

Title	強磁場・低温テラヘルツ分光システムの開発
Author(s)	長島, 健; 角倉, 久史
Citation	大阪大学低温センターだより. 2006, 135, p. 23-26
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/12212
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

強磁場・低温テラヘルツ分光システムの開発

レーザーエネルギー学研究センター

長島 健，角倉 久史（内線4225）

1．はじめに

本稿では、他の特集記事とは趣を変えて、テラヘルツ分光技術開発の過程で生まれた低温技術について紹介したい。

テラヘルツ領域は未開拓の波長領域であったが、最近では種々のテラヘルツ分光技術が開発されつつある。これまでに偏光解析測定、磁気光学測定、各種変調分光測定など、開発の進んだ他の波長領域で行われていることが次第に可能になってきている。そして試料を強磁場及び極低温にして測定したいという要望も出てきている。

本稿では、液体寒剤を用いない機械式冷凍機を用いたテラヘルツ分光装置の開発を紹介する。液体ヘリウムのヘビーユーザーからすれば、機械式冷凍機は邪道、ということになるかもしれないし、このような内容を液体寒剤の供給が使命である低温センターのたよりに掲載するのはいかがなものか、と感じる方もおられると思う。

しかし、扱いの簡便さを考えると機械式冷凍機は無視できない。低温センターから離れたところでは、コンテナの輸送だけでも一仕事である。また、大型の液体ヘリウムクライオスタットだと、ヘリウムを枯らさないように何日かおきに継ぎ足す必要がある。機械式冷凍器を用いればこれらの作業は激減する。人員が不足しているグループでは重要なことであろう。

とはいっても、機械式冷凍機は種々の問題がある。一番大きな問題は機械振動が測定に与える影響である。最近ではパルスチューブ冷凍機という低振動タイプのものがあるが、現状ではこの機械式冷凍機は設置姿勢に強い制約があり、本稿で紹介するような横置きでは冷却できない。また機械式冷凍機のコールドステージとサンプル部を金属メッシュで接続し、振動を絶縁するタイプのものもある。サンプル部は金属メッシュを介した伝熱により冷却される。この方式だと、到達最低温度は10 K程度と高めになるのが欠点である。

2．振動同期データサンプリングを用いた強磁場・低温テラヘルツ分光システム

本稿では従来型のGifford-McMahon型機械式冷凍機（以下、GM冷凍機）を試料の冷却に用いたテラヘルツ波時間領域分光システムの構築例を紹介する。

装置の概略図を図1に示す。試料には超伝導マグネットを用いて最大10 Tを印加している。この

マグネットもGM冷凍機で冷却されている。マグネットのボアは横置きになっており、そこに横置きされた試料冷却用GM冷凍機が挿入されている。テラヘルツ波は反対側の口から入射させ、試料冷凍機内で折り返される。その後、検出アンテナに導かれる。

超伝導マグネットの冷却に伴う振動の影響は、マグネットと分光光学系を直接接触させないように設置することで、ほぼ回避できる。これはマグネット用冷凍機が揺れてもマグネット本体の重量が大きいので、床を伝達する振動が小さいことによるものと考えている。

問題は試料冷凍機である。今回用いたGM冷凍機の試料部分は振動によっておよそ13 μm 程度の振幅で揺れている。図 1(a) の光学系では、揺れによって光軸（テラヘルツ波が通るコース）及び光路長がずれる。

光軸のずれによって検出器へのテラヘルツ波の入射の様子が変わるため、信号強度が変化する。これに加え、本稿で採用しているテラヘルツ波時間領域分光法の特徴であるが、光路長が変化しても検出信号に大きなノイズがのる。通常の信号強度のみを検出する分光法では、光路長のずれは大きな問題とならないが、テラヘルツ波時間領域分光法では電磁波パルスの波形を測定する。すなわち電磁波の位相も含めて測定する。光路の長さが変わると、電磁波パルスが検出器に到達するタイミングが変化し、検出信号には大きな揺らぎが生じる。冷凍機を動作させて、通常の方法で波形を取得すると、本来図 2(c) のような滑らかであるはずの波形に大きな揺らぎが重畳して図 2(a) のような波形になってしまう。

この機械的振動に起因する揺らぎを、データサンプリングを工夫することにより除去する。振動の主たる原因は冷凍機ヘッドの中のピストン（図 1(a) 中のDP）の運動である。振動によって試料位置が変化する。そして、先に見たように光軸及び光路長が変化し検出信号も変化する。この検出信号の変動は当然のことながら、振動に同期している。そこで、試料の振動に同期して検出信号を取得する。これが意味するところを一言で言うと、「試料が常に同じ位置に来た時点で検出信号をサンプリングする」ということなのである。つまり実効的に振動による時間変化を除去できる。

サンプリングのためのトリガ信号は、本システムの場合、冷凍機筐体に貼り付けたマイクロフォン（図 1(a) 中のM）からの信号を用いた。ピストンはシリンダの端に到達した時、音を発生する。

