



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0006129  
(43) 공개일자 2017년01월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H03C 7/02 (2006.01) H01P 7/08 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H03C 7/025 (2013.01)  
H01P 7/08 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2015-0096610  
(22) 출원일자 2015년07월07일  
심사청구일자 2015년07월07일

(71) 출원인  
광주과학기술원  
광주광역시 북구 첨단과기로 123 (오룡동)  
(72) 발명자  
장재형  
광주광역시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과  
학기술원 정보통신공학부  
김동주  
광주광역시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과  
학기술원 정보기전공학부  
(74) 대리인  
김기문

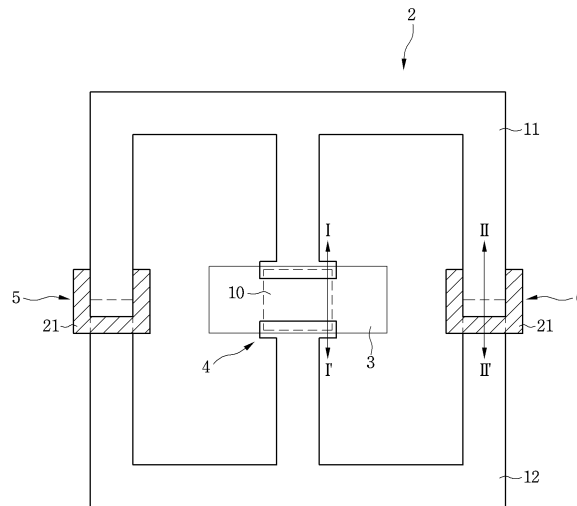
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 테라헤르츠 변조기

**(57) 요약**

본 발명에 따른 테라헤르츠 변조기에는 기관; 상기 기관 상에 제공되는 제 1 메탈; 상기 기관 상에 제공되는 제 2 메탈; 상기 제 1 메탈과 상기 제 2 메탈이 간접적으로 접촉하는 적어도 세 개의 접점; 및 상기 제 1 메탈, 상기 제 2 메탈, 및 상기 적어도 세 개의 접점을 포함하는 폐쇄회로로서, 테라헤르츠 파의 투과를 조절하는 적어도 하나의 공진기가 포함될 수 있다. 본 발명에 따르면, 변조지수를 80%수준으로 높일 수 있고, 변조 대역폭을 ~GHz로 높일 수 있고, 동작전압을 낮출 수 있는 장점이 있다. 그 외에도 발명의 본질에 따라서 다양한 장점을 얻을 수 있고, 그에 대한 설명은 상세한 설명에서 구체적으로 드러날 것이다.

**대표도** - 도3



(52) CPC특허분류

H03C 2200/0008 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NN12880

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 도약연구지원사업(도전)

연구과제명 화합물 반도체 나노전자소자 및 테라헤르츠 변조기 응용연구

기 여 율 1/1

주관기관 광주과학기술원

연구기간 2014.05.01 ~ 2015.04.30

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기관;

상기 기관 상에 제공되는 제 1 메탈;

상기 기관 상에 제공되는 제 2 메탈;

상기 제 1 메탈과 상기 제 2 메탈이 간접적으로 접촉하는 적어도 세 개의 접점; 및

상기 제 1 메탈, 상기 제 2 메탈, 및 상기 적어도 세 개의 접점을 포함하는 폐쇄회로로서, 테라헤르츠 파의 투과를 조절하는 적어도 하나의 공진기가 포함되는 테라헤르츠 변조기.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 공진기는 적어도 두 개 이상이 상기 기관 상에 어레이로 제공되는 테라헤르츠 변조기.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 접점 중의 적어도 어느 하나는 고정용량 캐패시터인 테라헤르츠 변조기.

#### 청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 고정용량 캐패시터는,

상기 제 1 메탈 및 상기 제 2 메탈이 오버랩되고, 그 계면에 유전층이 개입되는 테라헤르츠 변조기.

#### 청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 고정용량 캐패시터는 두 개가 공진기의 양 측부에 각각 제공되는 테라헤르츠 변조기.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 접점 중의 적어도 어느 하나는 가변용량 캐패시터인 테라헤르츠 변조기.

#### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 가변용량 캐패시터에는,

상기 기관 상에 제공되는 반도체층; 및

상기 반도체층 상의 보호막이 포함되고,

상기 보호막이 개방된 두 개소를 통하여 상기 메탈이 각각 접촉되는 테라헤르츠 변조기.

#### 청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 반도체층에 접촉되는 상기 메탈은 나노스케일로 상기 반도체층에 접촉되는 테라헤르츠 변조기.

**청구항 9**

제 7 항에 있어서,

상기 반도체층에 접촉되는 상기 메탈은 쇼트키 컨택을 이루는 테라헤르츠 변조기.

**청구항 10**

제 7 항에 있어서,

상기 반도체층은 헵트인 테라헤르츠 변조기.

**청구항 11**

제 6 항에 있어서,

상기 가변용량 캐패시터는 상기 공진기의 중앙부에 제공되는 테라헤르츠 변조기.

**청구항 12**

제 6 항에 있어서,

상기 가변용량 캐패시터의 하측부에만 공핍영역이 제공되는 테라헤르츠 변조기.

**청구항 13**

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 세 개의 접점 중에서, 적어도 하나의 접점은 가변용량 캐패시터이고, 적어도 두 개의 접점은 고정용량 캐패시터이고, 상기 가변용량 캐패시터는 가운데 상기 고정용량 캐패시터는 양 측부에 제공되는 테라헤르츠 변조기.

**청구항 14**

기관;

상기 기관 상에 소정의 형상으로 제공되는 제 1 메탈;

상기 기관 상에 소정의 형상으로 제공되는 제 2 메탈; 및

상기 제 1 메탈과 상기 제 2 메탈이 접촉하는 적어도 두 개소에서 상기 메탈간의 사이에 각각 제공되는 캐패시터가 포함되는 테라헤르츠 변조기.

