

ヘテロバリアダイオードを用いたテラヘルツ波イメージャーの開発

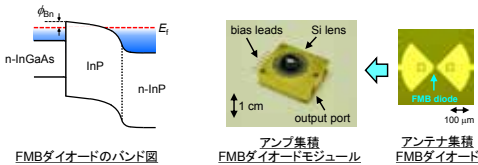
研究機関名：北里大学
所属名：一般教育部
代表研究者：教授 伊藤弘、終了予定 2019年度（令和元年度）



研究・成果概要

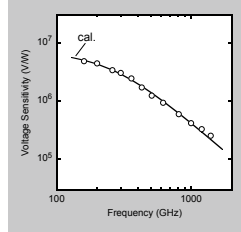
1. FMBダイオード*の提案

(*フェルミレベル制御バリアダイオード (Fermi-level Managed Barrier diode))



- 研究の目標
 - 室温・無バイアスで動作する新たな広帯域・低雑音 THz波検出器の創出
 - THz波イメージャーへの適用
- FMBダイオードの特徴
 - 障壁高さ(φ_{bn})をn-InGaAs層へのドーピングで制御
 - 低障壁高さによりインピーダンス整合、高電流密度動作、広帯域動作、低雑音等価電力(NEP)を実現
 - 安定な半導体ヘテロ界面を使用：均一性・再現性良好 ⇒ 量産技術として重要、アレイ化に優位
- 素子作製
 - ドライエッチによるメサ形成
 - 素子面積：~0.5 μm²
- モジュール実装
 - 準光学型小型筐体 (21.5 x 18.4 x 10.3 mm³)
 - 気密封止構造
 - 高周波同軸コネクタ出力 (SMP:40GHz帯域)
 - プリアンプ内蔵

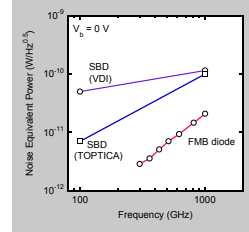
2. 二乗検波特性



アンテナ集積FMBダイオードモジュールの電圧感度の周波数依存性

・160GHzから1.4THzまでの広帯域な検出動作を実現

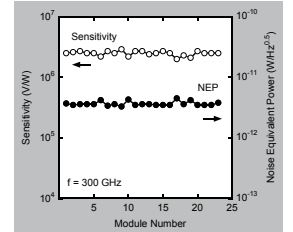
・電圧感度(代表値)：3 MV/W @300 GHz



FMBダイオードとSBDのNEP比較

・市販の広帯域ゼロバイアスSBDよりも1桁程度低いNEPを実現

・FMBダイオードは、広帯域・低雑音なTHz波検出器として従来素子(SBD)よりも格段に優れた特性を有する



アンテナ集積FMBダイオードの電圧感度とNEPの分布 (23モジュール)

・電圧感度の平均値：2.5 MV/W (σ=9%) @300GHz

・NEPの平均値：3.7 pW/√Hz (σ=9%) @300GHz

・FMBダイオードは特性の均一性に優れる

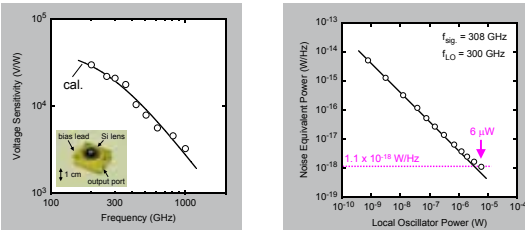
⇒ 半導体ヘテロ接合を用いた効果

⇒ アレイ型検出器にも適する

3. ヘテロダイン検波特性

- ヘテロダイン検波の利点
 - LO信号入力による高感度検出
 - 位相情報の検出
- FMBダイオードの利点
 - SBDと比べ、必要なLO信号強度を大幅に低減可能
 - ⇒ LO信号源への負担軽減、アレイ化にも適する

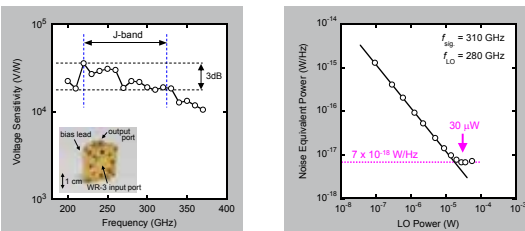
■ 準光学型FMBダイオードモジュール (IF帯域:11GHz)



準光学型FMBダイオードモジュールの電圧感度の周波数依存性 (二乗検波)

300GHz帯におけるヘテロダイン検波時のNEPとLOパワーの関係

■ Jバンド(220-325GHz帯)導波管入力型FMBダイオードモジュール (IF帯域:40GHz)



