

33GHz・100GS/s のオシロスコープで、周波数純度の高いテラヘルツ光を発生・検出・利用

Customer Solution Summary

February 2015

課題

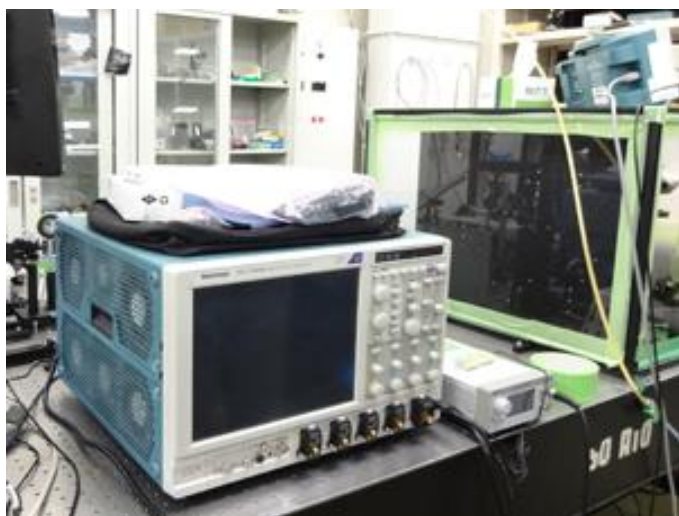
パラメトリック波長変換を利用したテラヘルツ光の発生・検出および試料との相互作用の観測時における、単一パルス・サブナノ秒領域での過渡応答観測。

ソリューション

サンプリング・レート 100GS/s、周波数帯域 33GHz という、世界最高クラスのオシロスコープ DSA73304D 型の導入により、単発、超広帯域、観測システムを実現。

成果

DSA73304D 型により、パルス幅 100ps 付近における単一パルスの過渡応答を正確に測定できた。それによって波長変換メカニズムの解明や最適化をはじめ、テラヘルツ光利用拡大に向けて研究に大きな弾みとなった。



■ 背景 ■

テラヘルツ光 — その性質と応用

仙台にある(独)理化学研究所のテラヘルツ光研究グループは、周波数がギガヘルツ(GHz)の 1000 倍というテラヘルツ光(あるいは電波)を研究、それを利用したシステムを開発している。この帯域の電磁波は、赤外光の性質を持つとともに、電波の性質である多くのソフトマテリアルを透過できる。さらに X 線等に比べ光子エネルギーが低いため、非破壊・非侵襲で見えないモノの中を見ることができるようになるばかりでなく、物質の判別も可能にある特徴をもつ。この特徴を利用すれば郵便局や空港などにおける内容物検査において、麻薬等の化学物質やプラスチック爆弾など金属探知機では検出できないモノを見ることができる。

テラヘルツ(THz)帯域の電磁波は波長が数百 μm に相当する。3GHz だと波長は 10cm、30GHz では 1cm、300GHz になると 1mm、3THz では 100 μm となる。自動車の衝突防止に利用されているミリ波レーダーの周波数は 77GHz、60GHz というミリ波帯。ここに無線 LAN の規格 802.11ad を利用する開発も進んでいる。一般に周波数が高ければ高いほど、データ転送速度は速くなるため、LTE の数百 Mbps から一気に 10Gbps という 5G のモバイル通信でミリ波を利用しようという動きがある。テラヘルツのレベルだと、データレートは数百 Gbps が可能になり、通信トラフィックの混雑問題を解決する技術ともなりうる。

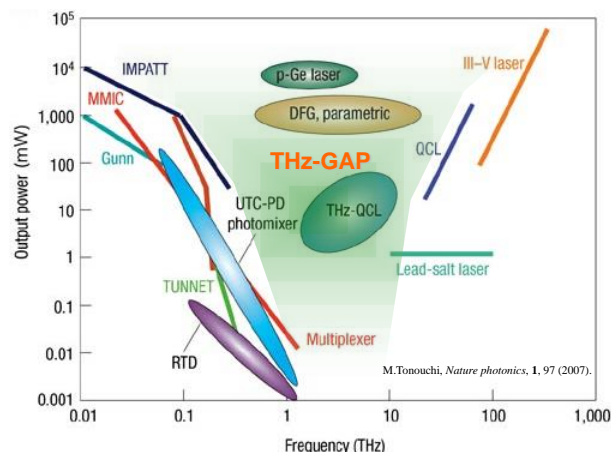
またサブミリ波に適した観察物は、大型分子の高次構造やたんぱく質の立体構造を探るツールとしても期待されている。