**청구항 15**

제 14 항에 있어서,

상기 캐패시터는 적어도 하나의 가변용량 캐패시터와 적어도 하나의 고정용량 캐패시터가 포함되어 공진기를 이루고,

상기 공진기는 상기 기관 상에 어레이를 이루는 테라헤르츠 변조기.

**청구항 16**

제 15 항에 있어서,

상기 고정용량 캐패시터는 두 개가 제공되고, 상기 가변용량 캐패시터는 하나가 제공되는 테라헤르츠 변조기.

**청구항 17**

제 15 항에 있어서,

상기 고정용량 캐패시터는 테라헤르츠의 고주파에서 볼 때에는 단락되고, 저주파에서는 개방되는 것인 테라헤르

츠 변조기.

**청구항 18**

제 15 항에 있어서,

상기 공진기는 사각형으로 제공되고, 세로방향이 더 긴 테라헤르츠 변조기.

**청구항 19**

기관;

상기 기관 상에 소정의 형상으로 제공되는 제 1 메탈;

상기 기관 상에 소정의 형상으로 제공되는 제 2 메탈; 및

테라헤르츠 파의 투과를 조절할 수 있는 공진기의 어레이가 포함되고,

상기 공진기에는, 상기 제 1 메탈과 상기 제 2 메탈이 접촉하는 적어도 두 개소에 각각 제공되는 캐패시터가 포함되고,

상기 공진기는 스플릿 링 공진기를 이루는 테라헤르츠 변조기.

**청구항 20**

제 19 항에 있어서,

상기 캐패시터는,

상기 스플릿 링 공진기의 중앙부에 제공되는 가변용량 캐패시터; 및

상기 스플릿 링 공진기의 양측부에 각각 제공되는 고정용량 캐패시터가 포함되는 테라헤르츠 변조기.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 테라헤르츠와 관련되는 것으로서, 특히, 테라헤르츠 주파수의 파를 변조하는 기술에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 테라헤르츠 대역의 파(이하, 테라헤르츠 또는 테라헤르츠 파라고 이름하기도 한다)는 인체에 무해한 등의 장점이 있으나, 신호 제어가 어렵고 상업적으로 사용할 수 있는 강도를 얻어내기 어려운 문제점을 인하여 아직까지 미개척 분야로 남아 있는 실정이다.

[0003] 한편, 테라헤르츠 파의 발전 등을 위한 부품기술의 개발은 매우 활발하지만, 테라헤르츠 파의 변조 및 제어를 위한 기술은 아직 충분히 이루어지지 못하고 있다. 그 이유는, 테라헤르츠 파는 마이크로파 주파수 이하의 전파에 비해 전기장 및 자기장의 영향을 거의 받지 아니하여 테라헤르츠 대역의 신호를 제어하기가 어렵기 때문이다.

[0004] 테라헤르츠 변조를 위한 종래기술로서, 비특허문헌 1에는 스플릿 링 공진기(SRR: Split ring resonator) 배열과 쇼트키 다이오드(Schottky diode)를 이용하여 변조하는 기술이 소개된 바가 있다. 본 기술은 SRR 구조의 메타물질(metamaterial)을 전기적으로 제어하는 것으로서, 쇼트키 다이오드에 인가되는 전압에 따라서, SRR의 스플릿 갭의 저항이 공핍영역에 따라서 달라지는 동작을 이용하여, 상기 메타물질의 주파수 특성을 변화시키는 것이다.

[0005] 더 상세하게 비특허문헌 1의 작용을 설명한다. GaAs 반도체 기관을 이용하고 그 위에 n-GaAs를 성장하고 그 위에 SRR형상을 가지는 쇼트키 컨택을 단일의 메탈로 형성하였다. 따라서, SRR 전체가 하나의 메탈구조로 연결되어 있기 때문에, SRR 전체가 쇼트키 컨택의 역할을 수행하여, 메탈의 하면 전체가 공핍영역을 형성한다. 또한, 오믹컨택은 기관의 가장자리에 배치하여, 쇼트키 컨택이 양극 역할을 하고 오믹컨택이 음극 역할을 한다.

[0006] 상기 쇼트키 다이오드에 역전압을 가하면, SRR의 가운데 갭이 위치한 반도체 영역에 공핍영역(depletion)이 생

성된다. 이 영역의 크기는 인가전압에 따라 달라진다. 상기 역전압이 커질수록 공핍영역이 커져서, 결국 스플릿 갭(split gap) 전체가 공핍영역이 된다. 그리고, 공핍영역의 유무에 따라 위의 스플릿 갭의 저항이 변한다. 이에 따라서, SRR의 공진주파수가 변화하고 SRR을 통과하는 테라헤르츠의 투과특성이 변화하게 되어 변조가 일어나는 것이다.

- [0007] 결국, 공핍영역의 변화에 따른 저항의 변화에 따라서 SRR의 공진주파수가 달라지고, 달라지는 공진주파수에 따라서 특정 주파수에서 테라헤르츠의 투과율이 달라지는 것을 테라헤르츠 변조기에 응용하는 것이다.
- [0008] 본 기술에 따르면, 변조지수는 50%로서 중간 정도이고, 변조 대역폭은 ~MHz로서 낮고, 동작전압은 10V로서 높은 수준이다.
- [0009] 비특허문헌 2에는, GaAs HEMT소자를 전기적으로 제어하고, 게이트 아래에 위치하는 채널의 전도도변화에 따라서 테라헤르츠 파가 반사 또는 흡수되는 성질을 이용하여 테라헤르츠의 투과율을 조절하는 기술이 소개된 바가 있다. 본 기술에 따르면, 변조지수는 0.3%로서 매우 낮고, 변조 대역폭은 ~kHz로서 매우 낮다.
- [0010] 비특허문헌 3에는 파라볼릭 양자우물(PQW: Parabolic Quantum Well)과 쇼트키 다이오드를 이용하고, 상기 파라볼릭 양자우물의 캐리어 농도를 전기적으로 제어하여 테라헤르츠를 위상변조하는 기술이 소개된 바가 있다. 본 기술에 따르면, 대역폭이 ~kHz로서 매우 낮다.
- [0011] 비특허문헌 4에는 1-D 광자결정을 광학적으로 제어하는 것으로서, 고출력 레이저를 GaAs표면에 조사하여 생성한 광-여기 캐리어를 사용하여 테라헤르츠를 변조하는 기술을 소개하고 있다. 본 기술은 광변조기술로서 대역폭은 ~GHz로서 매우 좋은 수준이고, 변조지수는 50%로서 낮다.
- [0012] 상술되는 설명에서 볼 수 있는 바와 같이 현재까지 소개되고 있는 테라헤르츠 변조기술 중에서는 상기 비특허문헌 1이 가장 좋은 것을 알 수 있다. 그러나, 여전히 변조지수가 낮고, 변조 대역폭이 매우 낮고, 동작전압은 10V로서 높은 수준인 것을 알 수 있다.

