

3THz帯における高感度ヘテロダイン受信機の開発(2)

入交 芳久、川上 彰、諸橋 功、熊谷基弘、長野重夫、関根 徳彦、田中 秀吉、花土ゆう子、落合 啓、寶迫 巖(情報通信研究機構)

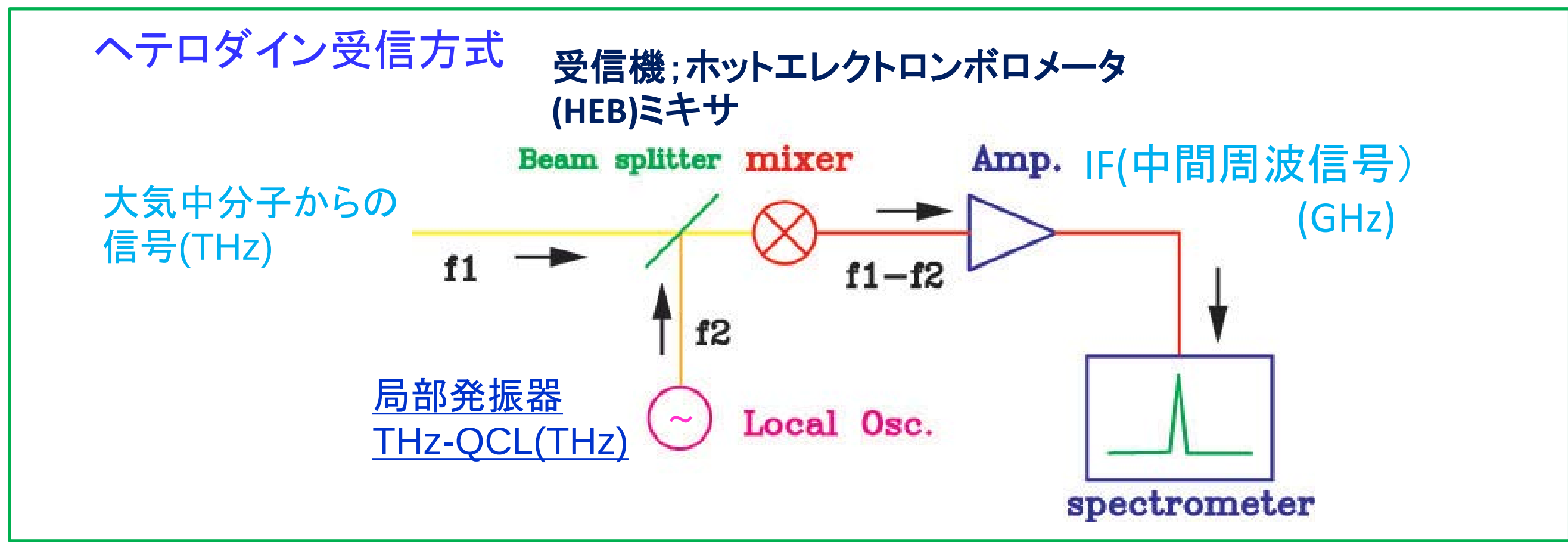
Abstract

地球大気や天体観測、無線通信などへの応用を目的として、3THz帯の高感度ヘテロダイン受信機の開発を行っている。ミキサには超伝導を使ったHEBM(ホットエレクトロンボロメータミキサ)、局部発振器としてTHz-QCL(量子カスケードレーザー)を用いる。デバイスはNICTにおいて作成しており、これまでにDSB受信機雑音温度として、約1930K(量子限界の13倍)が達成されている。また、THz-QCLの位相ロックにも成功した。将来の気球搭載を検討している。

〇目的

地球大気中の炭素化合物やH₂O等の同位体比の検出を行うための新しいリモートセンシング技術(ヘテロダイン検波)の開発

- 受信機雑音温度、量子限界の約 10 倍以下の達成。
- 地上ガスセルシステムを用いた分子検出による、受信機性能の実証。
- 周波数コムによる 3THz 参照信号と HEB ミキサ を用いて、THz-QCL のフェーズロックを実現することで、高輝度狭線幅基準光源を構成し、それをテラヘルツ高感度ヘテロダイン受信機の局部発振器として利用することで、周波数分解能を飛躍的に向上させる。