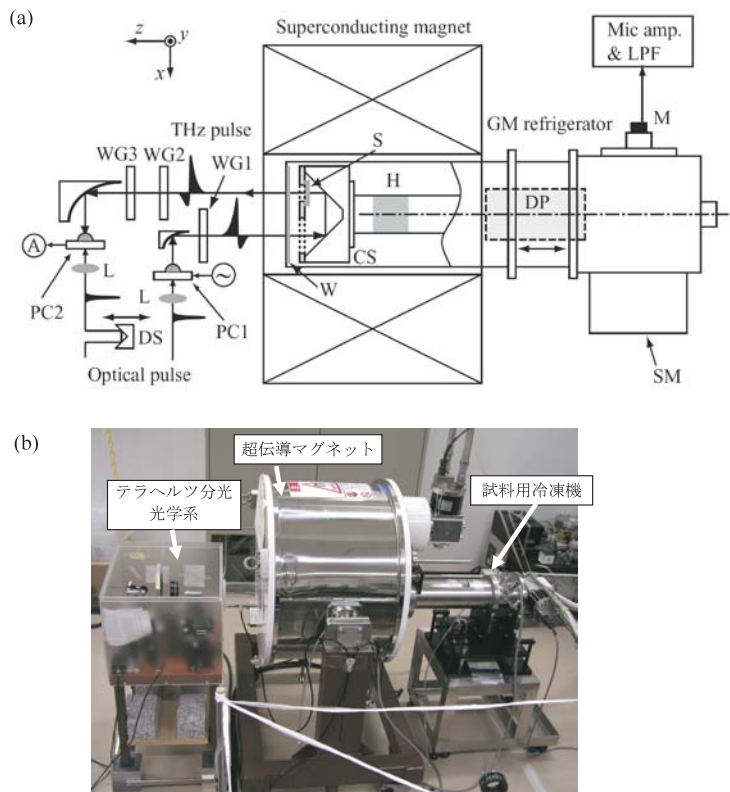


図 1 強磁場・低温テラヘルツ分光システムの (a) 概略図及び (b) 外観写真

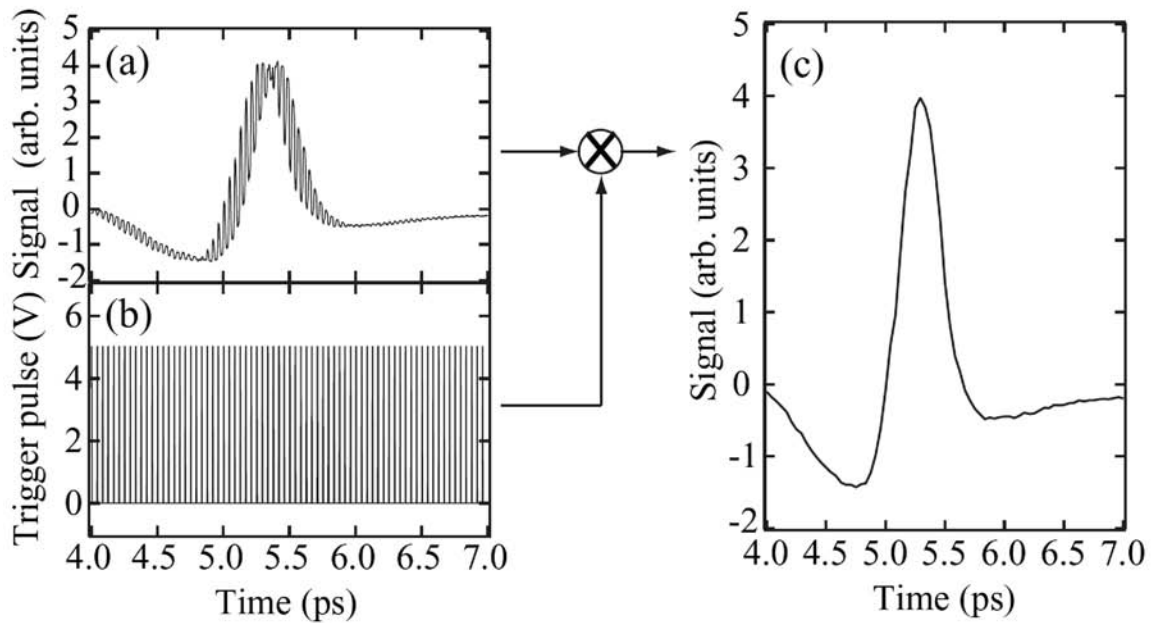


図2 (a) 冷凍機を動作させた場合に、通常データサンプリングで取得したテラヘルツ波の波形。(b) に示すような振動に同期したトリガ信号でデータを取得すると、原理的には(c)のような振動の影響を受けない波形が得られる。

この音はピストンの運動、すなわち振動に同期している。マイクロフォンからの電気信号を適当な電子回路で矩形電気パルスに変換し、サンプリングのトリガ信号とした。

上記のようなデータサンプリングを採用すると、図4の実線に示すようなテラヘルツ波パルスの波形が測定される。比較のために冷凍機を停止させた場合に測定される波形をグレーの線で示しているが、両者がほとんど重なっている。すなわち、上記の振動同期サンプリングによって振動の影響を回避できた。

