

# 제로-바이어스 300GHz 테라헤르츠 파워검출기 설계

김영호, 박동우, 이의수

한국전자통신연구원

youngho, dwpark, euisu@etri.re.kr

## A Design of Zero-Bias 300GHz Tera-hertz Signal Detector

Kim Young Ho, Park Dong Woo, Lee Eui Su

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

### 요약

본 논문에서는 테라헤르츠대역 코어부품으로 특히 300GHz의 전자기파 신호의 세기를 검출하는데 사용할 고성능 THz 파워검출기 설계 과정을 소개한다. THz 검출기의 주요 특성으로 우수한 반응성(Responsivity), 저잡음특성(Noise Equivalent Power; NEP) 및 높은 응답속도를 고려하여 낮은 기생성분을 가지며 우수한 주파수 특성을 갖는 쇼키베리어 다이오드(Schottky Barrier Diode; SBD)를 주요 검출소자로 사용하였다. SBD제작 공정의 여러 구조체 변수를 조절하여 300GHz의 높은 테라헤르츠 주파수에서도 동작이 원활하도록 최적화 설계하였으며 최종적으로 이를 회로 모델링하여 THz 파워검출기 설계에 반영하였다. 최종 모듈에 사용된 InGaAs SBD소자는 1.0 $\mu$ m의 쇼키정선 반지름으로 최적의 Responsivity를 갖도록 고려하였다. 설계된 최종 모듈의 사이즈는 가로/세로/높이가 16.5 $\times$ 19.05 $\times$ 20mm<sup>3</sup>를 가진다.

### I. 서론

일반적으로 테라헤르츠 대역은 통상 0.03~3mm의 파장을 갖는 100GHz~10THz의 전자기 스펙트럼 영역을 지칭한다. 이 대역은 아직도 미개척 스펙트럼 구간으로 해당 주파수 대역은 여러 고유한 특성을 가지고 있기에 다양한 응용 서비스 분야에 활용될 수 있다. 일례로 비금속 물질 투과할 수 있어 비파괴/비침습 등의 의료진단과 보안검색이 가능하며, 분자들에서 고유한 흡수 스펙트럼을 가지고 있어 물질내 구성성분의 식별이 가능하고 초광대역 특성을 이용하여 Gbyte이상의 초고속 데이터 통신이 가능하다. 하지만 테라헤르츠 기술을 실용화하기 위해서는 해당 주파수를 지원할 우수한 특성의 다양한 신호원, 검출기 및 측정장비 등이 개발되어야 할 과제로 남아 있다. 본 논문에서는 테라헤르츠 대역의 전자기파 신호를 감지하고 측정할 수 있는 검출기로, 특히 300GHz 전자기파 신호의 강도를 측정할 수 있는 테라헤르츠 파워검출기 설계 방법을 소개하고자 한다.

### II. 본론

테라헤르츠 주파수 대역의 신호를 검출하기 위해 여러 유형의 검출기가 연구되고 있다. 대표적으로 신호의 에너지를 흡수하여 온도 변화를 측정하는 방식인 볼로미터(Bolometer)[1], 펄스 레이저로 생성된 THz신호를 반도체에 입사하여 전기 전도도변화를 측정하는 방식의 광전도형(Photoconductive) 검출기[2], 전자기파에 의해 유전체 물질의 굴절률 변화에 따른 위상변화를 측정하는 전자광 검출기(Electro-optic Detector) [3]등 다양한 유형의 검출기가 연구되고 있다. 이중에서 쇼키베리어 다이오드(SBD) 소자는 테라헤르츠 신호를 검출할 때 우수한 신호응답도(Voltage Sensitivity)를 가지고 있으며 상온에서도 안정적인 동작을 보장하며 제작이 단순하고 크기가 작아 집적화에 유리하기 때문에 1 THz이하의 테라헤르츠 파워검출기의 코어 센서소자로 적합하다 [4]. 특히나 InGaAs SBD는 제로 바이어스 모드에서 동작할 수 있기 때문에 전력소비를 줄이고 시스템의 복잡성을 낮출 수 있다. 아울러 응답속도가 빨라서 실

시간 THz 신호 모니터링과 고속 데이터 전송에 유리하다.

#### A. 테라헤르츠 파워검출기

아래 그림 1은 테라헤르츠 파워검출기의 회로블럭의 구성을 보여주고 있다. 기본적으로 핵심소자인 SBD를 중심으로 테라헤르츠 신호를 직접 검출하기 위해서 다양한 회로블럭(표준 RF도파관을 포함하는 RF E-probe, RF/DC ground회로, SBD 입출력 매칭회로, IF LPF 및 출력 part회로)이 구성되어 있다.

