

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22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21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21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21年度（報告年度）の実施内容

2.1 実施計画

①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。特に今年度は反射型プローブについて設計、評価を行う。設計のポイントは、集光効率を上げるためプローブ内面を放物面の形状（Winston Cone）にすること、及び、反射光を取り出す方法として、ビームスプリッターを使う方式と、同軸形状のプローブを使う方式を採用することである。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、測定試料を金属ミラーとしたときの反射強度とスペクトルを測定するとともに、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、分子科学研究所 UVSOR 加速器からのテラヘルツ光取り出しビームラインに関する基本設計を分担して行う。

2.2 実施内容

①コヒーレントテラヘルツ光利用技術の開発

一つ目の実施項目として、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反射型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。第1図に、集光効率を上げるために新たに製作した JIS フランジ付前置プローブを



Fig.1 Winston cone for the illumination probe.

示す。内面は放物面形状 (Winston Cone) であり、入口口径 50mm、長さ 60mm、出口口径 10mm となっている。次に、反射型近接場分光における反射光の取出し方法として、ビームスプリッターを使う方式と、同軸形状のプローブを使う方式を評価した。

まず、ビームスプリッター方式の光学系の模式図を第 2 図に示す。照射プローブは、先端に $775\mu\text{m}$ のピンホールを持つ銅製の円錐を上記の前置プローブに取り付けて用いた。干渉計と集光室の間にマイラー薄膜のビームスプリッターを設置

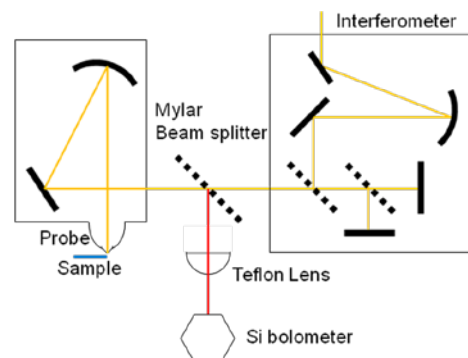


Fig.2 Schematic layout of the beam-splitter type.

し、照射プローブからの反射光を Si ボロメータ検出器側に取出して測定した。ビームスプリッターを設置する場所は平行光束となっているため、検出器への集光にはテフロンレンズを用いた。測定したスペクトルを第 3 図に示す。青線は照射サンプルとしてステンレス製ミラー (厚さ $300\mu\text{m}$) を使用した場合、黒線はサンプルがない場合である。サンプルがない場合も 75%程度を受光強度が残っているが、ピンホール先端まで達せず照射プローブの途中で反射する成分である。従って、照射サンプルにより反射された成分のスペクトルは両者の差に相当する図中の赤線のようになり、 5.7cm^{-1} 付近にピークを持ち $4\sim 9\text{cm}^{-1}$ にかけて分布していることがわかる。

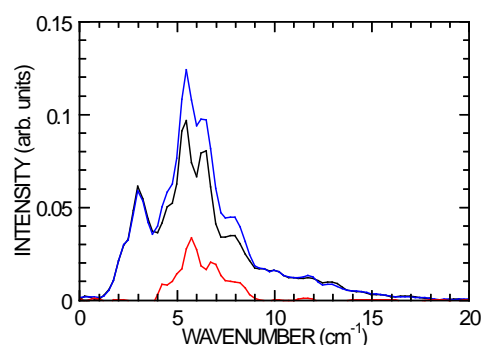


Fig.3 Observed spectra of reflected radiation on the beam-splitter-type setup.

次に、照射サンプルのエッジの一軸スキャンにより空間分解を測定した。結果を第 4 図に示す。第 5 図はその 1 階微分である。微分図形の幅が空間分解に対応しており、ガウス分布をフィッティングした結果 $396\mu\text{m}$ が得られた。スペクトル分布を考慮すると空間分解能は $\lambda/4.4$ と評価された。この値は平成 20 年度に得られた透過型の場合と同等の空間分解能である。

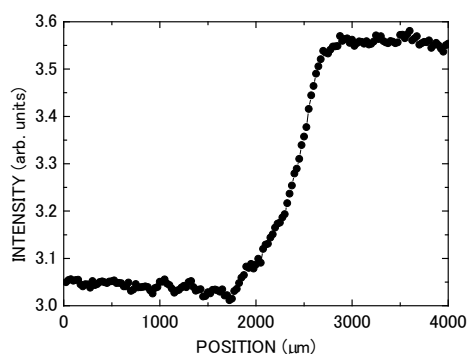


Fig.4 Scan of a SUS-plate edge.

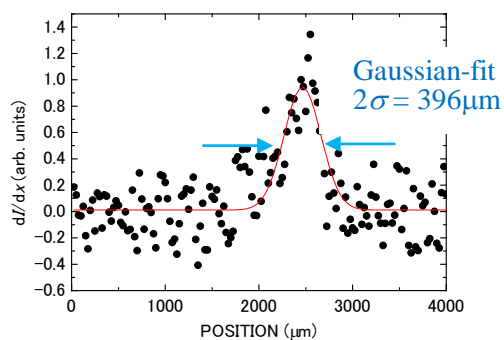


Fig.5 First derivative curve of Fig.4.