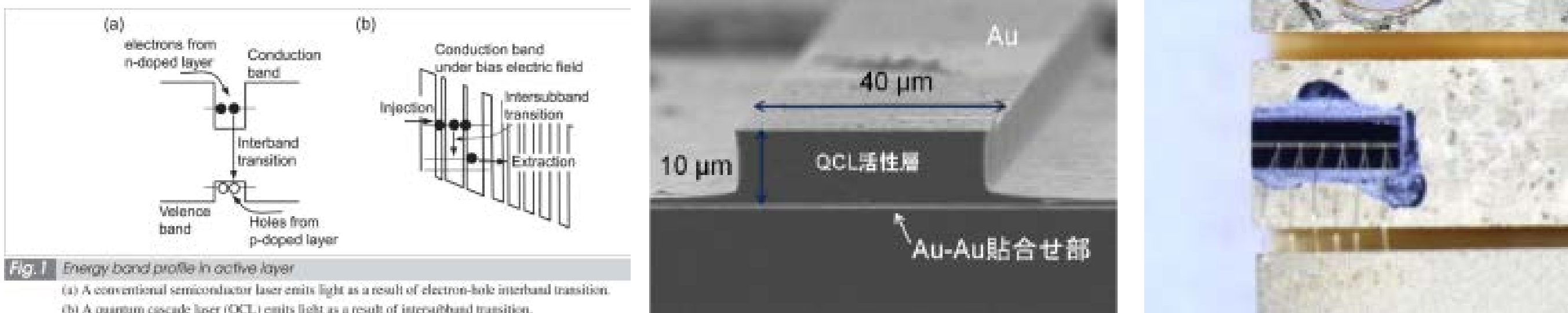
1、ホットエレクトロンボロメータミキサ(HEBM)

ホットエレクトロンボロメータミキサ(HEBM: Hot Electron Bolometer Mixer)は超伝導を利用したテラヘルツ帯における高感度センサである。広帯域スパイラルアンテナとNbNの超伝導薄膜(L0.4 μ m, W4 μ m, t3nm)ブリッジの高速応答(~GHz)によりテラヘルツ波スペクトルを検出する。



2、テラヘルツ量子カスケードレーザー(THz-QCL)

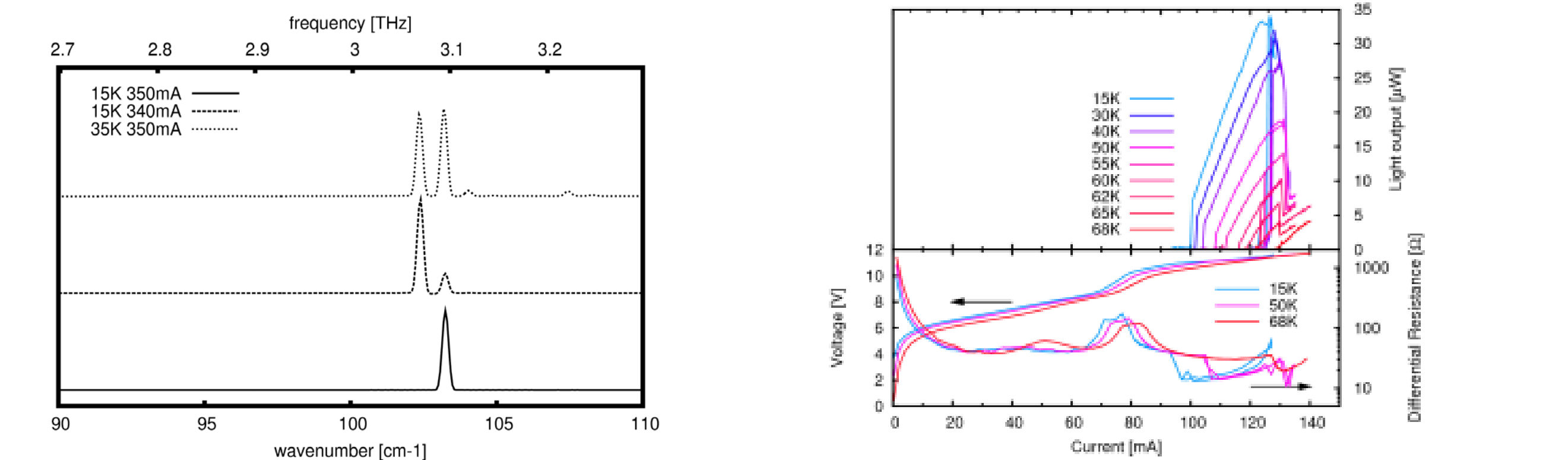
THz-QCL(Quantum Cascade Laser)はTHz帯におけるコンパクト、高輝度なコヒーレント連続波光源である。THz-QCLをヘテロダイン受信機の局部発振器として用いることを目的とした開発を行う。目標とする仕様として、周波数 3THz、出力 100 μ W~1mWの連続発振、動作温度 77K、線幅 $\Delta f/f \sim 10^{-7} \sim 10^{-8}$ 、低消費電力等がある。これまでに 3.1THz において、出力約 100 μ W (15K)以上の連続発振に成功している。(最高動温度は約 70 K)。