**선행기술문헌**

**비특허문헌**

- [0013] (비특허문헌 0001) 비특허문헌 1: Hou-Tong Chen, Willie J. Padilla, Joshua M. O. Zide, Arthur C. Gossard, Antoinette J. Taylor & Richard D. Averitt, "Active terahertz metamaterial devices", Nature 444, 597, 2006.
- (비특허문헌 0002) 비특허문헌 2: Kleine-Ostmann, T., Dawson, P., Pierz, K., Hein, G. & Koch, "Room-temperature operation of an electrically driven terahertz modulator", Appl. Phys. Lett 84, 2004.
- (비특허문헌 0003) 비특허문헌 3: R.Kersting, G. Strasser, and K. Unterrainer, "Terahertz phase modulator", Electronics Letters 36, 1156, 2000.
- (비특허문헌 0004) 비특허문헌 4: Petr Kuzel and Filip Kadlec, "Tunable structures and modulators for THz light", Comptes Rendus Physique' 9, 197, 2008.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0014] 본 발명의 발명자는, 상기 비특허문헌 1에 소개되는 종래 기술을 오랜 기간 집중적으로 예의 관찰하여, 낮은 변조지수의 문제, 매우 낮은 변조 대역폭의 문제, 높은 동작전압의 문제를 개선하고, 그 외에 본 발명의 본질로서 드러나는 다양한 효과를 얻을 수 있는 테라헤르츠 변조기를 개발하였다.

**과제의 해결 수단**

- [0015] 본 발명에 따른 테라헤르츠 변조기에는, 기관; 상기 기관 상에 제공되는 제 1 메탈; 상기 기관 상에 제공되는 제 2 메탈; 상기 제 1 메탈과 상기 제 2 메탈이 간접적으로 접촉하는 적어도 세 개의 접점; 및 상기 제 1 메탈, 상기 제 2 메탈, 및 상기 적어도 세 개의 접점을 포함하는 폐쇄회로로서, 테라헤르츠 파의 투과를 조절하는 적

어도 하나의 공진기가 포함된다. 본 발명에 따르면 접점을 제공하는 물질을 달리함으로써 공진기의 효율을 향상시킬 수 있다.

- [0016] 상기 공진기는 적어도 두 개 이상이 상기 기관 상에 어레이로 제공될 수 있다.
- [0017] 상기 접점 중의 적어도 어느 하나는 고정용량 캐패시터로 제공될 수 있고, 상기 고정용량 캐패시터는, 상기 제 1 메탈 및 상기 제 2 메탈이 오버랩되고, 그 계면에 유전층이 개입될 수 있고, 상기 고정용량 캐패시터는 두 개가 공진기의 양 측부에 각각 제공될 수 있다.
- [0018] 상기 접점 중의 적어도 어느 하나는 가변용량 캐패시터로 제공될 수 있고, 상기 가변용량 캐패시터에는, 상기 기관 상에 제공되는 반도체층; 및 상기 반도체층 상의 보호막이 포함되고, 상기 보호막이 개방된 두 개소를 통하여 상기 메탈이 각각 접촉될 수 있다. 상기 반도체층에 접촉되는 상기 메탈은 나노스케일로 상기 반도체층에 접촉되고 쇼트키 컨택을 이룰 수 있다. 바람직하게 상기 반도체층은 헴트로 제공될 수 있다. 또한, 상기 가변용량 캐패시터는 상기 공진기의 중앙부에 제공되, 상기 가변용량 캐패시터의 하측부에만 공핍영역이 제공될 수 있다.
- [0019] 상기 적어도 세 개의 접점 중에서, 적어도 하나의 접점은 가변용량 캐패시터이고, 적어도 두 개의 접점은 고정용량 캐패시터이고, 상기 가변용량 캐패시터는 가운데 상기 고정용량 캐패시터는 양 측부에 제공될 수 있다.
- [0020] 다른 측면의 본 발명에 따른 테라헤르츠 변조기에는, 기관; 상기 기관 상에 소정의 형상으로 제공되는 제 1 메탈; 상기 기관 상에 소정의 형상으로 제공되는 제 2 메탈; 및 상기 제 1 메탈과 상기 제 2 메탈이 접촉하는 적어도 두 개소에서 상기 메탈간의 사이에 각각 제공되는 캐패시터가 포함될 수 있다.
- [0021] 여기서, 상기 캐패시터는 적어도 하나의 가변용량 캐패시터와 적어도 하나의 고정용량 캐패시터가 포함되어 공진기를 이루고, 상기 공진기는 상기 기관 상에 어레이를 이루도록 제공될 수 있다. 상기 고정용량 캐패시터는 두 개가 제공되고, 상기 가변용량 캐패시터는 하나가 제공고, 상기 고정용량 캐패시터는 테라헤르츠의 고주파에서 볼 때에는 단락되고, 저주파에서는 개방될 수 있고, 상기 공진기는 사각형으로 제공되고, 세로방향이 더 길게 제공할 수 있다.
- [0022] 또 다른 측면의 본 발명에 따른 테라헤르츠 변조기에는, 기관; 상기 기관 상에 소정의 형상으로 제공되는 제 1 메탈; 상기 기관 상에 소정의 형상으로 제공되는 제 2 메탈; 및 테라헤르츠 파의 투과를 조절할 수 있는 공진기의 어레이가 포함되고, 상기 공진기에는, 상기 제 1 메탈과 상기 제 2 메탈이 접촉하는 적어도 두 개소에 각각 제공되는 캐패시터가 포함되고, 상기 공진기는 스플릿 링 공진기를 제공할 수 있다. 상기 캐패시터는, 상기 스플릿 링 공진기의 중앙부에 제공되는 가변용량 캐패시터; 및 상기 스플릿 링 공진기의 양측부에 각각 제공되는 고정용량 캐패시터가 포함될 수 있다.

