 3(a)의 형태를 갖는 Drain 모서리 영역의 구면 방정식이고 식(11.b)는 $z=0$ 인 조건에서 식(11.a)로부터 유도된 타원의 방정식이다.

$$\sqrt{y^2 + z^2} = b\sqrt{r_j^2 - x^2} \quad (11a)$$

$$y = b\sqrt{r_j^2 - x^2} \quad (11b)$$

여기서 b 는 수직방향 확산에 대해 측면 방향으로 확산되는 비율이고 일반적으로 0.6에서 0.8 사이의 값을 갖는다. r_j

는 수직방향 확산 길이이다. 정삼각형 ABC의 변의 길이를 a로 설정한다. 점 B와 점 C의 x좌표가 x_1 이면 식 (11.a)을 이용하여 y의 좌표를 계산할 수 있다. 식 (12)는 점 B와 점 C의 좌표이다.

$$\left(x_1, y_1, \pm \frac{a}{2}\right) \tag{12a}$$

$$L_1^2 = y_1^2 + z_1^2 \tag{12b}$$

$$z_1 = \frac{a}{2} \tag{12c}$$

$$y_1 = \sqrt{\left(L_1^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2\right)} \tag{12d}$$

식 (11)을 이용하여 점 B와 점 C로부터 거리 a 인 지점을 계산하면 점 A인 $(x_2, y_2, 0)$ 를 구할 수 있다. 점 D는 정삼각형 ABC의 중점이고 점 E는 평면 ABC위의 점 D에서부터 그려진 수선과 Drain 모서리 영역의 곡선과 만나는 점이다. 평면의 방정식과 식 (12)의 좌표로부터 점 D를 계산하고 점 D를 포함한 수선의 방정식과 식 (11)의 구면방정식의 교점 E를 계산한다. 점 D와 점 E의 거리를 h로 가정하면 곡률반경 R은 식 (13)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$R = \frac{a^2}{6h} + \frac{h}{2} \tag{13}$$

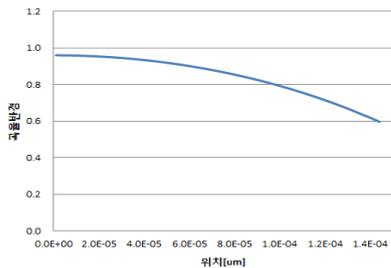


그림 4 식 (13)으로 계산된 곡률반경
Fig. 4 The curvature calculated using equation 13

그림 4는 b가 0.75이고 접합깊이가 $1.0[\mu\text{m}]$ 인 조건에서 깊이방향 x 의 위치에 따른 식 (13)의 곡률반경의 계산치이다. x가 접합 깊이가 되는 지점은 Drain 바닥영역과 만나는 지점이므로 전계의 집중 효과가 반감되어 항복현상이 발생하기 어렵다. 곡률반경은 그림 4에서 x가 접합 깊이가 되는 영역을 제외하고 가장 작은 값인 $0.6[\mu\text{m}]$ 로 가정한다. 그러나 Drain 영역의 측면 확산 길이에 따라 그림 3의 모서리 영역의 구면 형태가 달라지고 이에 따라 곡률반경이 달라지기 때문에 다양한 형태를 갖는 Drain 측면 확산 영역에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

3. 결과 및 고찰

제안된 방법의 정확도를 검증하기 위해 기존에 사용된 계산 식(1)의 결과 및 BANDIS를 이용한 소자 모의실험 결과와 제안된 방법을 사용한 역방향 항복전압을 비교한다. 제

안된 방법의 타당성을 검증하기 위해 그림 5는 N^+ Drain 농도가 접합근처에서 $1.0 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ 이고 P-well 불순물 농도가 $1.0 \times 10^{16} [\text{cm}^{-3}]$ 인 시료에 대해 곡률반경을 $1.5[\mu\text{m}]$ 에서부터 $3.5[\mu\text{m}]$ 까지 변화시킨 조건에서 역방향 항복전압을 계산한 결과이다.