THz-QCLの原理。サブバンド間遷移による発光

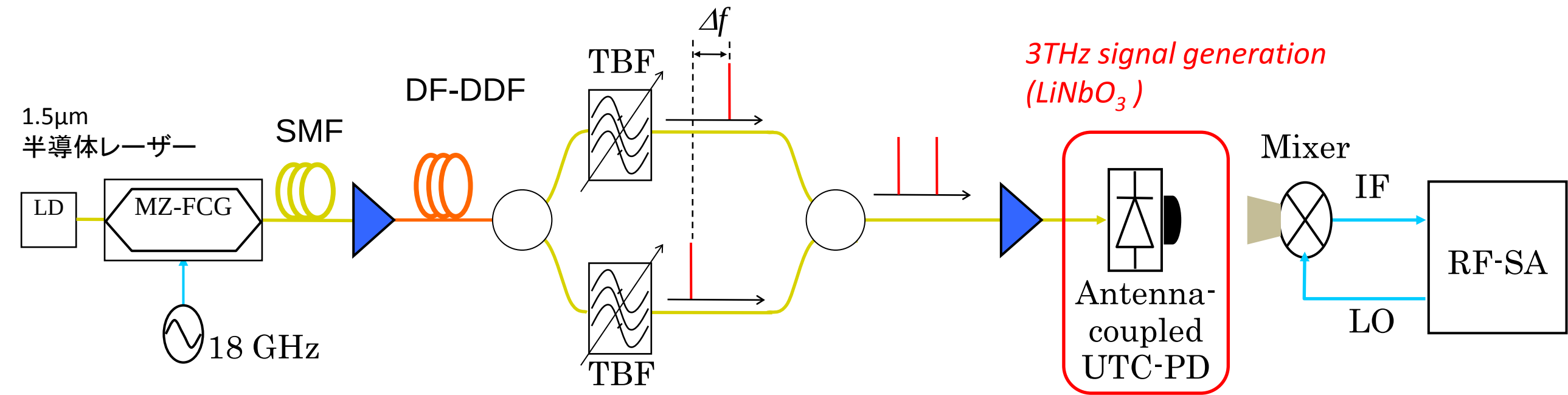
製作したTHz-QCLの SEM 画像。

デバイス(500 μ m x 1.5mm)とマウントで作成。

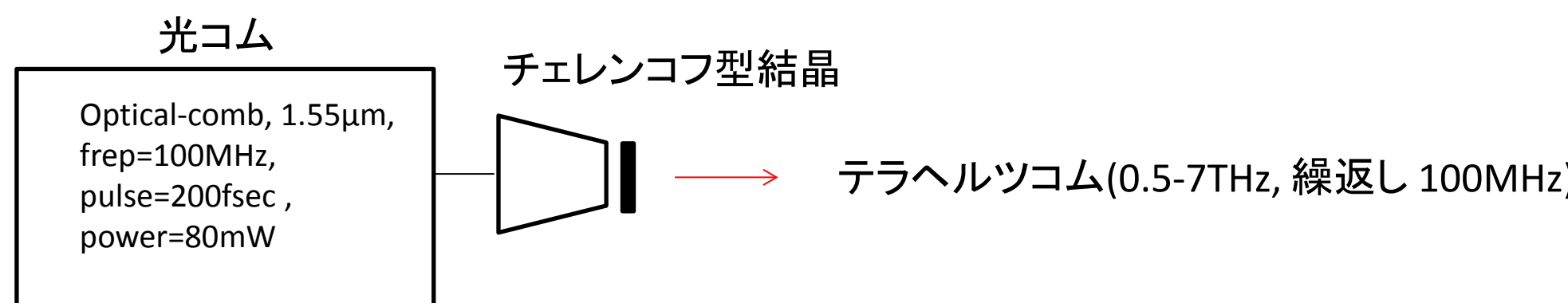


3、周波数コムを用いたTHz波発生

レーザ光(1.5 μ m)をマイクロ波(18GHz)で変調・平坦化し、非線形ファイバにより広帯域化したコムを発生させ、3THz 離れた 2本の信号をフィルタにより取り出し、光伝導アンテナ(フォトミキサ)でビートを取ることで 3THz の信号を発生させる。