**발명의 효과**

- [0023] 본 발명에 따르면, 변조지수를 80%수준으로 높일 수 있고, 변조 대역폭을 ~GHz로 높일 수 있고, 동작전압을 낮출 수 있는 장점이 있다. 그 외에도 발명의 본질에 따라서 다양한 장점을 얻을 수 있고, 그에 대한 설명은 상세한 설명에서 구체적으로 드러날 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0024] 도 1은 실시예에 따른 테라헤르츠 변조기의 작용을 설명하는 도면.
- 도 2는 실시예에 따른 테라헤르츠 변조기를 설명하는 도면.
- 도 3은 어느 하나의 공진기의 확대도.
- 도 4와 도 5는 각각 도 3의 I-I'와 도 3의 II-II'의 단면도.
- 도 6은 저주파에서 공진기의 등가회로도이고, 도 7은 고주파에서 공진기의 등가회로도.
- 도 8와 도 9는 공진기의 형상에 따른 투과특성의 차이를 설명하는 도면.
- 도 10은 반도체층에 쇼트키 컨택의 게이트의 길이를 달리하면서 커패시턴스 특성을 측정된 결과한 도면.
- 도 11은 실시예에서 InP에 기반하는 헴트의 일 실시예.
- 도 12는 GaAs에 기반하는 헴트의 일 실시예.

도 13은 GaN에 기반하는 헵트의 일 실시예..

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0025] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 구체적인 실시예를 상세하게 설명한다. 다만, 본 발명의 사상은 이하에 제시되는 실시예에 제한되지 아니하고, 본 발명의 사상을 이해하는 당업자는 동일한 사상의 범위 내에 포함되는 다른 실시예를 구성요소의 부가, 변경, 삭제, 및 추가 등에 의해서 용이하게 제안할 수 있을 것이나, 이 또한 본 발명 사상의 범위 내에 포함된다고 할 것이다.
- [0026] 실시예의 설명에 있어서 함께 제공되는 도면은, 실제 제품과는 다르게 과장되어 도시될 수 있지만, 이는 발명 사상의 설명을 위한 범위로 이해해야 한다. 또한, 이하의 설명에 있어서도 특별한 지칭이 없는 경우에 종래기술은 상기 비특허문헌 1에 소개되는 기술을 의미하는 것으로 한다.
- [0027] 도 1은 실시예에 따른 테라헤르츠 변조기의 작용을 설명하는 도면이다.
- [0028] 도 1을 참조하면, 제어신호(controlling signal)가 인가되는 테라헤르츠 변조기(1)의 전방에 테라헤르츠 파가 입사하고, 상기 테라헤르츠 파가 상기 테라헤르츠 변조기(1)를 통과하면 제어신호에 따라서 변조된 변조 테라헤르츠 파가 출사한다. 이에 변조된 신호는 이미지처리 및 압축센싱 등의 다양한 방식으로 이용될 수 있다.
- [0029] 도 2는 실시예에 따른 테라헤르츠 변조기를 설명하는 도면이다.
- [0030] 도 2를 참조하면, 실시예에 따른 테라헤르츠 변조기는, 기관 상에 공진기(2) 어레이가 제공되고, 각각의 상기 공진기(2)에는 제 1 메탈(11)과 제 2 메탈(12)이 다른 물질을 개입하는 상태로 간접적으로 접촉을 이루는 구조로 제공된다. 따라서, 상기 메탈(11)(12)의 접점이 위치하는 곳에서만 쇼트키 컨택이 제공되고, 쇼트키 컨택에 의한 공핍영역(3)은 상기 메탈(11)(12)의 접점이 위치하는 곳에서만 제공된다. 따라서, 종래기술에 비하여 공핍영역이 좁고, 이에 따라서 공진기의 시정수가 낮아서 변조대역폭은 ~GHz에 이를 수 있다. 또한, 낮은 인가전압으로도 충분히 공진기가 동작할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.
- [0031] 상기 메탈(11)(12)에는 바이어스 전원(13)에 의한 바이어스 전압이 인가되고, 폐쇄회로를 이루는 상기 메탈(11)(12)의 형상과, 상기 메탈(11)(12) 간의 간접적인 접점이 포함되어 상기 공진기(2)가 제공될 수 있다.
- [0032] 이하에서는 상기 공진기를 더 구체적으로 설명한다.
- [0033] 도 3은 어느 하나의 공진기의 확대도이다.
- [0034] 도 3을 참조하면, 상기 공진기(2)는 상기 제 1 메탈(11)과 상기 제 2 메탈(12)이 세 개소에서 서로 간접적으로 접점을 이룬다. 상기 제 1 메탈(11)과 상기 제 2 메탈(12)과 그 접점은 두 개의 사각형의 형상을 이룰 수 있다. 각 접점에 대하여 설명한다. 먼저, 양측 가장자리의 접점에는 용량성분이 고정되는 제 1 고정용량 캐패시터(5) 및 제 2 고정용량 캐패시터(6)가 제공되고, 가운데 부분에는 용량성분이 가변되는 가변용량 캐패시터(4)가 제공된다. 이 공진기의 형태는 스플릿 링 공진기(SRR)라고 할 수 있다. 상기 공핍영역(3)은 상기 가변용량 캐패시터(4)의 하측에만 제공되는 것을 볼 수 있다.
- [0035] 도 4와 도 5는 각각 도 3의 I-I'와 도 3의 II-II'의 단면도이다.
- [0036] 도 3 내지 도 5를 참조하면, 상기 가변용량 캐패시터(4)에는, 기관(9) 상에 제공되는 반도체층(7), 상기 반도체층(7)을 덮는 구조로 제공되는 보호막(10), 상기 보호막이 제거되는 서로 이격되는 양측 부분에서 상기 반도체층(7)에 접촉되는 제 1, 2 메탈(11)(12)이 포함된다. 상기 고정용량 캐패시터(5)(6)에는, 유전층(21)이 개입된 상태로 상기 제 1, 2 메탈(11)(12)이 서로 포개지는(overlapped) 구조로 제공된다. 상기 유전층(21)과 상기 보호막(10)은 SiN<sub>x</sub>를 바람직하게 사용할 수 있다.
- [0037] 상기 반도체층(7)은 헵트(HEMT: High Electron Mobility Transistor(고전자이동도 트랜지스터))를 바람직하게 예시할 수 있다. 상기 헵트는 이종접합반도체의 계면에 전자의 이동도가 매우 높아지는 2차원 영역(2차원 전자 가스: 2DEG)이 생성되도록 하고, 이때 캐리어는 이온산란을 받기 어려워 일반 반도체 중의 캐리어에 비하여 높은 이동도를 가지게 되는 것을 이용한다. 따라서, 높은 반응속도를 얻어낼 수 있는 효과가 있기 때문에 테라헤르츠 변조기에 바람직하게 적용할 수 있다.
- [0038] 상기 접점에 대하여 더 상세하게 설명한다.
- [0039] 먼저, 상기 가변용량 캐패시터(4)에 있어서, 상기 제 1, 2 메탈(11)(12)은 공진기(2)의 대략 가운데 부분에서