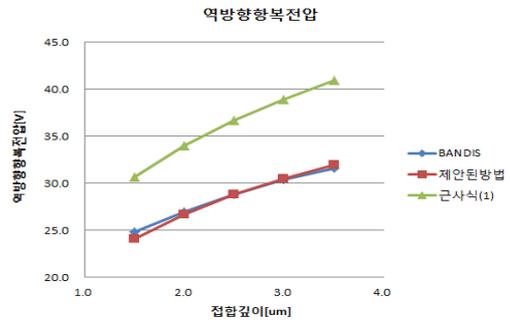


그림 5 역방향 항복전압 비교
Fig. 5 The comparison of the breakdown voltage

역방향 항복전압에 대해 제안된 방법과 BANDIS를 비교한 결과 3.3% 이하의 상대오차를 보이는 반면 기존에 사용된 계산 식(1)과 BANDIS를 비교한 결과 27.8%의 상대오차를 보이고 있으므로 제안된 방법이 기존에 사용된 계산 식(1)에 비해 정확한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 6과 그림 7은 접합깊이가 $1.5[\mu\text{m}]$ 부터 $3.5[\mu\text{m}]$ 까지 변화하는 조건에서 역방향 항복특성이 발생했을 때 제안된 방법과 BANDIS에서 계산된 내부전계와 전위를 비교한다.

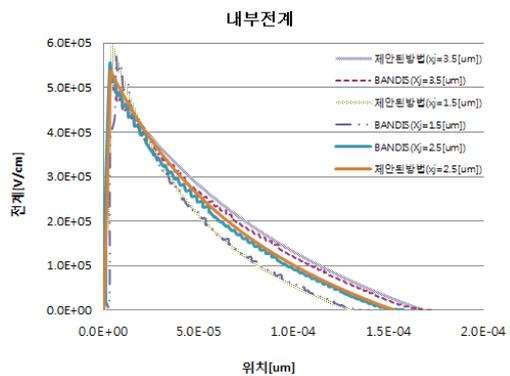


그림 6 내부전계 비교
Fig. 6 The comparison of the field

제안된 방법과 BANDIS를 비교한 결과 내부 전계의 최대 값은 금속학적 접합 영역에서 3.7% 이내의 상대오차를 나타내며, 내부전위는 P-well의 전하 중성영역에서 0.3% 이내의 상대오차를 나타낸다. 표 1은 P-well의 불순물 농도와 접합 깊이가 다른 다양한 구조에 대한 역방향 항복전압을 계산한 결과이다. P-well 공정 조건을 설계하는 과정에서 역방향 항복전압이 CMOS 소자에 인가할 수 있는 최대 전압 이상이 되도록 P-well 불순물 농도를 결정한다. 역방향 항복전압이 25[V] 이상이 되는 P-well의 공정 조건은 표 1에서 어렵게 표시된 불순물 농도 값을 사용할 수 있다.

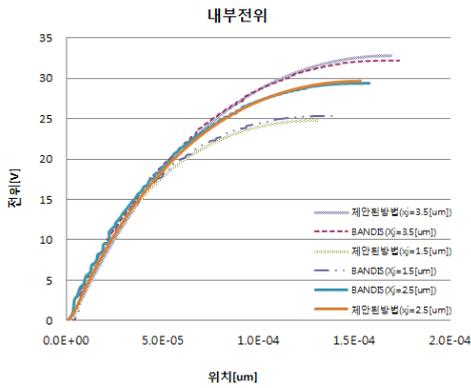


그림 7 내부전위 비교
Fig. 7 The comparison of the potential

표 1 P-well 농도와 접합깊이에 대해 역방향 항복전압 비교

Table 1 The comparison of the breakdown voltage for various P-well doping concentrations and metallurgical junction depth

