

GaAs 쇼트키 정류기의 항복전압 모델링

정용성*, 한승엽**, 최연익**

*경주전문대 전자공학과, **아주대학교 전기전자공학부

A Breakdown Voltage Modeling of the GaAs Schottky Rectifiers

Yong-Sung Chung*, Seung-Youp Han**, and Yearn-Ik Choi**

*Department of Electronics Engineering, Kyungju Junior College

**School of Electrical Engineering, Ajou University

ABSTRACT

Effective ionization coefficients for (100), (110) and (111) oriented gallium arsenide are extracted from the ionization coefficients for electrons and holes. Analytical formulas for the breakdown voltage of the GaAs Schottky rectifiers are derived by employing the ionization coefficients. The breakdown voltages obtained from our analytical model agree fairly well with the numerical results as well as the experimental ones reported in the range of 10^{14} cm⁻³ - 5×10^{17} cm⁻³ doping concentrations.

I. 서론

GaAs는 실리콘으로는 구현하기 어려운 마이크로 웨이브 응용에 적합한 MESFET, HEMT등과 같은 초고속소자 또는 레이저 다이오드, 발광 다이오드와 같은 광소자 분야에 주로 이용되고 있다. 또한 갈륨비소는 실리콘에 비해 이동도(mobility)가 크고, 에너지 밴드갭이 넓기 때문에 고속동작이 가능하고 ON 저항이 작다는 장점 등 전력소자로서 매우 우수한 특성을 지니고 있다. 현재 GaAs를 사용한 전력용 소자는 실리콘에 비해 재료비가 고가이기 때문에, PN 다이오드 보다는 고속 스위칭의 장점을 살리기에 유리한 Schottky 다이오드에 관심이 집중되고 있다. 최근 미국의 모토롤라 사에서는 항복전압이 600 V인 GaAs 쇼트키 정류기의 상업적인 개발에 착수하였다[1,2].

일반적으로 전력 반도체 소자는 주어진 농도에 대해 항복전압은 최대가 되고, ON 저항은 최소가 되도록 설계한다. 쇼트키 다이오드의 순방향시 ON 저항은 대체로 에피층의 두께에 비례하므로, 주어진 항복전압을 유지하면서 ON 저항을 최소

화 하기 위해서 에피층 두께를 항복시 공핍층 폭과 같게 설계하는 것이 최선의 방법이다. 따라서 GaAs 쇼트키 정류기의 최적 설계를 위해서 항복전압에 대한 해석적인 모델은 필수적이다.

Lee 등[3]은 수치해석법에 의해 GaAs 집합의 항복전압을 농도에 대해 구한 바 있으나, 해석적인 모형이 아니기 때문에 설계에 적용하기 위해서는 불편한 점이 많다. 본 논문에서는 전자와 정공의 이온화 계수가 서로 다르지만 이를 통합한 유효 이온화 계수를 mE^c 의 형태로 추출함으로써, 아발란치 항복을 위한 임계 전계, 항복전압에 대한 해석적인 공식을 유도하였다. 또한 (100), (110), (111) 방향에 따라 이온화 계수가 다르기 때문에 이를 고려한 유효 이온화 계수, 항복전압 식을 유도하고, 이미 발표된 수치해석 결과, 실험 결과와 비교함으로써, 본 논문에서 제시한 항복전압 모델의 타당성을 검증하고자 한다.

II. 해석적인 모델 및 논의

아발란치 항복은 이온화 적분이 다음 (1) 식의 조건을 만족할 때 발생한다.

$$\int_0^W \beta \exp[-\int_0^x (\beta - \alpha) dx'] dx = 1 \quad (1)$$

여기서 W는 공핍층 폭(depletion width), β 와 α 는 각각 정공(hole)과 전자(electron)의 이온화 계수를 가리킨다. GaAs의 이온화 계수는 전계, E의 함수로 $A \exp[-(b/E)^c]$ 의 형태로 나타낼 수 있다고 알려져 있으며, 이때, (100), (110), (111) 결정 방향의 GaAs에 대한 A, b 및 c는 표 1에 정리하였다.

이온화 계수, α 와 β 는 각 결정 방향에 따라

상당히 다르지만[5,6], (111) 방향의 낮은 전계를 제외하고는 $\gamma = \alpha = \beta$ 라고 근사한 유효 이온화 계수를 사용하여 임계 전계 및 항복전압을 구하더라도, silicon[7], indium phosphide[8]의 경우 큰 오차가 발생하지 않고 상당히 정확한 결과를 얻을 수 있다고 알려져 있다.

