

논문 2007-44SD-8-7

# 밀리미터파 GaAs 건 다이오드의 설계 및 제작

(Design and fabrication of millimeter-wave GaAs Gunn diodes)

김미라\*, 이성대\*, 채연식\*, 이진구\*

(Mi-Ra Kim, Seong-Dae Lee, Yeon-Sik Chae, and Jin-Koo Rhee)

## 요약

1.6  $\mu\text{m}$ 의 활성층을 가지는 planar형태의 94 GHz graded-gap injector GaAs 건 다이오드를 설계, 제작하였다. 이 다이오드는 반 절연 기판에 성장된 에피 구조를 바탕으로 메사 식각, 옴릭 금속 접촉형성 및 overlay metalization의 주요 공정을 통하여 두가지 형태의 planar 구조로 제작되었다. 제작된 건 다이오드의 부정저항 특성을 anode와 cathode 금속전극들의 배치를 달리 한 두 소자 구조에서 고찰하였고 graded-gap injector의 역할을 순방향과 역방향에서의 직류거동으로부터 살펴보았다. 결과적으로, 금속전극의 배치에 있어서, cathode와 anode 전극사이의 거리가 감소된 소자 구조에서 증가된 peak 전류와 breakdown 전압, 그리고 감소된 문턱전압을 얻었다.

## Abstract

We designed and fabricated the planar graded-gap injector GaAs Gunn diodes with 1.6  $\mu\text{m}$  active length for operation at 94 GHz. The fabrication of the Gunn diode is based on MESA etching, Ohmic metalization, and overlay metalization. The measured negative resistance characteristics of the graded-gap injector GaAs Gunn diodes are examined for two different device structures changing the distance between the cathode and the anode electrodes. Also, we discuss the DC results under the forward and the reverse biases concerning the role of the graded-gap injector. It is shown that the structure having the shorter distance between the cathode and the anode electrode has higher peak current, higher breakdown voltage, and lower threshold voltage than those of the larger distance.

**Keywords:** GaAs, Gunn diode, Graded-gap injector, Negative resistance

## I. 서론

건(Gunn) 다이오드는 부정저항(negative resistance) 특성이 마이크로파 발진에 이용되는 이동 전자소자(transferred electron device) 중의 하나이다<sup>[1~2]</sup>. 우수한 잡음특성과 넓은 주파수 대역을 가지는 건 다이오드는 주로 국부 발진기의 신호원으로 많이 사용된다.

GaAs 건 다이오드는 W-밴드(77-110 GHz) 주파수 신호원으로 널리 사용되며 60GHz 이상에서는 second-

harmonic mode 동작이 주로 이용된다. Conventional n+nn+ 건 다이오드 구조에서 second harmonic mode 발진을 이용할 경우 그 dc-rf 변환효율은 약 0.4 % 이하로 매우 낮다. 따라서 차량 충돌방지 시스템이나 군용 레이더 시스템의 밀리미터파 신호원으로 GaAs 건 다이오드를 사용할 경우, 적절한 응용에 필요한 40 mW 이상의 출력 파워의 획득이 매우 어렵다.

본 연구의 목적은 밀리미터파 대역 군용 레이더 시스템의 VCO(Voltage Controlled Oscillator)의 핵심소자인 94 GHz GaAs 건 다이오드를 설계, 제작하는 것이다. 이에 우리는 94 GHz에서 높은 효율과 출력파워를 주는 Graded-Gap Injector (GGI) GaAs 에피 구조를 채택하여 다이오드를 제작하였다. GGI는 GaAs 건 다이오드의 cathode와 활성층(active layer) 사이에 뜨거운 전자 주입기(injector)를 뚫으로써 중앙계곡(central valley)과

\* 정회원, 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 (Millimeter-wave Innovation Technology Research Center, Dongguk University)

※ 본 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 (MINT)를 통한 한국과학재단의 우수연구센터 (ERC) (R11-1999-058-02005-0) 지원금에 의해 수행되었음.

접수일자: 2007년4월19일, 수정완료일: 2007년8월14일

위성계곡(satellite valley)사이의 전이 에너지를 가진 뜨거운 전자를 활성층으로 바로 주입시키는 구조이다<sup>[3~4]</sup>. 결과적으로 위의 구조를 사용한 GaAs 건 다이오드는 W-밴드 발진에서 1.5 % 이상의 dc-rf 변환효율을 얻을 수 있다. S. J. Jerome Teng<sup>[5]</sup>과 N. R. Couch<sup>[6]</sup>에 의해 보고된 W-밴드 second-harmonic mode을 이용한 W-밴드 GaAs 건 다이오드의 출력전력(변환효율)은 94 GHz에서 각각 96 mW(2.7 %)와 68 mW(2.4 %)로 상당히 우수한 결과를 보여주고 있다.