または、光 1.55 μ mの光コム (frep=100MHz, pulse=200 μ s, 80mW)をチェレンコフ型位相整合によりTHzコムを発生させる。THz-QCL のフェーズロック用参照信号として使用。狭線幅、任意の周波数に調整が可能な特徴を持つ。



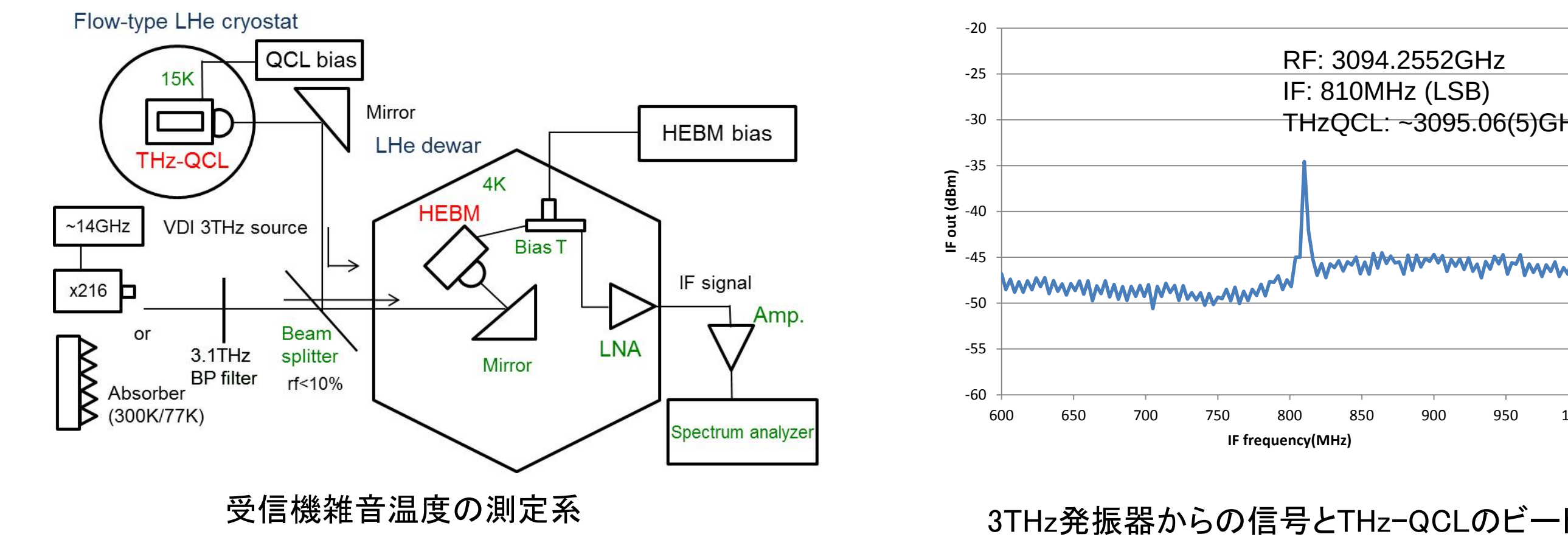
広帯域光周波数コムの 3THz 離れた 2本のモードと UTC-PD(フォトミキサ)を用いた、CWテラヘルツ波の発生