33GHz・100GS/s のオシロスコープで、周波数純度の高いテラヘルツ光を発生・検出・利用

独立行政法人 理化学研究所 光量子光学研究領域 テラヘルツ光研究グループ テラヘルツ光源研究チーム



理化学研究所 光量子光学研究領域 テラヘルツ光研究グループ
テラヘルツ光源研究チーム 林 伸一郎 氏



テラヘルツ帯域におけるコヒーレント光源の出力

■ 研究の課題 ■

「テラヘルツ・ギャップ」

テラヘルツ光は電波としてみると非常に高い周波数であるサブミリ波の一部を含み、光としてみると周波数の低い遠赤外の一部を含む中間領域の電磁波である。このため、テラヘルツ光はどちらの技術を用いても、簡便な発生および検出手法に乏しく、テラヘルツ・ギャップと呼ばれていた。

理研のテラヘルツ光源研究チームの林 伸一郎氏は、テラヘルツ光の発生および検出に光側の技術である非線形光学結晶による波長変換を用いて実現している。波長 1064nm の近赤外レーザー光のエネルギーをニオブ酸リチウム (LiNbO₃) 結晶へ照射し、誘導ラマン散乱過程を利用して、1070nm の赤外光とテラヘルツ光に分割し、増幅することによって高効率な波長変換を行っている。高輝度テラヘルツ光の発生および高感度検出を行う手法であり、パラメトリック波長変換と呼ばれている。

ただし、競合する非線形過程がたくさんあるため、パラメトリック波長変換に優先的にエネルギーが使われるように、照射するレーザー光の強度やパルス幅、結晶の大きさ、入射波長、入射角などによって波長変換が高効率に行われるように調整する。高輝度(狭線幅・高出力)テラヘルツ光発生のためには、長いパルス幅(>10ns)を持つ高輝度レーザー光の利用が有効だが波長変換の競合過程を強く誘起するため、数100ps 程度のパルス幅をもつレーザー光を用い、正確に計測することが要求されていた。

「パルス・ギャップ」

一般に、ナノ秒程度のパルス幅をもつ光パルスを単一で正確に計測する手法は比較的容易である。我々が以前用いていた 15ns 程度のパルス幅を持つレーザー光の場合、検出器およびオシロスコープともに 1GHz 程度までの帯域があれば十分である。また、超短パルスレーザーと呼ばれるピコ秒程度以下のパルス幅を持つレーザー光の場合、単一パルス直接計測はもはや不可能であり、その発生原理に基づいて自己相関測定から、つまり多数のパルス列に時間遅延を与えて一つの波形として出力するサブナノ秒領域は「パルス・ギャップ」領域とよばれ、どちらの測定方法も簡単には適応できない領域であった。

現在、我々は 500ps 程度のパルス幅をもつレーザーを励起光源として波長変換を行っており、変換後のパルス幅は 100ps 程度となる。この単一パルスの正確な波形計測はテラヘルツ光の発生時には最適化やピーク強度計測に重要であるばかりでなく、検出時には最小検出可能エネルギーを決める重要なパラメーターであり、この時間領域における試料との相互作用の時間的過渡応答が観測できれば研究上新たな知見をもたらす可能性があると考えられる。

100ps 程度以下の時間領域における単一パルス波形計測は、測定上の制約もあり実現が難しかったのですが、テクロニクスから提案された 33GHz、100GS/s のオシロスコープを使用してみると、予想以上にきれいなパルスと波高値が確認できたので、感動しました。