건 다이오드는 통상적으로 cavity 내에 마운트 되고 탱크회로의 공명진동수에서 발진이 이루어지기 때문에 그 튜닝이 까다롭고 좋은 소자 특성을 얻기가 어렵다. 본 연구에서는 94 GHz planar 구조의 건 VCO 구성을 위해 1.6  $\mu\text{m}$ 의 활성층을 가지는 planar 형태의 GGI GaAs 건 다이오드를 제작하였다. 위의 다이오드는 플립 칩(flip chip) 형태의 밀리미터파 VCO 구성<sup>[7,8]</sup>에 유리하도록 반 절연 GaAs 기판위에 성장되어진 에피 구조를 바탕으로 메사식각, 오믹 금속 접촉형성 및 플립 칩 본딩을 위한 overlay metalization의 공정을 통하여 두 가지 형태의 planar 구조로 설계, 제작되었다. 제작된 건 다이오드의 부성저항 특성을 각각의 구조에 대해서 살펴보았다. 또한, 단일 능동소자로서의 다이오드의 거동을 조사하는데 있어서, 에피구조에서 GGI의 역할을 순방향과 역방향에서의 직류거동으로부터 알아보았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 절에 밀리미터파 대역에서 동작하는 GGI GaAs 건 다이오드의 설계와 공정 내용을 기술하였고 III 절에 제작된 건 다이오드의 DC 측정을 통하여 성공적인 건 다이오드의 제작을 확인하고, 부성저항 특성과 GGI의 역할을 조사하였다.

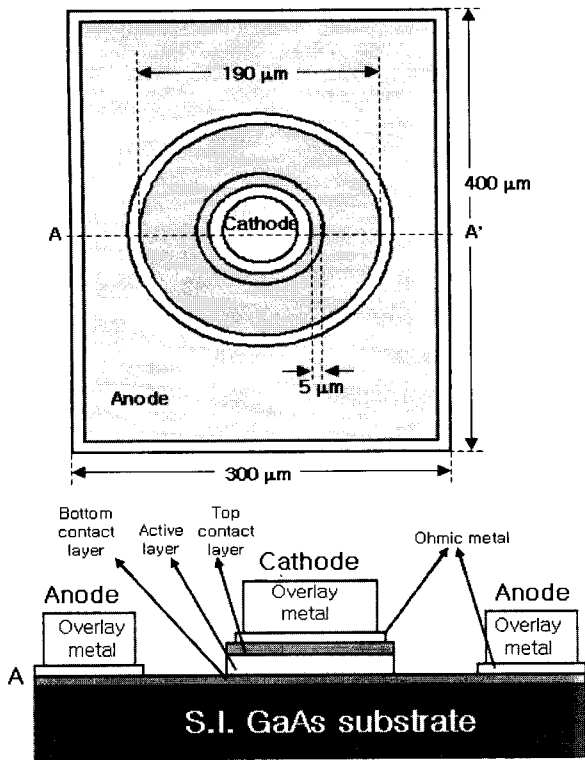
## II. 설계 및 공정

본 논문에서는 S. Montanari *et al*<sup>[9]</sup>에 의해 제안된 GGI GaAs 건 다이오드의 에피 구조를 사용하여 두 가지 형태의 planar 소자 구조를 설계하였다. 94 GHz에서 활성영역의 길이는 1.6  $\mu\text{m}$ 로 택하였다. Planar 구조의 건 소자를 설계하기 위하여 반 절연 GaAs 기판위에 GGI 에피 구조를 MBE(Molecular Beam Epitaxy)를 사용하여 성장하였다. GaAs 기판 위에 금속 접촉을 형성하기 위한 700 nm의 두께와  $4.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 의 불순물 농도를 갖는 n+ 접촉 층이 성장되고 그 위에 1.6  $\mu\text{m}$ 의 두께와  $1.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 의 불순물 농도를 갖는 n-활성층