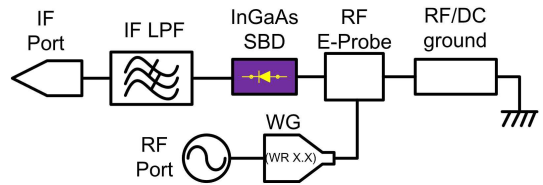


그림 1. 테라헤르츠 파워검출기 회로블럭 구성도

#### B. InGaAs SBD 구조체 설계 및 모델링

InGaAs SBD는 높은 속도 및 감도로 테라헤르츠 신호를 검출하는 데 사용되며, 광검출기의 출력 변화를 통해 검출 역할을 합니다. 비록 GaAs SBD에 비해 잡음특성은 열화되지만 낮은 전계에서도 높은 전자 이동도를 가지고 있어 무전원에서도 동작이 가능하다. 이로 인해 시스템 구조가 단순해지고 전체 시스템의 전력소모를 낮추는데 강점을 가진다.

기존에 낮은 주파수 설계에서는 실제 소자를 Lumped-element Equivalent Circuit Model로 모델링하여 DC동작 특성과 주파수 특성을 간편하게 정의하는 방법이 주로 사용되었다. 그러나 테라헤르츠 대역 같은 높은 주파수에선 아주 복잡한 기생성분들이 만들어지기 때문에 이의 영향을 정교하게 모델링하기 위해 본 설계에서는 앞선 설계 [5]와 같이 비선형 성분과 선형 성분으로 나누어 각각 추출하고 이를 결합하는 방법으로 쇼키 다이오드를 정의하였다. 비선형 성분은 InGaAs SBD 소자를 먼저 제작하여 I-V DC 특성을 측정할 후 이를 SPICE 모델로 Fitting하여 추출하였다. 선형성분은 HFSS툴의 FEM을 이용한 EM해석을 통해 고주

파 기생성분들을 모두 S-파라미터로 데이터화하여 추출하였다.

그림 2의 오른쪽 그림은 소자 제작에 사용된 InGaAs SBD 소자의 3D 구조체이다. 본 구조체를 최적화하기 위하여 다양한 Layer별 사이즈와 물질 특성값을 파라미터로 함수화하였다. 아울러 제작된 소자 자체의 차단 주파수가 THz신호 검출기의 주파수 특성에 영향을 주지 않도록 기생 저항과 기생 커패시턴스의 영향을 최소화하는 방향으로 설계 파라미터를 신중하게 조절하여 SBD구조체를 완성하였다.

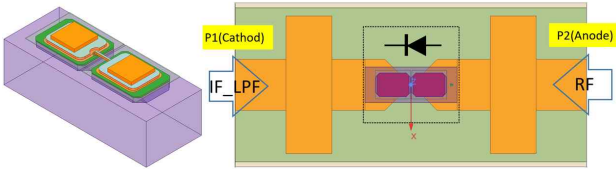


그림 2. InGaAs SBD 구조체 및 입출력 매칭단을 가진 SBD

THz신호가 SBD소자에 잘 전달되어 기능을 수행하게 하기 위해서 그림 2의 오른쪽 그림과 같이 입출력 포트의 양쪽을 매칭단을 사용하여 50Ω 매칭설계를 하였다. 그림 3은 InGaAs SBD구조체를 매칭한 후 시뮬레이션된 300GHz대역 근처에 대한 2-포트 고유 주파수 특성을 보여준다.