반도체층(7)과 쇼트키 접합을 이룬다. 상기 쇼트키 접합은 테라헤르츠 영역에서 용량성분의 스위칭을 위하여 나노스케일의 게이트 콘택으로 이를 수 있다. 상기 나노스케일의 쇼트키 콘택이 게이트로서 반도체 평면에 제공되면, 배랙터(varactor)의 특성을 가질 수 있다. 즉 상기 가변용량 캐패시터(4)는 배랙터라고 할 수 있는 것이다. 더 구체적으로는, 상기 배랙터는 메탈(11)-반도체층(7)-메탈(12)의 구성으로 제공되는 것으로서 MSM(Metal Semiconductor Metal) 배랙터라고 할 수 있다. 상기 가변용량 캐패시터(4)는 바이어스 전원(13)으로부터 인가되는 바이어스 전압에 따라서 용량성분이 가변될 수 있다.

[0040] 상기되는 바와 같이 상기 가변용량 캐패시터(4)에서 용량이 가변되는 것에 대하여 설명한다. 먼저, 상기 제 1, 2 메탈(11)(12)과 상기 반도체층(7)이 접촉하여 제공되는 두 개의 나노스케일의 쇼트키 콘택에는, 표면에 제공되는 쇼트키 레이어와, 상기 쇼트키 레이어의 내부에 제공되는 전자이동이 가능한 전자이동가능층(예를 들어, 2DEG(8))이 포함된다. 이때 상기 메탈(11)(12)에서 볼 때, 상기 쇼트키 레이어에 의한 캐패시턴스(C1)와 전자이동가능층에 의한 캐패시턴스(C2)는 서로 직렬연결되는 커패시턴스로 볼 수 있다. 상기 쇼트키 레이어에 의한 캐패시턴스(C1)는 상기 전자이동가능층에 의한 캐패시턴스(C2)에 비하여 매우 크다. 따라서, 두 캐패시턴스(C1)(C2)의 직렬병합시에 캐패시턴스의 총량은 각 커패시턴스의 역수의 합에 대한 역수이므로, 상기 MSM 배랙터의 캐패시턴스는 상기 전자이동가능층에 의한 캐패시턴스(C2)에 의해서 지배된다. 이 경우에, 전자이동가능층의 캐패시턴스(C2)는 상기 바이어스 전압에 따라서 상기 전자이동가능층 내부에서 전자가 양방향으로 이동하면서 서로 대칭적으로 달라진다. 결국, 일정한 바이어스 전압의 범위 내에서만 상기 전자이동가능층에 의한 캐패시턴스(C2)가 달라지고, 다른 경우에는 동일한 커패시턴스를 가지는데, 상기 전자이동가능층에 의한 커패시턴스(C2)가 달라지기 시작하는 바이어스 전압은 실시예의 경우 대략 ±3V로 주어진다.

[0041] 상기 고정용량 캐패시터(5)(6)에 대하여 설명한다. 상기 제 1 메탈(11) 및 상기 제 2 메탈(12)은, 상기 공진기(2)의 양 측부에서 서로 오버랩되는 구조로 제공된다. 서로 오버랩이 됨으로써 용량성분을 가질 수 있다. 상기 오버랩 구조물은 메탈(11), 유전층(21), 및 메탈(12)의 구조로서, MIM(Metal-insulator-metal) 캐패시터를 구성한다. 이때 고정용량 캐패시터(5)(6)의 커패시턴스는, 메탈이 오버랩되는 면적(A), 유전층(21)의 유전상수(ε<sub>r</sub>), 유전층(21)의 두께(t)에 의해서 수학적 식 1과 같이 결정된다.

수학적 식 1

$$C_{MIM} = \epsilon \frac{A}{t}$$

[0042]

[0043] 상기 수학적 식 1로 주어지는 상기 고정용량 캐패시터(5)(6)의 커패시턴스는, 테라헤르츠 주파수 영역(예를 들어 1Terahertz)에서 매우 낮은 임피던스를 가질 수 있도록, 매우 크게 설계할 수 있다. 상기 고정용량 캐패시터의 커패시턴스는, 예를 들어 318fF(펨토판페럿)이상으로 제공할 수 있다.