유효 이온화 계수, γ 를 사용하면 식 (1)의 항복 조건은 다음과 같이 단순화 된다.

$$\int_0^W \gamma dx = 1 \quad (2)$$

표 1. 여러가지 결정 방향을 갖는 GaAs의 이온화 계수(300K).

결정방향 \ 이온화계수		(100)		(110)	(111)
		Ref. 3	Ref. 4	Ref. 3	Ref. 3
α	A(cm ⁻¹)	9.12 × 10 ⁴	2.99 × 10 ⁵	2.19 × 10 ⁷	7.76 × 10 ⁴
	b(V/cm)	4.77 × 10 ⁵	6.85 × 10 ⁵	2.95 × 10 ⁶	4.45 × 10 ⁵
	c	3.48	1.6	1	6.91
β	A(cm ⁻¹)	3.47 × 10 ⁶	2.22 × 10 ⁵	3.47 × 10 ⁶	6.31 × 10 ⁶
	b(V/cm)	2.18 × 10 ⁶	6.57 × 10 ⁵	2.27 × 10 ⁶	2.31 × 10 ⁶
	c	1	1.75	1	1

Gallium arsenide의 유효 이온화 계수, γ 를 다음과 같이 근사시킨다.

$$r = mE^n \quad (3)$$

이때 m, n은 GaAs의 결정 방향에 따라 다음 표와 같이 주어진다.

결정방향	m	n
(100)	2.36 × 10 ⁻²⁰	4.26
(110)	7.49 × 10 ⁻³⁸	7.33
(111)	1.01 × 10 ⁻³²	6.41

그림 1에 3 × 10⁵ V/cm - 7 × 10⁵ V/cm 전계 범위에서 (100), (110), (111) 결정 방향 GaAs의 전자 및 정공의 이온화 계수, α 와 β , 추출한 유효 이온화 계수, γ 를 나타냈다.

한편, 쇼트키 접합은 거의 평면형 단방향 계단형(parallel-plane one-sided step)과 같으므로, 전계는

$$E(x) = \frac{qN_D W}{\epsilon_s} \left[1 - \frac{x}{W} \right] \quad (4)$$

여기서 q는 전자의 전하, N_D는 기판의 농도, ϵ_s 는 GaAs의 유전율(permittivity)이다. 식 (3)과 (4)를 식 (2)에 대입하면, 항복시 공핍층 폭, W_{pp}는,

$$W_{pp} = m_1 \cdot N_D^{-n_1} \quad [\text{cm}] \quad (5)$$

이때 m₁, n₁은 결정 방향에 따라 다음 표와 같다.

결정방향	m ₁	n ₁
(100)	2.42 × 10 ⁹	-0.81
(110)	3.64 × 10 ¹⁰	-0.88
(111)	2.12 × 10 ¹⁰	-0.87

아발란치 항복을 위한 임계전계, E_{pp}는 식 (4)로부터

$$E_{pp} = m_2 \cdot N_D^{n_2} \quad (6)$$

이때 m₂, n₂는 결정 방향에 따라 다음 표와 같다.

결정방향	m ₂	n ₂
(100)	3.74 × 10 ²	0.19
(110)	5.62 × 10 ³	0.12
(111)	3.28 × 10 ³	0.13

항복전압, BV_{pp}는 BV_{pp} = (qN_D/2ε_s) W_{pp}²를 이용하여

$$BV_{pp} = m_3 \cdot N_D^{-n_3} \quad [\text{V}] \quad (7)$$

이때 m₃, n₃은 결정 방향에 따라 다음 표와 같다.

결정방향	m ₃	n ₃
(100)	4.56 × 10 ¹¹	-0.62
(110)	1.02 × 10 ¹⁴	-0.76
(111)	3.49 × 10 ¹³	-0.73

그림 2에 식 (7)을 이용하여 구한 해석적인 항복전압을 농도에 따라 나타냈다. 그림 2(a)는 (100) 방향, 2(b)는 (110) 방향, 2(c)는 (111) 방향 쇼트키 정류기의 항복전압을 나타내며, 실선은 본 연구에서 유도한 해석적인 결과, 점선은 식 (1)을 이용한 수치해석 결과[3,6], ▲, ■는 (100), (111) 방향의 실험 결과[4,6]를 나타낸다. 해석적인 결과는 수치해석 결과보다 오히려 실험 결과와 더욱 잘 맞는 것을 확인할 수 있다.

III. 결론

(100), (110), (111) 결정 방향 GaAs의 유효 이온화 계수를 제안하였으며, 이를 이용하여 쇼트키 정류기의 아발란치 항복을 위한 임계 전계, 항복 전압을 농도의 함수로 유도하였다. 해석적인 식은 GaAs 전력 반도체 소자의 항복전압을 설계하는데 유용하게 사용될 수 있으리라 기대된다.