非線形光学結晶(LiNbO₃)を用いた、チェレンコフ型位相整合による、テラヘルツ波コムの発生

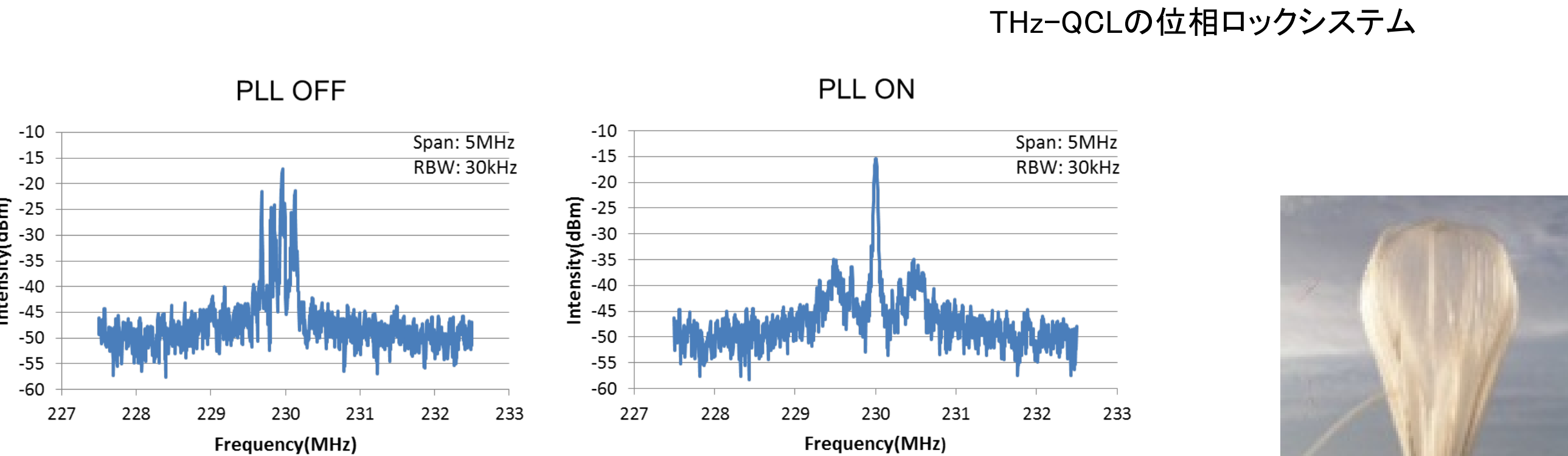
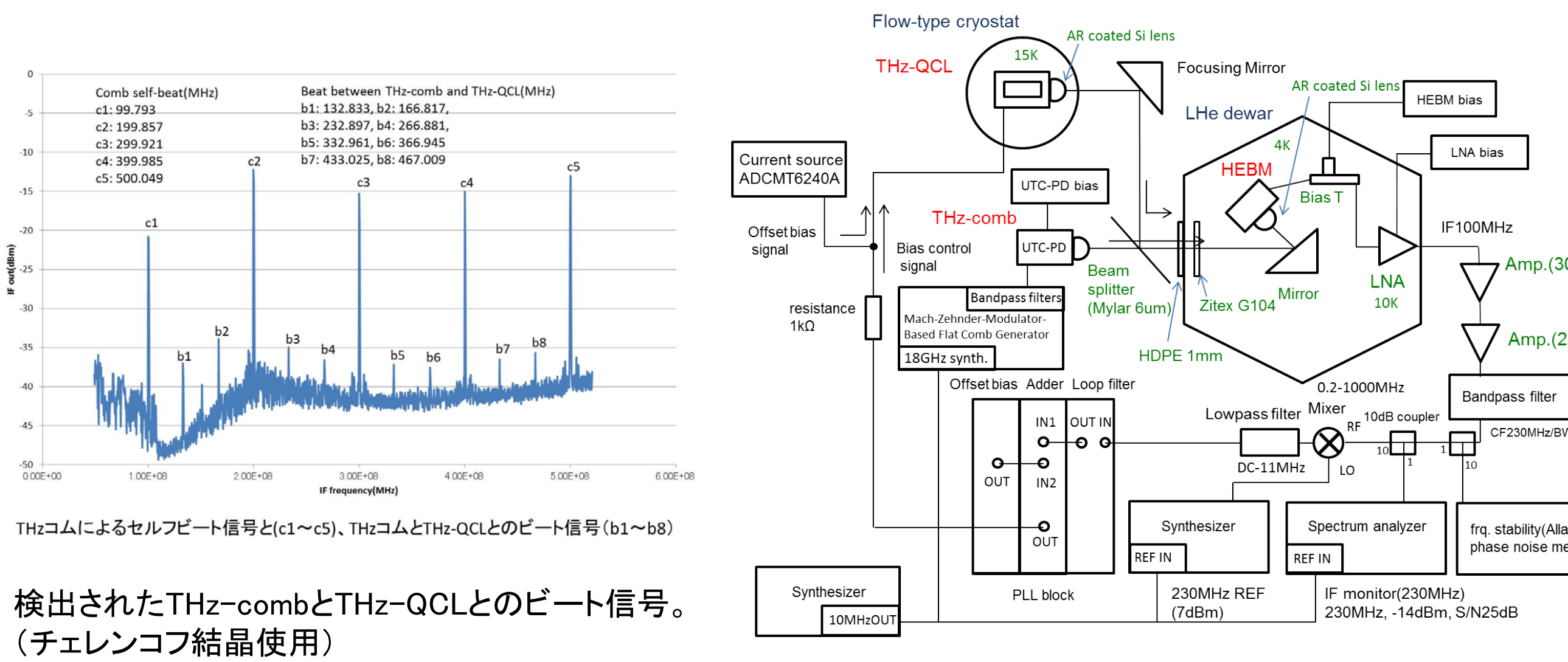
4、3THz 高感度受信機