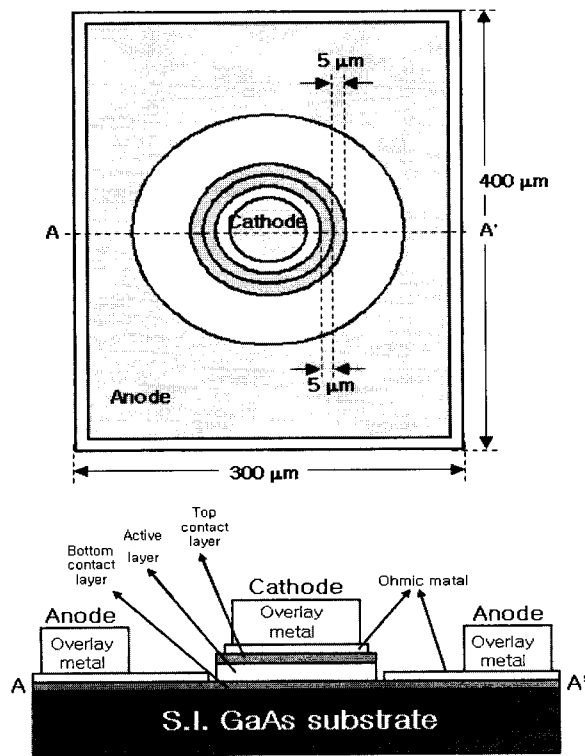
이 성장되었다. 활성영역 위에 5 nm의 두께와  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  불순물 농도의 델타도핑 층을, 그리고 GGI로서 50 nm의 graded  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  층이 성장되었다. 우리는  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  층의 Al의 조성비를 성장 시격자가 끊어지는 것을 막고 최대의 부정합 구조를 얻기 위하여 0.3에서 0까지 선형적으로 변화를 갖도록 설계하였다. 또한  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  층 상, 하부에 경사 장벽으로의 도핑 확산을 막기 위하여 10 nm의 진성 GaAs spacer층을 성장하였다. 마지막으로 cathode 금속 접촉을 형성하기 위한 500 nm 두께와  $4.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 의 불순물 농도를 갖는 n+ 접촉 층을 성장하였다.

GGI GaAs 건 다이오드에서는 안정된 도메인이 cathode 근처에서 형성된다. 이는 전자가 중앙계곡과 위성계곡의 에너지 차이와 거의 같은 에너지를 가지고 활성층으로 주입됨을 의미한다. 이로써 변환효율의 감소를 야기하는 dead space<sup>[1]</sup>가 효과적으로 제거되고 transit 거리가 고정되며 바이어스에 의존하지 않게 된다. 결과적으로 응집 파워가 동작전압의 넓은 영역에 걸쳐서 형성되게 된다. 위와 같이 GGI는 dc-rf 변환효율을 증가시키고 잡음과 온도 민감도를 감소시키며 넓은 바이어스 튜닝을 가능하게 한다<sup>3</sup>. 본 논문에서는 cathode가 중앙에 원형으로 위치하고 anode가 cathode를 둘러싸는 형태로 planar 건 다이오드를 설계하였다. 두 소자를 MGD1과 MGD2로 각각 이름 붙였다. MGD1과 MGD2에서 cathode는 모두 60-80  $\mu\text{m}$ 의 직경을 가진다. 그림 1의 (a)와 (b)에 MGD1과 MGD2의 구조를 각각 나타내었다. 이 두 구조에서 anode 금속전극의 배치를 달리하여 anode가 형성되는 하부 n+ GaAs 접촉층의 직렬저항에 의한 특성을 알아보았다. 그림 1(a)의 MGD1은 직경 190  $\mu\text{m}$ 의 anode 금속전극의 내원 가운데에 cathode가 위치하는 구조로서 cathode의 크기에 따라 anode와 cathode 사이의 거리가 70-60  $\mu\text{m}$ 로 변한다. 그림 1 (b)의 MGD2는 cathode의 크기가 변하더라도 anode와 cathode 금속 전극 사이의 거리가 항상 10  $\mu\text{m}$ 를 유지하도록 설계하였다.

건 다이오드 제작은 크게 소자간의 전기적 격리를 위한 메사식각 공정, 오믹 금속접촉 형성, 그리고 플립 칩 본딩을 위한 overlay metalization 공정으로 구분된다. cathode가 형성될 부분을 묘화(lithography)를 이용하여 패턴을 형성하고, 식각 방법을 이용하여 cathode 금속층을 노출시켰다. cathode 패턴은 AZ1512 PR(photoresist)을 이용한 양성 묘화 공정<sup>[11]</sup>을 이용하여 형성하였다. 메사 식각은 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O를



(a) MGD1



(b) MGD2

그림 1 설계된 GGI GaAs 건 다이오드의 구조: (a) 는 MGD1, (b) 는 MGD2

Fig. 1. Cross-sectional view and top-view of the designed GGI GaAs Gunn diode. (a) and (b) represent MGD1 and MGD2, respectively.