理化学研究所 林 伸一郎氏

33GHz・100GS/s のオシロスコープで、周波数純度の高いテラヘルツ光を発生・検出・利用

独立行政法人 理化学研究所 光量子光学研究領域 テラヘルツ光研究グループ テラヘルツ光源研究チーム

■ 測定のソリューション ■

超広帯域と高サンプル・レート、低ノイズが必要

しかも、林氏が見たい波形は単一パルスである。理化学研究所の同氏の研究チームには、対応可能な広帯域オシロスコープは持っていなかった。同氏の見積もりでは、周波数帯域が10GHz程度であればパルス幅100psの単一パルスの時間波形を正確に測れるだろうと考えていた。テクトロニクスにその旨を相談したところ、10GHzでは不十分で、最低でも20GHz程度の周波数帯域、さらに単発取り込みということで、可能な限り高速のサンプル・レートが必要だと言われた。

テクトロニクスは、これらの条件を考慮した上で、最高周波数帯域33GHz、サンプル・レート100Gサンプル/秒と高速に波形を補足でき、しかも業界最高レベルの低ノイズを実現した DSA73304D 型オシロスコープによるデモを提案した。

■ 成果と展望 ■

測定器はそろった、THz 応用に期待

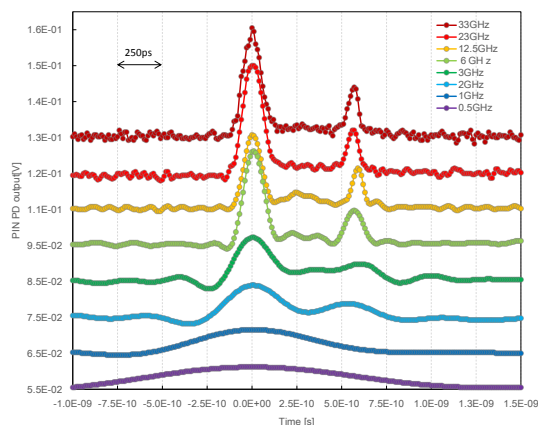
林氏はテクトロニクスが提供する33GHzの DSA73304D 型オシロスコープを試してみた。33GHzでの測定では、パルス幅110psのきれいな単発パルスを観測できた。想像していたよりもはるかに正確な時間波形が測定可能であることが一目瞭然に確認できた。DSA73304D 型の広周波数帯域、高速サンプル・レート、低ノイズ性能の明確な成果である。同機種の帯域制限機能を使い帯域制限したところ、当初予定していた10GHzでは正確に測定できないことも確認できたばかりでなく、この帯域があれば今後さらなる高速時間応答計測が必要になった場合においても対応可能であるとの見通しを立てることができた。

DSA73304D 型の導入にあわせ、検出器としてもパルス幅100ps程度の単一パルスの時間波形を正確捉えるため、近赤外光用およびテラヘルツ光用にそれぞれ、超高速に応答できる高速検出器も揃えた。これから本格的な計測が始まる。

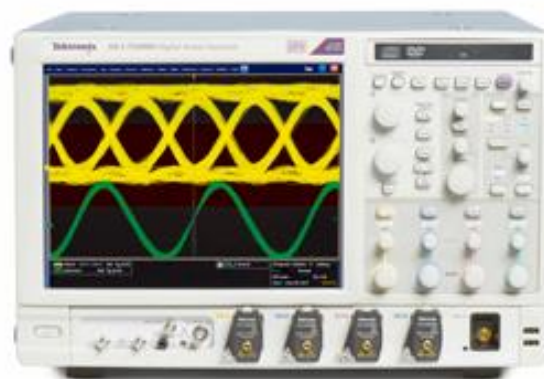
この正確な測定方法により、テラヘルツの利用拡大に向けて研究に大きく弾みがつく。例えば、超高輝度テラヘルツ光源や超高感度テラヘルツ光検出手法に関する研究や、これらを用いたテラヘルツ光帯域における非線形光学、サブナノ秒領域におけるテラヘルツ光と試料の過渡応答等この分野における新しい分野を切り開く強力な計測ツールとなり得ると同氏は期待している。



波長変換後の単一光パルス時間波形計測例



波長変換後の単一光パルス時間波形計測例のオシロスコープ帯域制限依存性



DSA73304D 型デジタル・フォスファ・オシロスコープ