

## 量子エレクトロニクス教室

1 2 電子原子 Ba の高励起状態  $5d6p^1D_2$  における Stark effect

須藤 佳典

本研究では、2 電子原子 Ba の  $6s5d^1D_2 - 5d6p^1D_2$  遷移(遷移波長  $\lambda = 855.9998\text{nm}$ )を、高分解能レーザー分光装置を用いて調べた。レーザと原子線の相互作用領域に一様な外部電場を印加させることによって、シュタルク効果によるスペクトルシフト・分岐の観測を行なった。今回の遷移では、非常に低い値の電場でシュタルク効果の観測を行うことができた。測定した偶同位体  $^{136}\text{Ba}$ ,  $^{138}\text{Ba}$  のスペクトルのシフト・分岐から、上準位  $^1D_2$  のテンソル分極率を、 $\alpha_t = -4.885 \pm 0.014 \text{ MHz}/(\text{kV}/\text{cm})^2$ 、同遷移のスカラー分極率を  $\alpha_s(5d6p^1D_2) - \alpha_s(6s5d^1D_2) = -4.47 \pm 0.08 \text{ MHz}/(\text{kV}/\text{cm})^2$  と決定した。

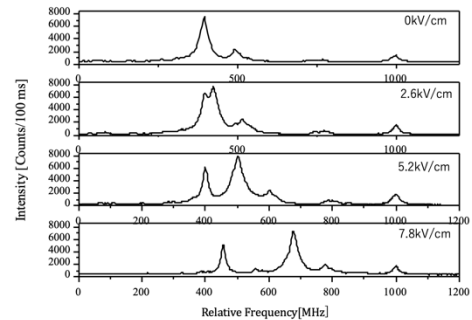


図 電場によるシュタルクスペクトル

2 Ba の  $5d6p^1D_2$  高励起状態におけるシュタルク効果の研究

春山 拓真

Ba 原子の  $5d6p^1D_2$  高励起状態のシュタルク効果の研究はまだ報告されていない。本研究では、2 電子原子系である Ba の  $6s5d^1D_2 \rightarrow 5d6p^1D_2$  遷移について外部共振器型半導体レーザーを用いて、高分解能レーザー分光法によりシュタルク効果を調べた。電場を最大  $7.81 \text{ kV}/\text{cm}$  印加し、スペクトルシフトとスペクトルの分岐を測定した。本実験から観測した  $6s5d^1D_2 \rightarrow 5d6p^1D$  のスペクトル分岐よりテンソル分極率を  $-4.885 \pm 0.014 \text{ MHz}/(\text{kV}/\text{cm})^2$ 、スペクトルのシフトよりスカラー分極率を  $-4.47 \pm 0.08 \text{ MHz}/(\text{kV}/\text{cm})^2$  と決定した。

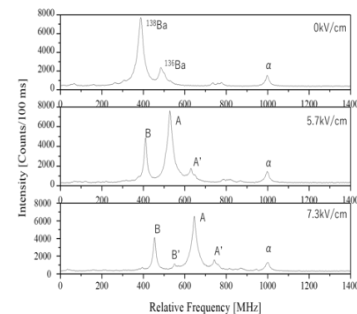


図 実際に観測したシュタルクスペクトル

## 3 マイクロビーム生成用ガラスキャピラリー内部の量子ビーム拡がりの測定及び制御法の開発

稲吉 琴子

放射線生物学では、細胞核内に局在する DNA の二本鎖切断を効率的に誘発させるためにイオンマイクロビームを使用する。我々はテーパー型ガラスキャピラリー光学系によるマルチ量子マイクロビーム照射法を開発しており、照射用 MeV イオンと照準用可視光レーザーの同時使用が可能となる。ビーム径最小化のため、キャピラリー内でのビーム輸送に着目し、レーザーにおいてはキャピラリー内壁での鏡面反射に起因する大きなビーム拡がり成分の測定方法、および、イオンビームにおいては内壁での散乱の原因となる拡がり成分そのものの抑制方法を開発した。