1:8:160 으로 혼합한 용액을 사용하여 습식 식각 하였다. 이 용액으로 8분 30초 동안 총 2.2 μm의 두께를 식각함으로써 cathode 금속접촉 층을 노출시켰다. AZ5214E PR과 영상 반전 공정<sup>[12]</sup>을 이용하여 오믹 금속 패턴을 형성한 후 AuGe(1450Å)/ Ni(280Å)/ Au(1600Å) 오믹 금속을 증착하였으며, 금속과 반도체 간의 접촉저항을 줄이기 위하여 340 °C에서 45 초 동안 열처리 공정을 수행하였다. 금속-반도체 접촉의 전기적 질과 기계적 안정성은 건 다이오드의 효율과 수명을 결정하는데 중요한 요소로 작용하며 오믹 접촉 공정은 planar 형태의 발진기 집적과 S-parameter 측정을 위하여도 또한 중요하다. 마지막으로 플립 칩 본딩을 위해 수 μm 두께로 Au를 적층하는 overlay 공정을 수행하였다. Overlay 공정을 보면, 먼저, AZ1518 PR을 사용하여 3 μm 두께의 희생층을 형성한 후 Ti/Au의 도금(plating) seed를 증착하였다. 도금되어야 하는 부분의 패턴을 7-8 μm 두께의 AZP 4903 PR을 사용하여 형성한 뒤 5 μm의 Au를 도금하였다. 아세톤을 이용하여 도금패턴 형성에 사용된 PR을 제거한 후 Au stripper와 BOE(buffered oxide etchant; HF : NH4F = 1 : 7)를 이용하여 도금 seed를 제거하고, 다시 아세톤을 이용하여 희생층을 제거함으로써 건 다이오드를 제작하였다.

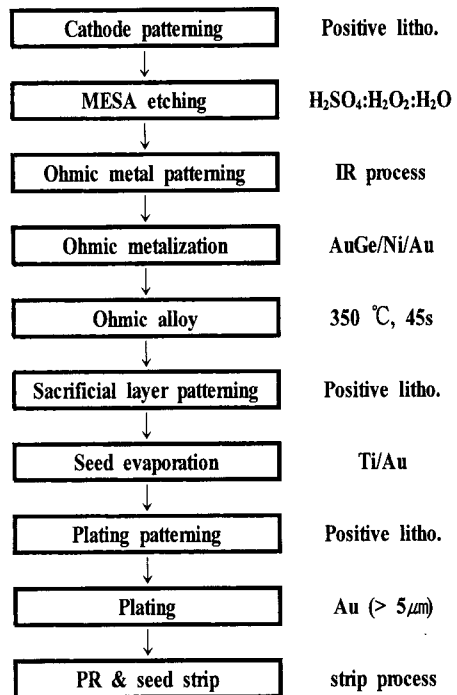


그림 2 GGI GaAs 건 다이오드의 제작 순서

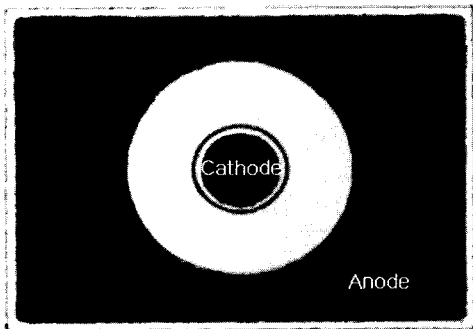
Fig. 2. Fabrication process of the GGI GaAs Gunn diode.

III. 결과 및 논의

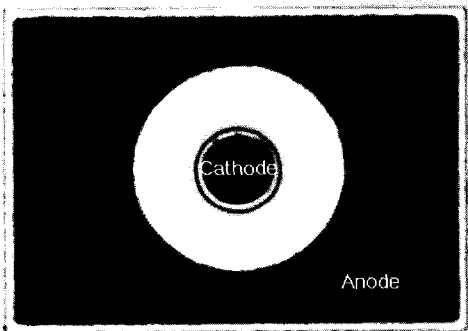
HP4156A DC parameter analyzer를 사용하여 MGD1과 MGD2의 DC 특성을 측정하고 그 결과들을 고찰하였다. 제작된 MGD1과 MGD2의 수평구조 사진을 그림 3에 나타내었다.