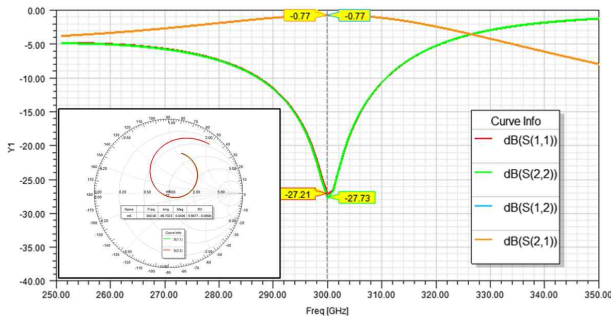


그림 3. 입출력 매칭단을 가진 SBD의 주파수 특성

### C. 파워검출기의 기타회로 설계

본 THz 파워검출기는 유전체(석영) 위에 Flip-chip된 InGaAs SBD와 함께 Gold재질 전송선으로 패턴 설계된 IF-LPF, RF/DC-ground 및 도파관(Waveguide)를 포함하는 RF E-probe등으로 구성된다. 표준 WR-3.4 도파관 사이즈를 갖는 RF 도파관과 E-probe 및 RF/DC-ground Circuit part의 주파수 특성은 그림 4 (a)와 같으며 300GHz에서 0.05dB 전달손실률과 -50dB의 S11을 가진다. 센싱후 검출된 테라헤르츠 신호의 크기만을 분리하기 위해 설계된 IF LPF의 주파수 특성은 그림 4 (b)와 같다. 입력되는 THz 주파수는 모두 필터링되고 검출되는 신호의 응답속도는 빠르게 하기 위하여 광대역 특성을 갖도록 설계하였다.

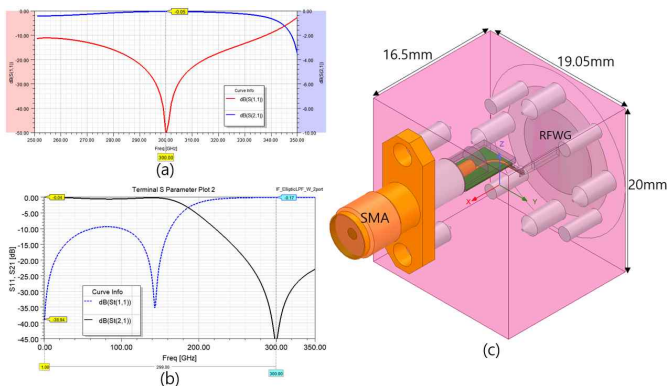


그림 4. 설계된 파워검출기 형상 및 내부회로 특성

그림 4 (c)는 본 연구에서 설계된 InGaAs SBD소자를 사용한 Zero-bias 300GHz 신호 파워검출기 모듈의 최종형태이다. 모듈의 Responsivity를 고려하여, 이 설계에 사용된 InGaAs SBD소자는 1.0um의 쇼키정선 반지름을 갖는다. 각 회로 블럭들은 HFSS EM solver를 사용하여 최적화 시뮬레이션 과정을 거쳤다. 최종 검출된 출력이 SMA를 통해 출력될 수 있도록 유전체 회로단 끝단에 130um두께의 테프론 PCB(TFL-95)를 사용하여 신호 흐름을 원활하게 하였다. 제작될 최종 모듈의 사이즈는 가로/세로/높이가 16.5×19.05×20mm<sup>3</sup>를 가진다.

### III. 결론

본 논문에서는 300GHz의 테라헤르츠 전자기파 신호의 세기를 검출할 수 있는 파워검출기 설계방법을 기술하였다. 높은 Responsivity, 낮은 NEP 및 빠른 응답속도 및 시스템의 단순화를 위하여 InGaAs 쇼키베리어 다이오드를 주요 검출소자로 선택하였으며 테라헤르츠 주파수에서도 동작이 원활하도록 최적화 설계과정이 하였으며 THz 파워검출기 설계에 반영되었다. 최종 모듈은 컴팩트한 사이즈로 설계할 수 있음을 확인할 수 있었다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구 논문은 한국전자통신연구원 연구운영지원사업의 일환으로 수행되었음. [24ZH1320, 광전소자 기반 THz 근접장 센싱 및 필드 시각화 원천기술 개발]

### 참고 문헌

- [1] Gil-Ho Lee al. "Developing the fastest and most sensitive graphene microwave bolometer," Nature. 2020. DOI: 10.1038/s41586-020-2752-4
- [2] Junsung Park al. "Uncooled Mid-Wavelength Infrared Photoconductive Detectors Based on PbSe Nanocrystals," ACS Applied Electronic Materials 2023 5 (4), 2386-2393 DOI: 10.1021/acsaem.3c00200
- [3] Georgio Sinatkas al. "Electro-optic modulation in integrated photonics," J. Appl. Phys. 130, 010901 (2021)
- [4] Sang-Pil Han al. "Real-time continuous-wave terahertz line scanner based on a compact 1 × 240 InGaAs Schottky barrier diode array detector," Optics Express. 2014; Vol. 22, No. 23. DOI: 10.1364/OE.22.028977
- [5] 김영호 외. "테라헤르츠대역 서브하모닉믹서용 역병렬 쇼키베리어 다이오드 설계" 2023년도 한국통신학회 하계종합학술대회 논문집: ISSN:2383-8302 Vol. 81.