

## 量子カスケードレーザーを用いたテラヘルツ波ヘテロダイン受信機の開発

# 小山 知記 [1]; 前澤 裕之 [2]; 山倉 鉄矢 [3]; 水野 亮 [4]; 長浜 智生 [5]; 荻野 竜樹 [6]

[1] 名大・工・電情; [2] 名大・太陽研・大気; [3] 筑波大・数理・物理; [4] 名大 STEL; [5] 名大 S T E 研; [6] 名大 STE 研

### Development of Terahertz Heterodyne Receiver with Quantum Cascade Laser

# Tomoki Koyama[1]; Hiroyuki Maezawa[2]; Tetsuya Yamakura[3]; Akira Mizuno[4]; Tomoo Nagahama[5]; Tatsuki Ogino[6]

[1] Electrical Engineering, Nagoya Univ.; [2] STEL; [3] Physics, Tsukuba Univ.; [4] STEL, Nagoya U.; [5] STEL, Nagoya U.;

[6] STEL, Nagoya Univ.

THz region is an important frequency band to push further ahead with the astronomical and atmospheric research. OH is one of the most important radicals in atmospheric chemistry because it is a strong oxidant linked to the destructive processes of various atmospheric molecules. However, remote measuring methods of the OH radical have not been fully established, due to its short lifetime and low abundance, resulting in an insufficient understanding of HO<sub>x</sub> chemistry. OH has transition lines at 1.8 THz band. 1-10 THz region is an unexplored frequency band in heterodyne sensing technology fields because a conventional niobium-based SIS mixer device cannot function due to superconducting Cooper pair breakdown by photon absorption in the THz band. To overcome these obstacles, we are developing an alternative THz-band heterodyne device known as a hot electron bolometer mixer (HEBM), in collaboration with the University of Tokyo.

In heterodyne measurement emission lines from atmospheric minor constituents of stratosphere and mesosphere are observed with high frequency resolution ( $df/f=10^{-6}$ ). In addition, the weak emission line is observable without any background sources like the sun. In this system, the incident signals from observing targets are mixed with the reference signal from a local oscillator (LO) at a mixer. The intermediate frequency signal down-converted by the mixer is amplified, and then analyzed spectrally. In case of THz band practical (compact and stable) THz continuous wave (cw) oscillator as well as super low-noise mixer device has not been sufficiently explored. Therefore, we have embarked on the development of 1-2 THz band cw quantum-cascade laser (QCL) under the collaboration with the National Institute of Information and Communications Technology of Japan.

1-10 THz 帯は、電波と赤外の間であり、未開拓の波長領域と呼ばれている。しかし、星間空間に広がるプラズマガスや、地球大気においてオゾン層の回復・破壊や温室効果関連ガス、短寿命で計測手法の確立していない OH ラジカルなど、実に様々なスペクトル線がこの波長帯に分布している。我々は、この中でも 1~数 THz 帯のヘテロダイン分光計測を目指し、THz 帯の超伝導ミキサ検出素子の開発を進めている。このヘテロダイン分光の手法は、太陽などの背景光源が必要ないので昼夜問わず観測が可能である。また、 $f/f=10^{-6}$  の高い周波数分解能による観測も可能である。さらに波長が赤外線などと比べると長いために観測時にエアロゾルやダストなどの吸収・散乱の影響を受けにくい、といった特徴がある。このため、例えばミリ波・サブミリ波帯のヘテロダイン観測は、星間空間や地球大気の成層圏・中間圏に分布するガスの細い線幅のスペクトルの観測に大きな威力を発揮してきた。ヘテロダイン受信機の心臓部はミキサ検出素子と局部発振器 (LO) からなる。入射してきた信号は、この受信器において LO の参照信号とミキシングされ、このとき発生するビート (数 GHz の中間周波数信号) が増幅されて、分光処理される。これまで、ミリ波・サブミリ波帯では LO として、逓倍型の固体発振器が用いられてきた。一方、数 THz 帯では実用的な LO が存在しない。そこで我々のグループは量子カスケードレーザー (QCL) のヘテロダインセンシング応用に注目してきた。

従来のダイオードレーザーは伝導帯と価電子帯のバンド間遷移を利用しており、発振波長は材料のエネルギバンドギャップに依存する。一方 QCL は伝導帯の量子井戸サブバンドの遷移の放射を利用して、サブバンド構造を変えることにより発振周波数を調整することができる。近年は分子ビームエピタキシーによる高確度製膜技術を用いて、積層構造と素材の最適化を行うことで、1THz 帯での QCL の連続波発振も可能となりつつある。我々は現在、NICT の研究協力のもと、特に 1-2THz 帯の QCL で ~1mW クラスの出力をもつ、連続波かつ低消費電力発振の QCL の開発検討を進めている。また機械式 4K 冷凍機の 1st 冷却ステージ (~40K) で QCL を冷却する実装・アセンブリーにも着手している。ヘテロダイン分光では LO の周波数精度・安定性が重要な要素となる。このため、QCL の THz 波を直接検波してフェーズロックをかける必要がある。そこで、QCL の THz 波 (~100uW) を一部分岐し、これと逓倍型発振器 (VDI 社製) の THz 波 (~1uW) をショットキー障壁ミキサないし超伝導ホットエレクトロンボロメータミキサに照射する。これにより発生したビート信号を位相比較器に取り込んで、QCL への印加電圧にフィードバックし、QCL の周波数固定を行う狙いである。本講演では、これら一連の開発の進捗について報告する。