DC 특성을 통해 제작된 소자의 부성저항을 관측하였고 이로부터 성공적인 건 다이오드의 제작을 확인하였다. 활성층의 길이는 1.6  $\mu\text{m}$ , 그 도핑은  $1.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 이며 모든 측정은  $T = 300 \text{ K}$ 에서 수행되었다. 본 연구에서 제작된 GGI GaAs Gunn 다이오드에서 cathode는 emitter역할을, anode는 collector역할을 한다. 60  $\mu\text{m}$ 와 68  $\mu\text{m}$ 의 cathode 직경을 가지는 MGD1과 MGD2에서의 DC 측정 결과들을 그림 4에 나타내었다. 94 GHz GaAs 건 다이오드는 25 kA/cm<sup>2</sup> 이상의 전류밀도 범위에서 동작하므로 본 연구에서는 cathode의 크기를 60-70  $\mu\text{m}$ 로 설계하였다. 우리는 부성저항 효과가 나타나는 peak 전류, 문턱전압, 부성저항의 기울기 및 그 영

역을 조사함으로써 제작된 다이오드의 동작전압과 그와 관련된 특성들을 예측하였다. MGD1과 MGD2는 서로 다른 직렬저항을 가지도록 설계되었기 때문에 그림 4의 측정결과 에서도 직렬저항의 차이에 의한 그 특성 차이를 관측할 수 있었다. 순방향 바이어스가 가해지면서 cathode로 주입된 전자들은 활성층을 통해 anode로 이동한다. 그림 4 (a)와 (b)에서, DC 바이어스가 문턱전압을 넘으면서 부성저항이 나타남을 볼 수 있다. 전류가 문턱전압과 peak 전압 사이에서 바이어스 전압에 대해 감소하므로 이 영역에서 소자는 더 이상 안정된 DC 조건을 유지 할 수 없게 된다. 이때 건 다이오드는 외부회로의 공명 진동수에서 발진이 일어나게 된다. MGD1에서 부성저항을 정의하는 문턱전압은 60  $\mu\text{m}$  와 68  $\mu\text{m}$ 의 cathode에서 각각 3.8 V 와 4.0 V 이고 이에 대응되는 peak 전류는 505 mA와 588 mA 이다.



(a) MGD1



(b) MGD2

그림 3. 제작된 GGI GaAs 건 다이오드의 수평구조: (a)는 MGD1, (b)는 MGD2

Fig. 3. Top-view of the fabricated GGI GaAs GaAs Gunn diode. (a) and (b) represent MGD1 and MGD2, respectively.

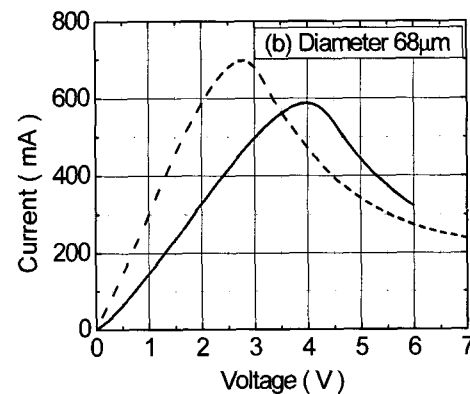
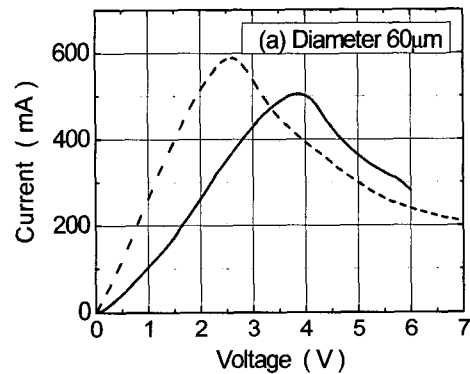


그림 4. GaAs 건 다이오드의 I-V 특성: 실선은 MGD1, 점선은 MGD2

Fig. 4. I-V characteristics of the GGI GaAs Gunn diode with the cathode diameters of 60  $\mu\text{m}$  and 68  $\mu\text{m}$  at  $T = 300 \text{ K}$ . The solid and dashed lines represent MGD1 and MGD2, respectively.

