

成果報告書

「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」
(光利用技術の開発)

平成23年5月

国立大学法人京都大学

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立大学法人京都大学が実施した平成22年度「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」（光利用技術の開発）の成果を取りまとめたものです。

平成22年度成果報告書

課題名：「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」

業務名：(光利用技術の開発)

実施機関：国立大学法人京都大学

1. 委託業務の目的

レーザーとリング型加速器を用いてテラヘルツ領域及び真空紫外・軟X線領域の極短パルス光、大強度コヒーレント光を生成する技術を確立し、これら従来のシンクロトロン光にない特質をもった光の利用技術を開拓することを目的とする。

このため、大学共同利用機関法人自然科学研究機構分子科学研究所及び国立大学法人名古屋大学、国立大学法人京都大学と共同で業務を行う。国立大学法人京都大学では、光利用装置に関わる研究開発を実施する。

2. 平成22年度（報告年度）の実施内容

2.1 実施計画

コヒーレントテラヘルツ光利用技術の開発

レーザーと電子ビームを用いて生み出される極短パルスシンクロトロン光、コヒーレントシンクロトロン光の利用の具体化に向けた技術的な検討を進める。テラヘルツ領域でのコヒーレント光の利用に関する近接場イメージング技術の開発に向けて、京都大学原子炉実験所の直線加速器を用いて、テラヘルツ近接場分光の予備実験を行い近接場プローブ及び光学系の性能評価を行う。今年度は、透過型プローブ、反射型プローブともに、さらに空間分解能を向上させるためのプローブ形状の設計、評価を行う。設計のポイントは、テラヘルツ光の吸収が小さい誘電体（TPX、結晶水晶など）を用いて円錐状チップを作成し、先端のみを残してその表面を金属蒸着する。評価方法としては、直線加速器からのテラヘルツ帯コヒーレント遷移放射を光源として、市販のテストターゲットを測定試料として走査することにより空間分解能の測定を行う。また、テラヘルツ波の直接電場観測を可能にするための、電気光学素子（E0素子）を用いた光検出方法（E0検出）の設計、評価を行う。設計のポイントはレーザーを用いず、テラヘルツ遷移放射を発生するのと同じ電子バンチからの可視領域チェレンコフ放射を用いる点である。評価方法としては、まず可視チェレンコフ放射をバンドパスフィルター、E0素子、ウォラストンプリズムに通し、フォトダイオード2個からなるバランス検出器で測定する。次にE0素子に時間遅延をかけたテラヘルツ遷移放射を照射し、バランス検出器の相対強度変化からテラヘルツ波の電場を復元できるかを調べる。

2.2 実施内容

コヒーレントテラヘルツ光利用技術の開発

テラヘルツ領域でのコヒーレント光の利用に関する近接場イメージング技術の開発に向けて、京都大学原子炉実験所の直線加速器を用いて、回折限界以下の微小領域におけるテラヘ

ルツ近接場分光の予備実験を行い、近接場プローブ及び光学系の性能評価を行った。設計のポイントとして、テラヘルツ光の吸収が小さいテフロンを用いて円錐状チップを作成し、先端のみをピンホール状に残してそれ以外の部分の表面に銀ペーストを塗布し照射プローブとした。評価方法としては、直線加速器からのテラヘルツ帯コヒーレント遷移放射を光源とし、厚さ $100\ \mu\text{m}$ のマイラー上に貼りつけたアルミ箔のエッジを空間分解測定試料とした時の透過強度とスペクトルを測定した。コヒーレント放射は広帯域の白色光源のため、これまでではスペクトル分布のピーク波長における空間分解能のみを議論してきたが、今回は初めてスペクトル分布内の各波長における空間分解能を測定した。スペクトル測定に使用するのは Martin-Puplett 型のフーリエ変換干渉分光計であるため、ある単一波長に固定して試料エッジを走査するのではなく、試料エッジをある空間位置に固定し、その場所でのスペクトルを測定した後、次の空間位置まで試料エッジを走査し再びスペクトル測定する手法をとった。得られたデータを並べ替えることにより、波長ごとの 1 次元走査データを作り、受光強度の立ち上がり部分を微分し幅を求めることにより空間分解を調べた。結果を第 1 表に示す。

Table 1. Dependence of spatial resolution power with wavelength

Wavenumber ν (cm^{-1})	Wavelength λ (μm)	Spatial Resolution Δx (μm) (2σ of Gaussian-fit)	Spatial Resolution Power $\lambda/\Delta x$ (μm)
3.70	2700	371	7.3
4.94	2025	360	5.6
6.17	1620	341	4.8
7.41	1350	292	4.6
8.64	1157	243	4.8
9.88	1012	226	4.5
11.1	900.1	214	4.2
12.4	809.7	204	4.0
13.6	736.4	195	3.8
14.8	675.2	195	3.5
16.1	623.1	192	3.2
17.3	578.7	183	3.2

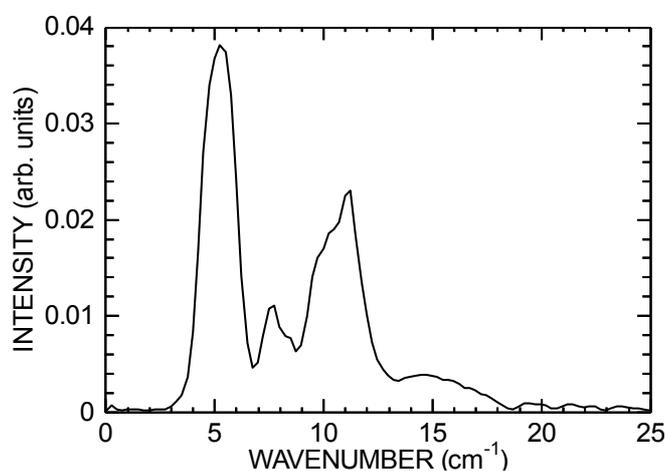


Fig.1 Observed spectrum of transmitted THz wave.