次に、同軸プローブ方式の光学系の模式図を第 6 図に示す。前置プローブの中心軸上に銅製ライトパイプ (外径 12mm 、内径 10mm) を設置し、ライトパイプの先端に、 $775\mu\text{m}$ のピンホールを持つ銅製の円錐を取り付けて集光プローブとした。すなわち、前置プローブに沿って入射したテラヘルツ光がサンプルの比較的大きな面積に

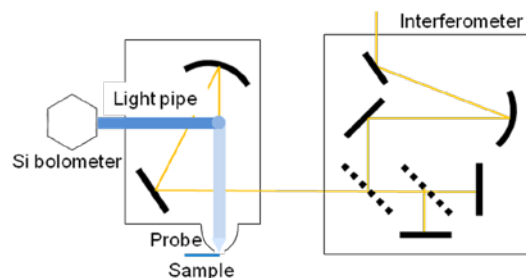


Fig.6 Schematic layout of the light-guide type.

照射されるが、近接場集光プローブ先端で反射された光のみがライトパイプを通して検出器に導かれる。測定したスペクトルを第 7 図に示す。青線は照射サンプルとしてステンレス製ミラー（厚さ $300\ \mu\text{m}$ ）を使用した場合、黒線はサンプルがない場合である。サンプルがない場合も迷光成分が 30%程度残っており、照射サンプルにより反射された成分のスペクトルは両者の差に相当する図中の赤線のようになる。すなわち、 6.7cm^{-1} 付近にピークを持ち $1\sim 15\text{cm}^{-1}$ にかけて分布している。次に、照射サンプルのエッジの一軸スキャンにより空間分解を測定した。スキャンの結果を第 8 図に、その 1 階微分を第 9 図に示す。微分図形にガウス分布をフィッティングした結果 $324\ \mu\text{m}$ の空間分解が得られた。第 7 図のスペクトル分布を考慮すると空間分解能は $\lambda/4.6$ と評価され、ビームスプリッター型配置の場合と同等の空間分解能が得られた。

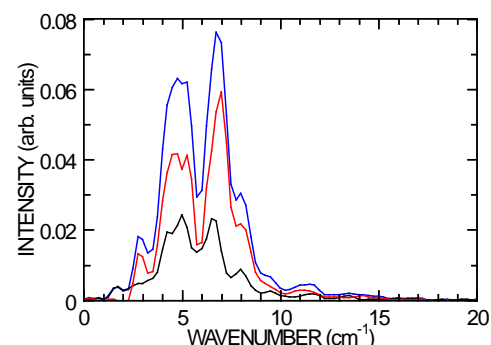


Fig.7 Observed spectra of reflected radiation on the light-guide-type setup.

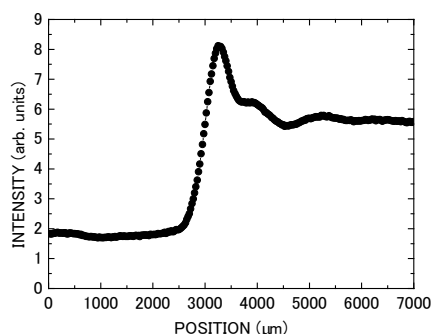


Fig.8 Scan of a SUS-plate edge.

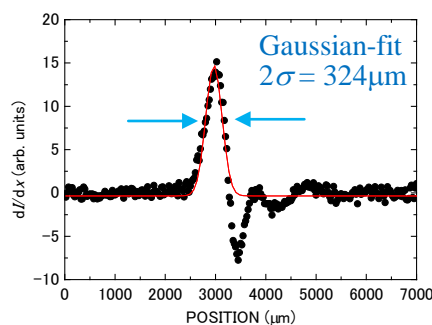


Fig.9 First derivative curve of Fig.4.

以上より、ビームスプリッター型、同軸型ともに波長以下の空間分解能で分光できることが明らかになった。

二つ目の実施項目として、UVSOR に設置予定のテラヘルツ光取り出しビームラインに関する基本設計を分担して行った。平成 20 年度の事業で透過率の有利性から窓材の候補に挙がっていた TPX 及び Tsurupica についてさらに調査を行った。その結果、両窓材ともに高分子樹脂であるためガス放出の観点から超高真空には適さず、さらに TPX は紫外線の暴露により劣化が進行することが判明した。従って、蓄積リング側とビームライン側の取り合い部分の窓材については、既存の赤外ビームラインで実績のあるダイヤモンドを使用することとした。

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
テラヘルツ近接場分光技術開発におけるコヒーレント遷移放射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23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22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21年度に於ける実施体制

研究項目	担当機関等	研究担当者
① 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