일반적으로 CW 동작에서 동작전압이 문턱전압의 1.5-2.5 배인 점과 전형적인 GGI GaAs 건 다이오드의 동작전압이 3-6 V, 동작전류가 600-900 mA 인 점을 감안하면 전형적인 GGI GaAs 건 다이오드 보다 MGD1 에서의 문턱전압은 높고 peak 전류는 낮음을 볼 수 있다. 반면 MGD2는 MGD1과 비교할 때 그 부성저항 특성의 양상이 GGI GaAs 건 다이오드의 전형적인 결과들[9.13] 과 더 잘 일치함을 볼 수 있다. 이것은 MGD2가 MGD1에 비해 cathode 금속전극에서 하부 n+ GaAs 접촉 층까지의 전하이동거리가 단축됨에 따른 직렬저항의 감소로부터 기인한다. 일반적인 반도체 시료의 저항은  $R = \frac{\rho L}{\omega d}$  로 표현되며, 여기서  $\rho$ 는 하부 n+ GaAs 층의 resistivity,  $L$ 은 cathode와 anode 금속전극 사이의 거리,  $\omega$ 는 전자가 이동하는 하부 n+ GaAs 층의 폭,  $d$ 는 하부 n+ GaAs층의 두께이다.  $4.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 의 도핑농도를 갖는 하부 n+ GaAs 층의 resistivity 는  $5.8 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  이다. 이로부터 60  $\mu\text{m}$ 의 cathode에 대해 금속전극이 형성되지 않은 MGD1과 MGD2의 하부 n+ GaAs 층의 직렬저항은 각각 0.7  $\Omega$  과 0.1  $\Omega$  이다. 60  $\mu\text{m}$ 와 68  $\mu\text{m}$ 의 cathode 크기를 가지는 MGD2에서 peak 전류와 문턱전압은 각각 2.6 V에서 606 mA 그리고 2.9 V에서 675 mA 이다. 60  $\mu\text{m}$  cathode를 가지는 MGD1과 비교할 때, 직렬저항 감소로 인한 MGD1에 대한 MGD2의 peak 전류 증가는 약 14.4 %, 그리고 문턱전압 감소는 약 31.6 % 이었다. 이로부터 우리는 MGD2가 약 5 V 정도에서 발진이 일어나리라 예측할 수 있다. 이것은 MGD1과 비교할 때 MGD2의 결과가 3-6 V의 동작전압을 가지는 밀리미터파 GaAs 건 다이오드의 전형적인 발진 특성과 더 잘 일치됨을 알 수 있다.

하나의 단일 능동소자로서 건 다이오드의 거동을 살펴보는데 있어서, 에피 구조에서 GGI의 역할을 제작된 GGI GaAs 건 다이오드의 직류 거동을 통해 알아보았다. 60  $\mu\text{m}$  cathode를 가지는 GGI GaAs 건 다이오드에서의 순방향과 역방향 직류거동을 그림 5에 나타내었다. 원점을 기준으로 오른쪽은 순방향, 왼쪽은 역방향을 나타낸다. GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As의 전도대 불연속으로부터 전자가 얻는 에너지는  $x = 0.3$  에서 약 0.25 eV 이다. GGI 건 다이오드에서는 cathode 근처의 Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 층 때문에 transit 영역(활성층)으로 이동하는 대부분의 전자들은 중앙계곡( $\Gamma$ )-위성계곡(L) 전이에 충분한 에너지를 가지고 바로 위성계곡으로 전이한다. 위성계곡으로

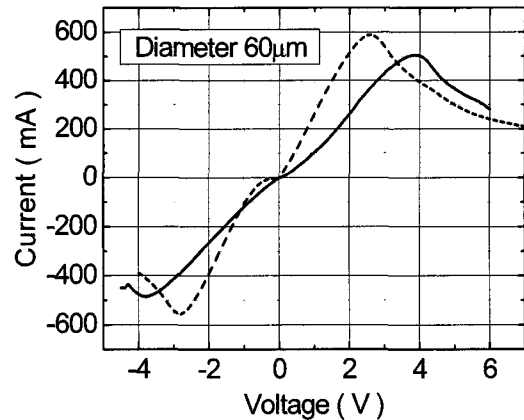


그림 5. T = 300 K에서 60  $\mu\text{m}$  를 가지는 GGI GaAs Gunn 다이오드의 순방향과 역방향에서의 I-V 특성: 실선은 MGD1, 점선은 MGD2  
 Fig. 5. I-V characteristics for forward and reverse directions of the GGI GaAs Gunn diode with the cathode diameter of 60  $\mu\text{m}$  at T = 300 K. The solid and dashed lines represent MGD1 and MGD2, respectively.