[0044] 상기되는 설명과 같이 상기 고정용량 캐패시터(5)(6)의 커패시턴스를 크게 하면, 테라헤르츠 신호에서 볼 때, 공진기(2)의 양 측부에 제공되는 고정용량 캐패시터(5)(6)는 없는 것으로서 단락된 것으로 보인다. 그러나, DC 신호는 고정용량 캐패시터(5)(6)에 의해서 개방된 것으로서 바이어스 전원(13)에 의해서 바이어스 전압을 인가할 수 있다.

[0045] 도 6은 저주파에서 공진기의 등가회로도이고, 도 7은 고주파(실시예에서는, 테라헤르츠 주파수)에서 공진기의 등가회로도이다.

[0046] 도 6 및 도 7을 참조하면, 상기 가변용량 캐패시터(4)는 바이어스 전압에 따라서 커패시턴스가 변한다. 상기 고정용량 캐패시터(5)(6)는 저주파에서는 개방된 것으로 보이고, 고주파에서는 단락된 것으로 보인다. 따라서, 테라헤르츠의 고주파 영역에서 공진기(2)는 공진회로를 이루게 된다. 테라헤르츠 파가 공진기로 입사할 때, 테라헤르츠 파가 상기 공진기(2)의 공진주파수와 메칭이 되는 주파수인 경우에는, 공진기(2)를 투과하지 못하는 작용을 이끌어 낼 수 있다. 이 상황에서 변조작용을 이끌어낼 수 있다. 상기 공진기의 공진주파수는 수학적 식 2로 주어질 수 있다.

수학식 2

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi LC_{var}}$$

[0047]

[0048]

여기서 L은 폐회로로서 메탈(11)(12)의 형상이 이루는 인덕턴스이고, C<sub>var</sub>은 상기 가변용량 캐패시터(4)의 커패시턴스이다. 따라서, 전체적으로 사각형으로 예시되는 메탈(11)(12)의 형상을 다양한 방식으로 변경하여 공진기의 인덕턴스를 변경하는 것으로써 공진주파수를 변경시킬 수 있고, 상기 가변용량 캐패시터(4)의 커패시턴서의 상태를 온 또는 오프함으로써(즉, bistable) 변조의 여부를 결정할 수 있다.

[0049]

도 8와 도 9는 공진기의 형상에 따른 투과특성의 차이를 예로 들어 설명하는 도면이다.

[0050]

도 8과 도 9를 참조하면, 사각형으로 제공되는 상기 공진기의 종횡비(aspect ratio)를 달리함으로써 변조지수(modulation index)를 조절할 수 있는 것을 알 수 있다. 상세하게 설명하면, 상기 공진기(2)의 2차 공진 주파수(second resonance frequency)는 메탈(11)(12)의 다이폴 공진에 따라 변화하는데, 상기 공진기(2)의 메탈(11)(12)을 변화시켜 세로방향의 길이를 가로방향에 비하여 짧게 하면(즉, 도 9), 상기 2차 공진 주파수를 더 높은 곳으로 천이시킬 수 있고, 스펙트럼은 더욱 평활한 형태로 제공될 수 있다.

[0051]

빗금의 원을 관찰하면, 도 9에서 1fF의 경우에 20%대의 투과율이지만, 3fF의 경우에는 거의 100%의 투과율을 보이는 것을 관찰할 수 있다. 그렇지만, 도 8의 경우에는 1fF의 경우에 20%대의 투과율이지만, 3fF의 경우에는 90%~95%의 투과율을 보이는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 2차 공진주파수를 더 높은 곳으로 천이시킴으로써, 변조효율의 향상과, 평활한 스펙트럼 반응을 얻을 수 있다.

[0052]

도 10은 반도체층에 쇼트키 콘택의 게이트의 길이를 달리하면서 커패시턴스 특성을 측정한 결과이다. 이미 설명한 바와 같이, 상기 쇼트키 콘택은 나노스케일로 제공하고, 이때 게이트 간의 거리는 4 $\mu$ m이었다.

[0053]

도 10을 참조하면, 바이어스 전압이 대략  $\pm 3V$ 일 때 커패시턴스의 변화가 일어나는데, 이는  $\pm 3V$ 에서 상기 전자기동가능층에 의한 커패시턴스(C2)의 변화가 일어나기 시작하고, 일정한 기간(G) 동안은 상기 전자기동가능층에 의한 커패시턴스(C2)가 급격히 변화하고,  $\pm 2V$ 이내에서는 상기 전자기동가능층에 의한 커패시턴스(C2)가 거의 변하지 않는 것을 보이고 있다. 따라서 상기 가변용량 캐패시터(4)에 의한 커패시턴스는 두 지점(예를 들어, 실시예에서는 1fF 및 3fF)에서 안정적으로 동작할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

[0054]

나노스케일의 상기 쇼트키 콘택의 게이트 길이(L)는 커지면 커질수록, 상기 가변용량 캐패시터(4)가 온/오프됨에 따른 커패시턴스의 차이가 커지게 된다. 이를 적절히 조합하여 사용상태에 적합한 최적의 테라헤르츠 변조기를 얻을 수 있을 것이다.

[0055]

상기 반도체층(7)의 적용예로서, 높은 반응속도를 얻어낼 수 있는 헵트가 사용될 수 있는 것을 설명한 바가 있다. 도 11은 InP에 기반하는 헵트의 일 실시예를 나타내고, 도 12는 GaAs에 기반하는 헵트의 일 실시예를 나타내고, 도 13은 GaN에 기반하는 헵트의 일 실시예를 나타내고 있다. InP 또는 GaAs에 기반하는 헵트의 경우에는 높은 전자기동도에 기반하여 작은 시정수를 구현할 수 있고, GaN에 기반하는 헵트의 경우에는 밴드갭 특성으로 인하여 붕괴에 강하게 저항할 수 있다.

산업상 이용가능성

[0056]

본 발명에 따른 테라헤르츠 변조기는, 낮은 변조지수의 문제, 매우 낮은 변조 대역폭의 문제, 높은 동작전압의 문제를 개선하였다. 따라서 고효율의 테라헤르츠 변조기를 제공함으로써 테라헤르츠의 실제 사용에 대한 적용을 한층 더 앞당길 수 있다.