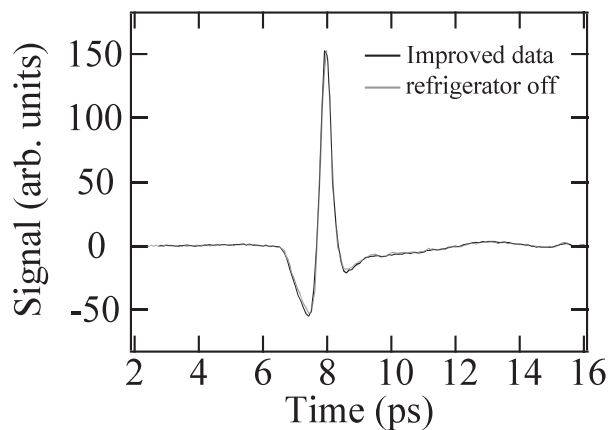


図3 冷凍機運転時、振動同期データサンプリングを適用した場合に検出された波形(黒実線)。比較のために冷凍機停止時に得られた波形をグレーの線で示している。両者はほぼ重なっている。

3. 測定例

現在、我々のグループでは、この装置を用いて強磁場中での半導体の自由キャリアのテラヘルツ波領域の高周波応答を調べている。低磁場ではテラヘルツ周波数でのキャリアの運動は一電子近似の単純なモデル(=Drudeモデル)からずれることが知られている。これまでに各種半導体の測定から、低磁場ではボルツマン輸送方程式を用いたより精密な取り扱いが必要なこと、これに対し強磁場中ではDrudeモデルのような単純なモデルが意外にも適用可能なことなどが分かってきている。

データの一例として、AlGaAs/GaAsヘテロ接合界面における2次元電子ガスのサイクロトロン

共鳴の観測結果を図4に示す。測定温度は5 Kである。図4(a)及び(b)では、それぞれ試料を透過したテラヘルツ波の楕円率及び回転角スペクトルという少し変わった量を示しているが、図4(a)の矢印で示したディップの周波数でサイクロトロン共鳴が観測されている。

4. 最後に

本手法はテラヘルツ測定のみならず種々の光学測定に有効と考えている。しかしながら、やってみなければ分からないものの、精密なSQUID、NMRやESR装置への適用は困難であると思う。そういった用途には、それら装置の横におけるような小型のヘリウム再液化機なども市販されているようである。機械式冷凍機や再液化機の採用により、液体ヘリウムトランスファーをしなくて済む、といった現実的なメリットもあるが、限りある天然資源であるヘリウムの節約にも寄与する。しかも我が国ではヘリウムは輸入に頼らざるを得ないことを考えると、こういった装置の工夫をしておくことは無駄ではないだろう。

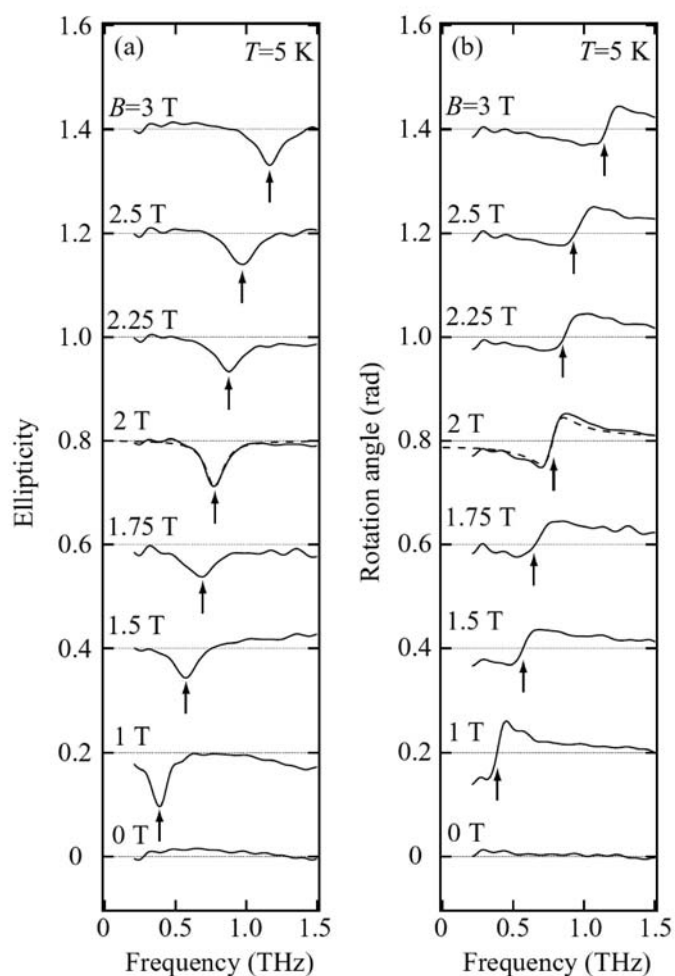


図4 AlGaAs/GaAsヘテロ接合試料のテラヘルツ帯 (a) 楕円率及び (b) 回転角スペクトルの印加磁場依存性。

こういった装置の工夫をしておくことは無駄ではないだろう。