이동한 전자들의 유효질량은 중앙계곡에 비해 매우 크며 이로써 전자들은 낮은 유동속도를 가지게 된다. 순방향에서는 GGI로 인하여 뜨거워진 전자들이 바로 활성층으로 이동하는 반면 역방향에서는 GGI가 마치 선형 저항기와 같이 취급된다. MGD1의 결과로부터, 순방향과 역방향에서의 peak 전류, 문턱전압 및 기울기와 같은 부성저항 특성은 거의 유사하며, 이것은 마치 순방향에서 GGI의 영향이 거의 없는 것과 같이 보인다. MGD2에서, 두 방향에서 peak 전류 값들은 서로 다른 결과를 주며 이는 두 전류 방향에서 서로 다른 전자 유동속도에 의한다. 결국, 이 현상은 L 계곡의 서로 다른 전자 점유도로부터 기인함을 알 수 있다. Peak 전류는 온도에 강하게 의존할 것이고 이 효과는 직접적으로 온도가 증가하면서 활성층 저항의 증가와 관계된다. 이것은 주로 중앙계곡과 위성계곡의 상대적인 전자 점유도의 차이로부터 생긴다. GGI 구조에서 전자들은 큰 에너지를 가지고 활성층으로 바로 이동하기 때문에 부성저항의 기울기가 작으며 문턱전압에서 breakdown 전압까지의 부성저항 영역이 넓다.

GGI GaAs 건 다이오드의 직류거동은 온도, 전압 그리고 graded-gap injector의 장벽 높이에 의해 달라진다. 본 연구에서 제안한 1.6  $\mu\text{m}$ 의 활성층과 60  $\mu\text{m}$ 의 cathode 크기를 가진 밀리미터파 대역 GaAs 건 다이오드가 25  $\text{kA/cm}^2$ 의 전류밀도를 가지고 동작할 때 다이

오드 내부에서는 매우 많은 열이 발생한다. 이 열은 주로 활성층에서 발생하는 것으로 본다. 건 다이오드의 효율과 출력파워는 GGI의 설계 뿐 아니라 활성층의 길이에 의존하게 되고 열 방출 문제의 효과적인 처리 또한 효율을 향상시키는데 매우 중요한 문제가 된다. 본 연구에서는 표준 패키징 단계를 생략하는 대신 제작된 planar GaAs 건 다이오드를 AlN 기판의 VCO에 마운트 함으로서 별도의 열 방출 구조 없이 다이오드 자체에서 발생하는 열을 효과적으로 방출시킬 것이다.