THz-QCLを局部発振器とし、HEBMと組み合わせることで、高感度ヘテロダイン受信機を構成する。シンセサイザ信号の216通倍による 3THz信号とのビート検出に成功し、ヘテロダイン受信機としての動作を確認した。これまでに、3THz で受信機雑音温度(DSB) $T_{rx}^{uncorr}(DSB) = 1,930K$ (量子限界の約 13 倍)が達成されている。

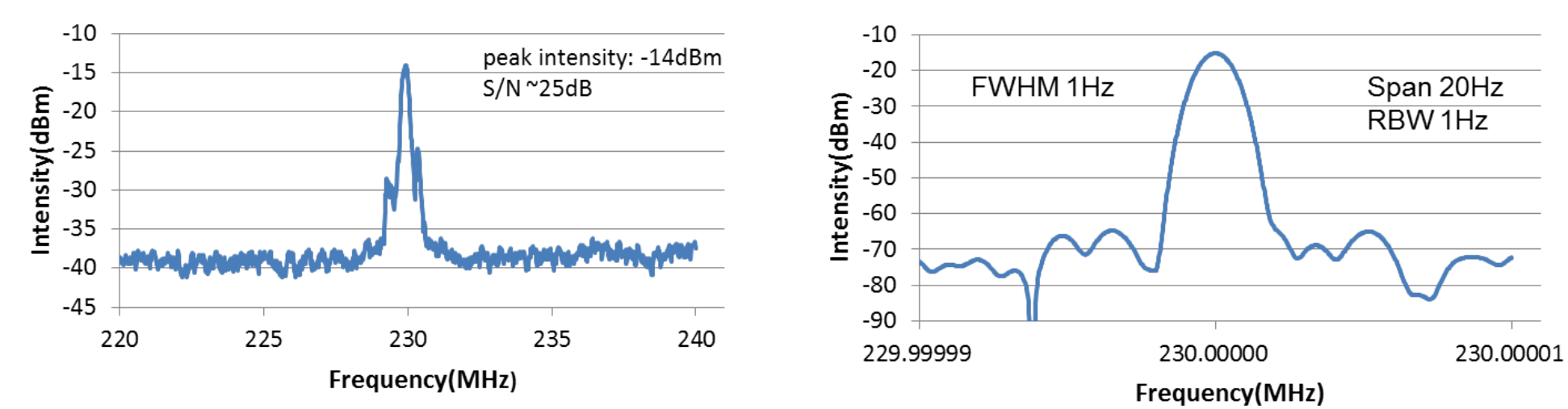


5、THz-QCLの位相ロック

大気中微量成分スペクトルを高周波数精度で測定するために、局部発振器に位相ロックをかける必要がある。位相ロックをかけないシステムに比べて、周波数分解能が 2桁以上高い受信機の実現が可能になる。システムとして目指す総合性能はTHz-QCL の周波数線幅を、 $\Delta f/f < 10^{-8}$ の周波数安定化(10 kHz以下 @ 3 THz)以下がある。マイクロ波の通倍、UTC-PD及び、チェレンコフ結晶を用いたTHz波とのビート検出に成功し、マイクロ波の通倍、UTC-PDによる位相ロックにも成功し、線幅1Hz(スペクトラムアナライザの周波数分解能限界)以下を達成した。また、位相ロックされたTHz波を局部発振器としてミキサに導入し、ビート検出にも成功した。将来の気球搭載を検討している。



光combにより発生させた3THz参照信号を用いた時の位相ロック OFF(左)/ON(右)時のビート信号のスペクトル。



受信機システム搭載
気球(JAXA)