접합깊이	PWell=1X10 ¹⁵	PWell=1.3X10 ¹⁵	PWell=1.7X10 ¹⁵	PWell=2X10 ¹⁵
1.5[um]	24.1[V]	22.5[V]	20.9[V]	19.9[V]
2.0[um]	26.7[V]	24.7[V]	22.7[V]	21.5[V]
2.5[um]	28.8[V]	26.5[V]	24.2[V]	22.8[V]
3.0[um]	30.5[V]	28.0[V]	25.4[V]	23.8[V]
3.5[um]	32.0[V]	29.1[V]	26.3[V]	24.7[V]

4. 결 론

Spherical 구조를 갖는 고전압용 Analog CMOS Drain 영역의 역방향 항복전압을 정교하게 계산하는 방법을 제안하였다. 또한 측면 확산을 고려하여 3차원 구조에서 곡률반경을 계산하는 방법을 제안하였다. 공핍 폭과 내부전계를 구하기 위해 미소구간 별로 Spherical 좌표에서 유도된 포아송 방정식을 적분한 후 경계조건을 대입하였다. 제안된 방법의 타당성을 검증하기 위해 접합영역에서 N⁺ Drain 불순물 농도가 1.0X10¹⁸[cm⁻³] 이고 P-well 농도가 1.0X10¹⁶[cm⁻³] 인 시료에 대해 제안된 방법과 BANDIS를 이용한 소자 모의실험 결과를 비교하였다. 곡률반경을 1.5[um]에서부터 3.5[um]까지 변화시킨 조건에서 역방향 항복전압을 비교한 결과 3.3% 이내의 상대오차를 보이고 있으며, 내부전계와 내부전위는 각각 3.7%와 0.3% 이내의 상대오차를 보이고 있으므로 제안한 방법의 타당성을 확인할 수 있다. 또한 본 논문이 제안한 방법을 활용하면 Drain 영역의 역방향 항복전압이 최대 인가전압 이상이 되기 위한 P-well 의 공정조건을 설계할 수 있음을 확인하였다.

References

[1] R.S.Muller, T.I.Kamins, *Device Electronics for Integrated Circuits*, John Wiley & Sons, New York, pp. 32-33 2003.

[2] P. Antognetti, *Power Integrated Circuits: Physics, Design, and Applications*, McGraw-Hill, Italy, pp. 2.44, 1986.

[3] S.C.Sun, J.D.Plummer, "Modeling of the On-Resistance of LDMOS, VDMOS, and VMOS Power Transistor", *IEEE Trans. on Electron Device*, Vol. ED-27, No. 2, pp. 356-367, Feb. 1980.

[4] H.Ballan, M.Declercq, *High Vlotage Device and Circuits in Standard CMOS Technologies*, Kluwer Academics Pub., Netherlands, pp.6, 1999.

[5] B.Murari, F.Bertotti, G.A.Vignola, *Smart Power ICs Technologies and Applications*, Springer, New York, pp. 53, 1996.

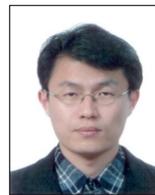
[6] B. J. Baliga, *Power Semiconductor Devices*, PWS Pub. comp. Boston, pp. 82-102, 1996.

[7] Antonio G.M, Strollo and E. Napoli, "Optimal ON-Resistance Versus Breakdown Voltage Tradeoff in Superjunction Power Devices: A Novel Analytic Model", *IEEE Trans. on Electron Device*, Vol. 48, No. 9, pp. 2161-251, Sep. 2001.

[8] UnGu Lee, "The Calculation Method of the Breakdown Voltage for the Drain Region with the Cylindrical Structure in LDMOS ", *Trans. KIEE. Vol. 61, No. 12*, pp.1872-1876, Dev. 2012.

[9] UnGu Lee, *A Study on the Integrated BJT Process Development for CDP Motor Drive IC Using BANDIS and MODIS Program*, Inha University, 2003.

저 자 소 개



이 은 구 (李 恩 九)

1972년 6월 11일생. 1995년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2003년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 현재 부천대학 정보통신과 부교수 재직.

E-mail : leg@bc.ac.kr