## VI. 결 론

94 GHz 에서 높은 효율과 출력전력을 주는 graded-gap injector 에피 구조를 사용하여 GaAs 건 다이오드를 제작하였다. 이 다이오드는 planar 구조로 설계, 제작되었으며, 이는 cathode가 중앙에 위치하고 anode가 둘러싸는 형태이다. anode와 cathode의 전극배치를 달리 하면서 하부 접촉 층의 직렬저항의 변화를 준 두 구조에서의 peak 전류, 문턱 전압과 같은 부성저항 특성을 조사하고 또한 graded-gap injector의 역할을 알아보았다. 우리는 anode 배치를 달리한 두 가지 다른 구조에서, anode와 cathode 전극사이의 거리가 감소된 소자에서 전형적인 밀리미터파 GGI GaAs 건 다이오드의 발전과 관련된 부성저항 특성과 더 잘 일치함을 보았다. 두 가지 형태의 구조에서 다른 부성저항 특성의 결과는 RF 측정 결과와 관련될 것이며, MGD2가 MGD1 보다 나은 주파수-출력전력 특성을 주리라 예측한다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Sze, Semiconductor Devices. Physics and Technology, John Wiley & Sons, New York, 1985.
- [2] K. Chang, Microwave Solid-State Circuits and Applications, John Wiley & Sons, New York, 1994.
- [3] S. Hutchinson, J. Stephens, M. Carr, M. J. Kelly, "Implant isolation scheme for current confinement in graded-gap Gunn diodes," Electron. Lett. Vol. 32, pp. 851, 1996.
- [4] NR Couch, PH Beton, MJ Kelly, DJ Knight, and J Ondria, "The use of linearly graded composition AlGaAs injectors for intervalley transfer in GaAs: theory and experiment," Solid-State Electronics Vol. 31, No. 3-4, pp. 613-616, 1988.
- [5] S. J. Jerome Teng and R. E. Goldwasser, "High-performance second-harmonic operation W-band GaAs Gunn diodes," IEEE Electron. Device Lett. Vol. 10, No. 9, pp.412-414, 1989.
- [6] N. R. Couch, H. Spooner, P. H. Beton, M. J. Kelly, M. E. Lee, P. K. Rees, and T. M. Kerr, "High-performance, graded AlGaAs injector, GaAs Gunn diodes at 94GHz," IEEE Electron. Device Lett. Vol. 10, No. 7, pp. 288-290, 2000.
- [7] W. Wadanabe, T. Deguchi, and A. Nakagawa, "V-band planar Gunn oscillators and VCOs on AlN substrates using flip-chip bonding technology," IEEE MTT-S Digest pp. 13-16, 1999.
- [8] A. Nakagawa, K. Watanabe, T. Yoshida, T. Deguchi, and Y. Oki, "77GHz planar Gunn VCOs on AlN substrates using novel flip-chip InP Gunn diodes," IEEE MTT-S Digest pp. 1205-1208, 2000.
- [9] Simone Montanari, Arno Forster, Mihail Ion Lepsa, and Hans Luth, "High frequency investigation of graded gap injectors for GaAs Gunn diodes," Solid-State Electronics Vol. 49, pp. 245-250, 2005.
- [10] N. R. Couch, M. J. Kelly, H. Spooner, and T. M. Kerr, "Hot electron injection in millimeter wave Gunn diodes," Solid-State Electronics Vol. 32, No. 12, pp. 1685-1688, 1989.
- [11] Phillip D. Blais, "Edge acuity and resolution in positive type photoresist systems," Solid State Technology Vol. 20, pp. 76-85, 1977.
- [12] Il-Hyung Lee, Sang-Myung Kim, Kwan-Ki Youn, Seok-Hyun Shin, and Jin-Koo Rhee, "The fabrication of a sub-micro gate using IR process", Proceedings on KITE Fall Conference pp. 356-358, 1992.
- [13] Z. Greenwald, D. W. Woodard, A. R. Calawa, and L. F. Eastman, "The effect of a high injection on the performance of mm wave Gunn oscillators," Solid-State Electronics, Vol. 31, No.3-4, pp. 1211-1214, 1988.

저 자 소 개



김 미 라(정회원)  
 1988년 동국대학교 물리학과  
 학사 졸업.  
 1991년 한양대학교 물리학과  
 석사 졸업.  
 1998년 한양대학교 물리학과  
 박사 졸업.

2007년 현재 밀리미터파 신기술 연구센터  
 연구교수

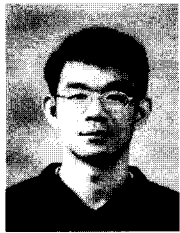
<주관심분야 : 반도체, 응집물리>



이 성 대(정회원)  
 1998년 동국대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2000년 동국대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2006년 동국대학교 전자공학과  
 박사 졸업.

2007년 현재 밀리미터파 신기술 연구센터 연구원  
 (Post Doc.)

<주관심분야 : 화합물 반도체, 밀리미터파 대역용  
 MEMS 및 MMIC>



채 연 식(정회원)  
 1993년 동국대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1997년 동국대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2002년 동국대학교 전자공학과  
 박사 졸업.

2007년 현재 밀리미터파 신기술연구센터 연구교수

<주관심분야 : 화합물 반도체, 밀리미터파 대역용  
 MMIC 및 시스템>



이 진 구(정회원)  
 1969년 국립항공대학교  
 전자공학과 학사 졸업.  
 1975년 서울대학교 전자공학과  
 석사 졸업  
 1982년 Oregon State University  
 전기공학과 박사 졸업

1985년 Cray Research, USA, Research Scientist

1985년 Microwave Semiconductors, USA,  
 Senior Engineer

1990년~1991년 University of Michigan, Visiting  
 Research Scientist

1999년~현재 대한전자공학회 상임이사

1995년~현재 한국 전자과학회 이사

1996년~현재 한국산업인력관리공단,  
 기술사 검정 심의위원

2005년 대한전자공학회 회장

2005년~2006년 동국대학교 공과대학 및  
 정보산업대학 학장

1985년~현재 동국대학교 공과대학 전자공학과  
 교수

1999년~현재 밀리미터파 신기술 연구센터 소장  
 <주관심분야 : 밀리미터파 대역용 반도체 소자,  
 MMIC 및 시스템>