참고 문헌

- [1] Ali S.M. Salih *et al.*, *Proc. PEDS'95*, 259, Singapore, Feb. 21(1995).
- [2] S. Anderson, *Proc. ISPSD'96*, 33, Maui, May 20(1996).

- [3] M. H. Lee and S. M. Sze, *Solid-St. Electronics*, 23, 1007(1980).
- [4] S.M. Sze and G. Gibbons, *Appl. Phys. Lett.*, 8, 111(1966).
- [5] T. P. Pearsall *et al.*, *Solid-St. Electron.*, 21, 297(1978).
- [6] G. E. Bulman *et al.*, *IEEE Electron Dev. Lett.*, EDL-4, 181(1993).
- [7] W. Fulop, *Solid-St. Electron.*, 10, 39(1967).
- [8] Tae-Hun Moon *et al.*, *Solid-St. Electron.*, 37, 187(1994).

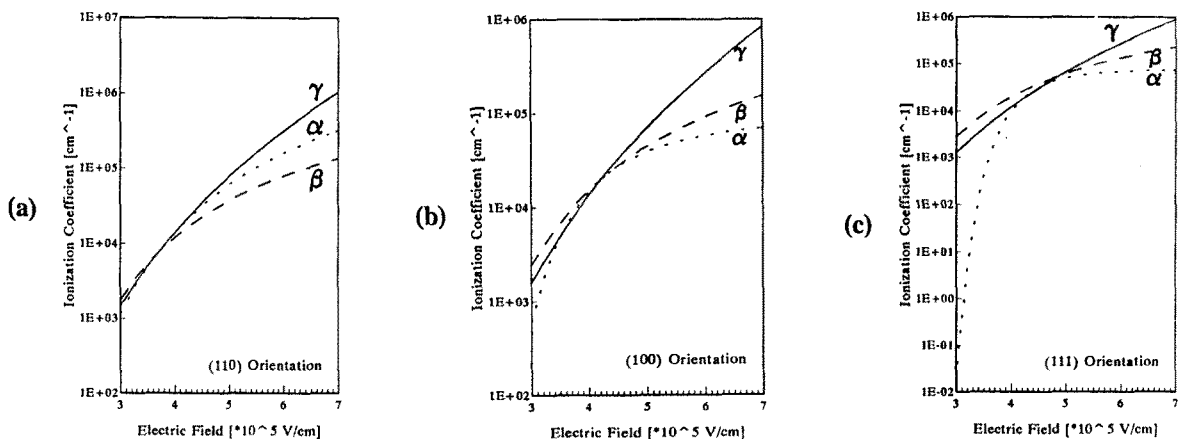


그림 1. 전계에 따른 GaAs의 이온화 계수.

(a) (100) 방향, (b) (110) 방향, (c) (111) 방향

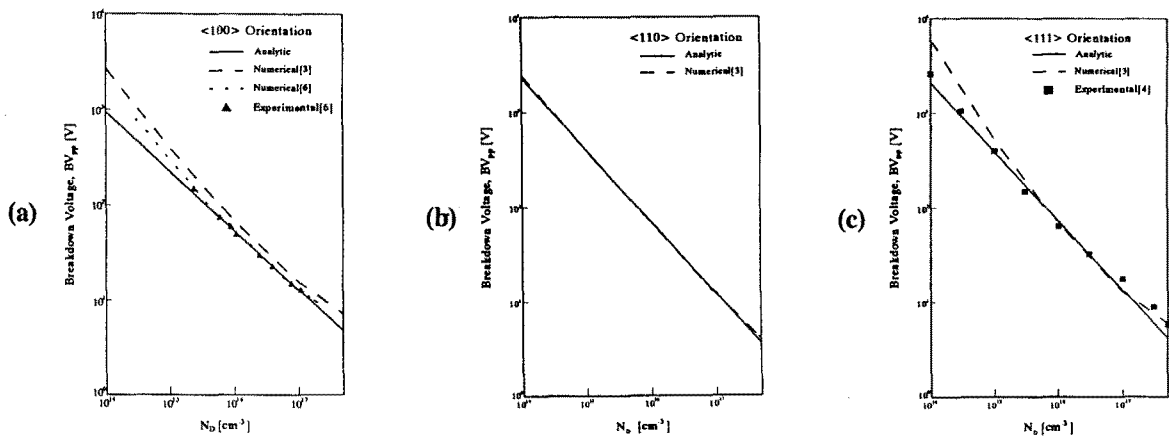


그림 2. 농도에 따른 GaAs 쇼트키 정류기의 항복전압.

(a) (100) 방향, (b) (110) 방향, (c) (111) 방향