その結果、 $3.7\text{cm}^{-1}\sim 17.3\text{cm}^{-1}$ のスペクトルに対して、 $\lambda/\Delta x = 7.3\sim 3.2$ の空間分解能が得られた。長波長ほど高い空間分解能になっていることを初めて実験的に明らかにした。また、第1図に観測されたスペクトルを示すが、 5cm^{-1} と 10cm^{-1} 付近に大きなピークのある構造をもっており、今回使用したテフロン製の円錐プローブ内部での干渉によるものと推定される。従って、固体誘電材料を近接場分光のプローブとして用いる場合には、その形状を工夫しなければ広帯域分光への使用が難しいことも新たにわかった。

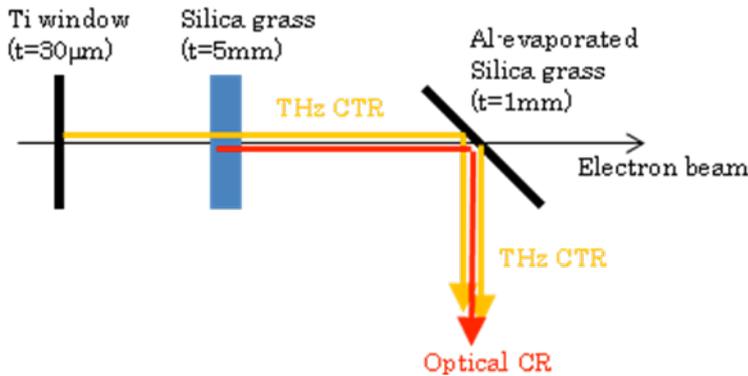


Fig.2 Schematic layout around the radiation source.

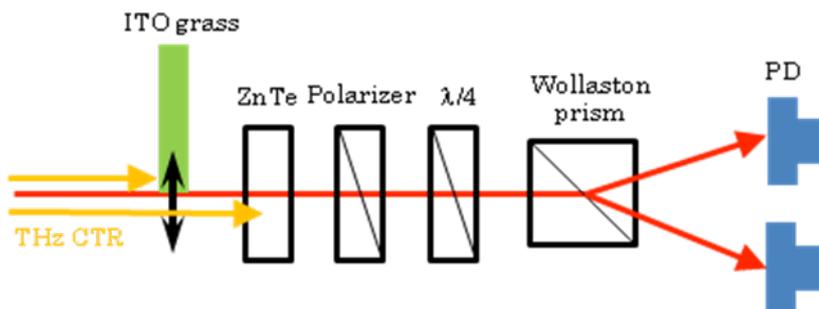


Fig.3 Schematic layout of EO sampling.

次に、テラヘルツ波の直接電場観測を可能にするための、電気光学素子（EO 素子）を用いた光検出方法（EO 検出）の設計、評価を行った。これは、EO 素子にテラヘルツ波が照射される際、ポッケルス効果により生じる複屈折を利用する検出方法である。設計のポイントは、通常使用する短パルスレーザーを用いず、テラヘルツ遷移放射を発生すると同一の電子バンチからの可視領域チェレンコフ放射を用いる点であり、チェレンコフ放射の放射体として厚さ 5mm の石英基板を用いた。第2図に示すように、真空窓としての Ti 箔、及び光取り出しのためのアルミ蒸着石英鏡で発生するテラヘルツ遷移放射も同じ光路を通して導かれる。評価方法としては、第3図に示すように、可視チェレンコフ放射を、バンドパスフィルター、EO 素子である ZnTe 基板、ウォラストンプリズムから成る光学系を通し、可視光を透過しテラヘルツ光を反射する特徴を持つ ITO ガラスを光路上に出し入れし、ZnTe へのテラヘルツ光照射の有無による可視光検出強度の変化を、バランス検出器とロックインアンプで測定した。その結果、検出強度は $4\sim 5\mu\text{V}$ と小さいものの、テラヘルツ光照射の有無で 13.3%の相対強度変化を観測することができた。

2.3 成果の外部への発表

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
反射型テラヘルツ近接場分光装置のCTRを光源とした性能評価（ポスター）	高橋俊晴、飯塚拓也、木村真一	第24回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム	平成23年1月	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別

2.4 活動

該当なし

2.5 実施体制

別表1の通り。

別表1 平成22年度に於ける実施体制

研究項目	担当機関等	研究担当者
コヒーレントテラヘルツ光利用技術の開発	京都大学 原子炉実験所 京都大学 原子炉実験所	◎ ○ 高橋 俊晴 佐藤 信浩