부호의 설명

[0057]

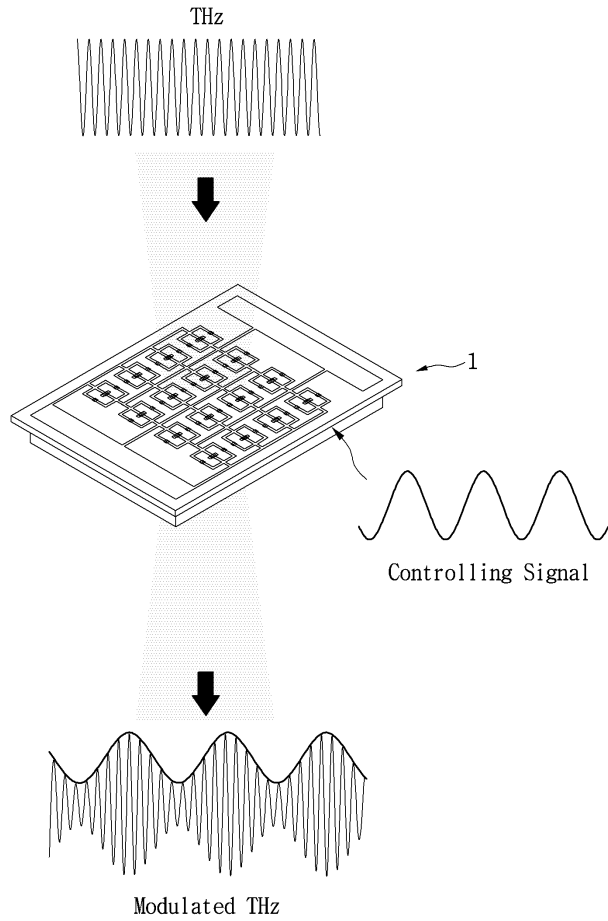
1: 테라헤르츠 변조기

3: 공핍영역

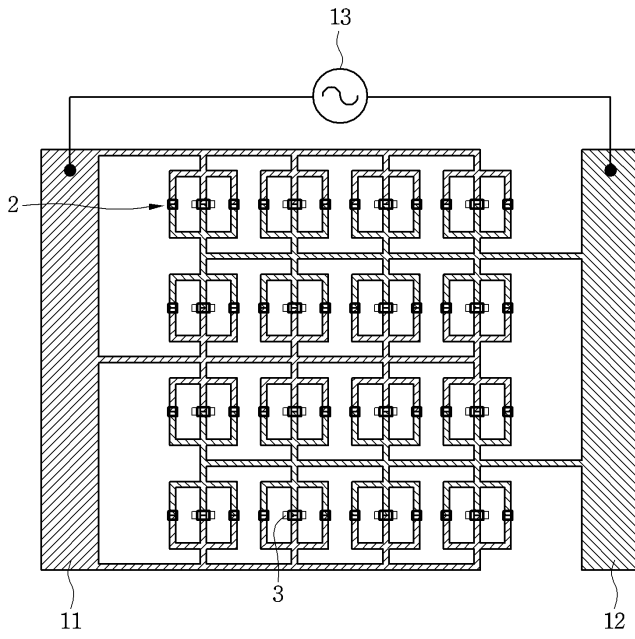
- 4: 가변용량 캐패시터
- 5, 6: 고정용량 캐패시터

도면

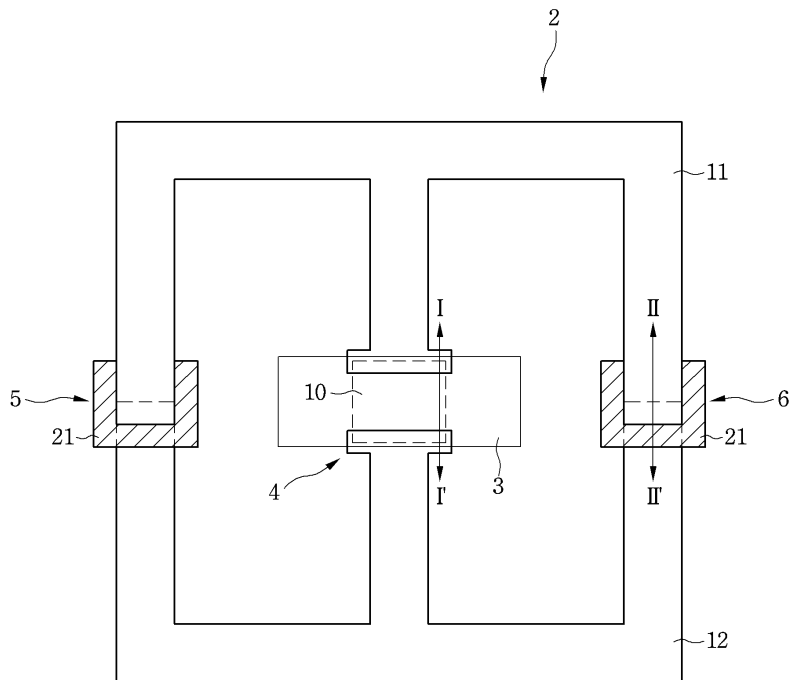
도면1



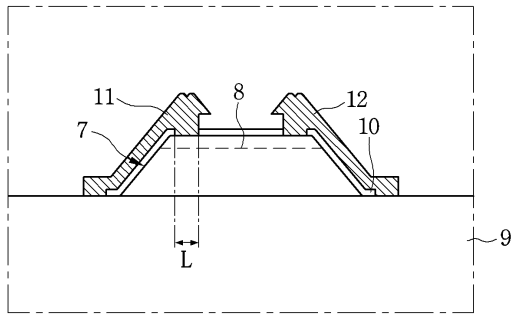
도면2



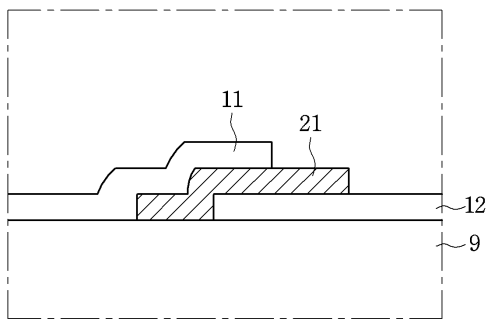
도면3



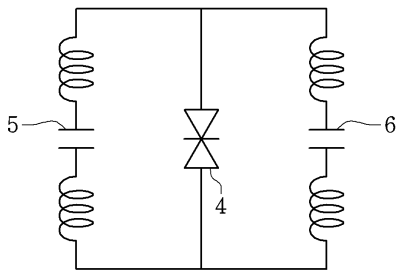
도면4



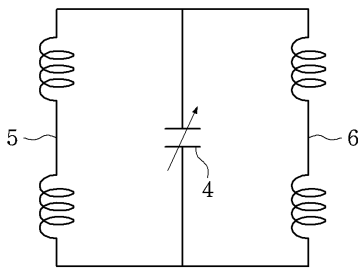
도면5



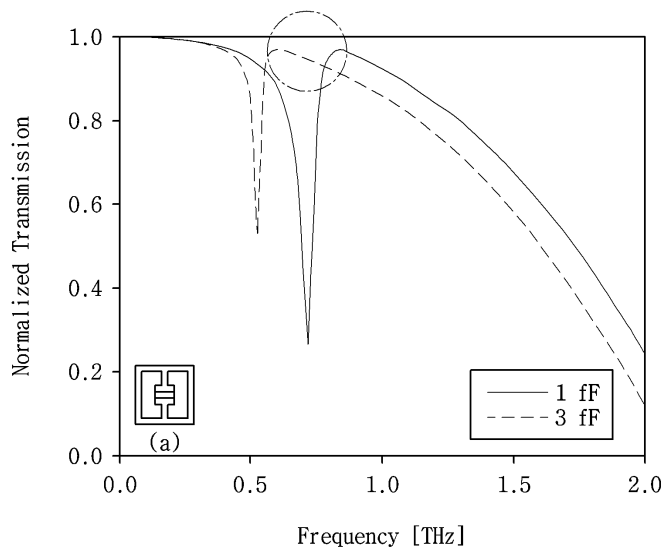
도면6



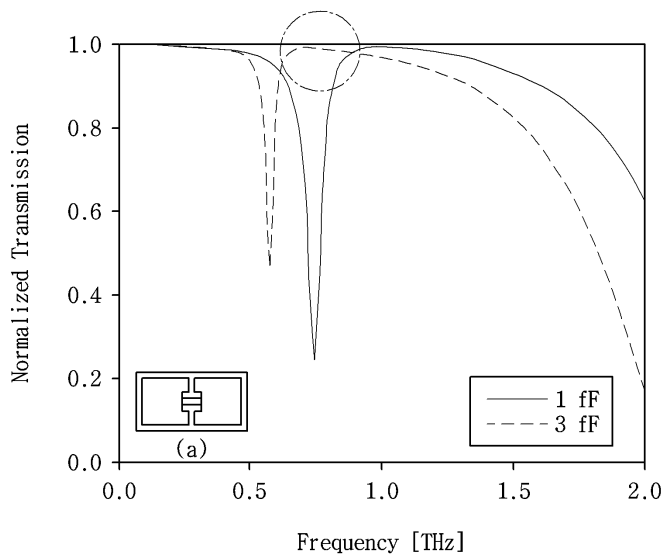
도면7



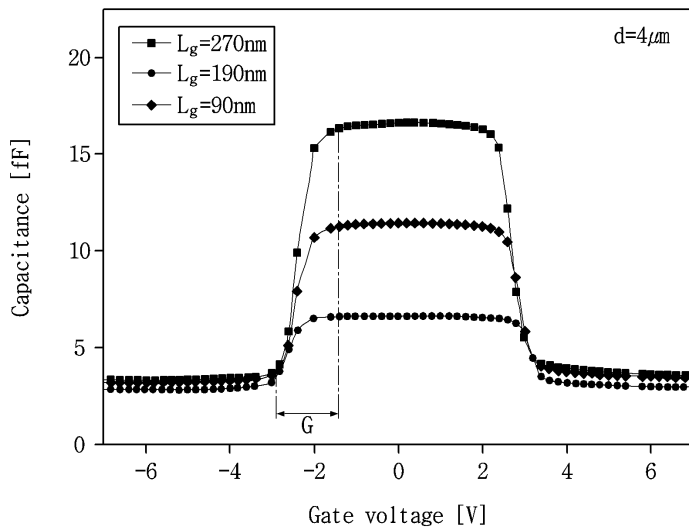
도면8



도면9



도면10



도면11

Layer	Material	Comments
Etch-stop	InP	4 nm
Barrier	$\text{In}_{0.52}\text{AlAs}$	8 nm
$\delta$ -doping	Si	$\sim 3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
Spacer	$\text{In}_{0.52}\text{AlAs}$	3 nm
Channel 1	$\text{In}_{0.53}\text{GaAs}$	3 nm
Channel 2	InAs	5 nm
Channel 3	$\text{In}_{0.53}\text{GaAs}$	4 nm
Buffer	$\text{In}_{0.52}\text{AlAs}$	500 nm
Substrate	S. I. Inp	-

} → 2-DEG

도면12

Layer	Material	Comments
Barrier	$\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{As}$	22 nm
$\delta$ -doping	Si	$\sim 2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
Spacer	$\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{As}$	5 nm
Channel	$\text{In}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{As}$	12 nm
Spacer	$\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{As}$	4 nm
$\delta$ -doping	Si	$\sim 2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
Buffer	$\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{As}$	500 nm
Substrate	S. I. GaAs	-

} → 2-DEG

도면13

Layer	Material	Thickness [nm]	Comments
Barrier	$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ or $\text{In}_y\text{Al}_{1-y}\text{N}$ or $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$	6~22	x:0.15~0.24 y:0.17 a:0.05~0.14 b:0.75~0.83
Inter layer	AlN	1	
Buffer	GaN	500	
Nucleation	AlN	1	
Substrate	SiC or Sapphire	-	