導波管入力型FMBダイオードモジュールの電圧感度の周波数依存性 (二乗検波)

300GHz帯におけるヘテロダイン検波時のNEPとLOパワーの関係

最適LOパワーはSBDの報告値よりも2桁程度低い

4. 1次元アレイによるTHz波イメージング

- 1次元アレイ
 - ピクセル数：100
 - ピクセル間隔：1.2 mm
 - 各チャンネルにプリアンプを搭載



FMBダイオード1次元アレイ (100ピクセル)

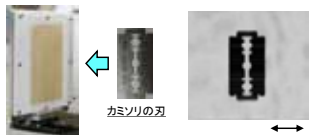
- 撮像条件
 - 照明：315GHz (UTC-PD)
 - (低コヒーレンス光源を使用)
 - 撮像領域：120 x 120 mm²
 - スキャン速度：250 mm/s (連続)
 - (画像化間隔：0.2mm)
 - スキャン時間：0.48 sec.

- 撮像結果
 - 明瞭なコントラスト (S/N)
 - 良好な解像度 (約0.7mm, ほぼ回折限界)
 - 干渉の影響を抑制 (低コヒーレンス光源の効果)
 - 短時間で撮像可能 (<0.5 sec, アレイ化の効果)

- 低入力パワー (300μW) でも良好な画像を取得可能 (FMBダイオードの高感度・高均一特性の効果)



透過型イメージングシステム

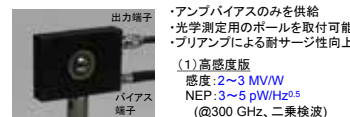


ステージ上の封筒

封筒に入れたカメラの刃のTHz波画像 (@315GHz)

5. TTP*を通したモジュールの貸出し

(*テラヘルツテクノロジープラットフォーム, JST)



TTP用FMBダイオードモジュール (サイズ: 50 x 36 x 13.6 mm³)

- ・アンプバイアスのみを供給
- ・光学測定用のホールを取付可能
- ・プリアンプによる耐サージ性向上

- (1) 高感度版
 - 感度：2~3 MV/W
 - NEP：3~5 pW/√Hz^{0.5} (@300 GHz, 二乗検波)
- (2) 広IF帯域版
 - IF帯域：11GHz
 - NEP：1~2 x 10⁻¹⁸ W/√Hz
 - LOパワー：5~10 μW (@300 GHz帯, ヘテロダイン)

利用をご希望の場合は、下記のサイトからご申請下さい
<http://www.jst.go.jp/kyousou/ttp.html>

6. まとめと今後の展開

フェルミレベル制御バリアダイオード (FMBダイオード) を提案

- 障壁高さ (<100meV) により広帯域・低雑音を実現 (無バイアス)

二乗検波特性

- 広帯域：160 GHz ~ 1.4 THz, 低NEP：(3 pW/√Hz^{0.5} @300GHz)
- 均一特性 (標準偏差9%/23モジュール)

ヘテロダイン検波特性

- 低NEP：(1.1 x 10⁻¹⁸ W/√Hz @300GHz)
- 低LOパワー：(6 μW @300GHz)

THz波イメージング (1次元アレイ)

- 120 x 120 mm² を 0.5秒以下で撮像 (~300μW出力)
- 回折限界レベルの解像度 (~0.7 mm @315 GHz)

今後の展開

- (1) 素子特性・実装の改良 ⇒ 極限性能追求、小型・低コスト化
- (2) 応用形態の拡大 ⇒ アレイ技術、ヘテロダイン検波技術の高度化
- (3) 市販の拡大 ⇒ 品種拡大、グローバル展開

想定する分野・用途

- ・各種テラヘルツ応用 (イメージング、分光、無線通信、信号計測、電波天文、等) における検出性能 (S/N) の改善
- ・アレイ型検出器への適用 (素子特性の均一性・再現性良好) ・ヘテロダイン検波器の高度化 (低LOパワーで動作可能)

最終目標

- ・ショットキーバリアダイオード (SBD) の課題を解決し、使い勝手が良く特性の優れた検出器を世の中に提供する。
- ・低NEP、低LOパワーヘテロダイン動作、均一な素子特性、などの特徴を活かし、テラヘルツ技術の発展をデバイス面から支える。

産業界への期待・要望

- ・FMBダイオードを様々な応用に適用して頂くことで、システムの性能向上を通して、テラヘルツ産業の発展を加速して頂きたい。
- ・検出器の特性や実装形態、使用条件などに関するご要望・ご提言を頂きたい。