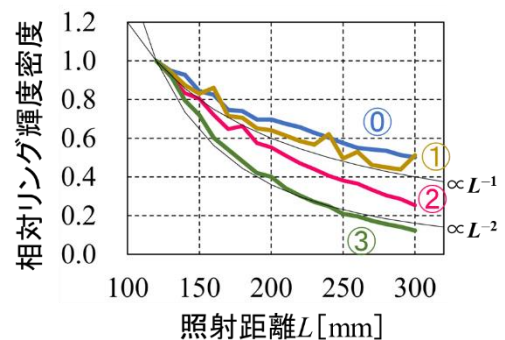


図 透過縞リング輝度密度と照射距離の関係

#### 4 ガラスキャピラリーによるレーザーマイクロビームプロファイル・透過縞の測定

小野 敬祐

テーパー型ガラスキャピラリーによるレーザーマイクロビームを評価するためにビームプロファイルの測定が必要不可欠である。本研究ではレーザーマイクロビームプロファイルの測定方法として画像測定法とパワー密度測定法を開発した。円形開口を用いて透過縞を測定しフラウンホーファー回折の理論計算と比較し評価を行った。評価の結果、パワー密度測定法で得られた測定値は計算値とわずか 2 %程の差で一致していることを確認した。この測定方法で出口径の異なる 4 本のキャピラリーのビームプロファイルの測定を行い、各リングの相対強度は出口径が大きくなると減少することを見出した。

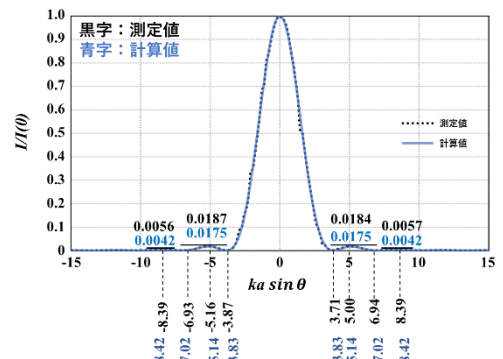


図1：パワー密度測定（水平方向）とフラウンホーファー回折計算との比較  
点線：測定値、実線：計算値

#### 5 曲がったガラスキャピラリーを用いたレーザーマイクロビームの形状依存性の研究

神津 雄哉

テーパー型ガラスキャピラリー光学系にレーザービームを通過させることで、レーザーマイクロビームを生成することができる。本研究は波長 405 nm のパルスレーザーを曲がったキャピラリー(出口内径約 30  $\mu\text{m}$ )に透過させ、出射されたマイクロビームの最大出力パワーを、キャピラリーを回転させることにより測定し、透過縞の撮影も行った。9 本のキャピラリーを用いて出力パワーから透過率を求めた結果、曲がり角が大きくなるにつれて透過率が減少することがわかった。

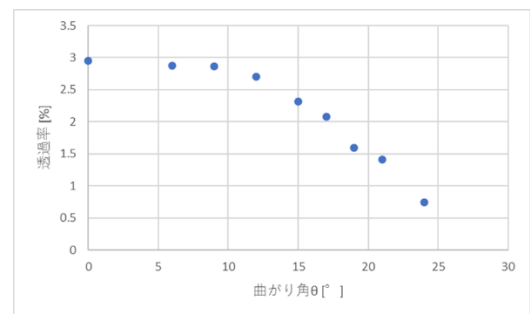


図 曲がり角  $\theta$  と透過率の関係

#### 6 クラスターストックアウトのための荷電粒子用シリコンストリップ検出器の開発

樋口 浩志

従来の陽子と中性子を構成要素とする原子核モデルでは説明できない現象が多々ある。本研究では核子が集合体として存在する核内クラスターに注目し、原子核の構成要素にどのようなクラスターが存在するかを解明する。そこで重い原子核ビームを用いた、逆運動学クラスターストックアウト反応の実験を計画し、放出される荷電粒子を測定するテレスコープアレイの開発を行う。

本論文では、構成する検出器としてシリコンストリップ検出器を想定し、位置やエネルギー検出器としての要求性能を議論し、荷電粒子ビームを用いた実験で性能評価を行なった。結果 97.5%の位置特定効率と、右図に示すように、粒子識別可能なエネルギー分解能での検出に成功した。

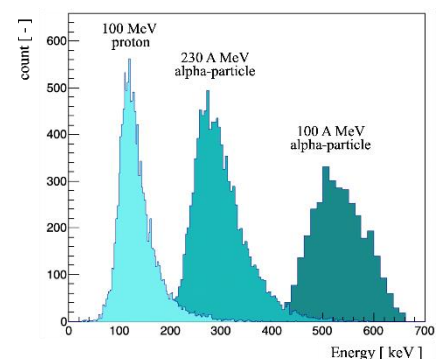


図 シリコン結晶中での各種ビームによるエネルギー損失スペクトル

## 7 ガフクロミックフィルムの線量応答特性における粒子種依存性に関する研究

川口 太陽

本研究は Gafchromic EBT3 Film の粒子種依存性の有無を炭素、酸素、ネオンの 3 つの線種を用いて検証を行った。モンテカルロ計 PHITS と SRIM を用いて、線エネルギー付与(LET)を計算した。実験では、Advanced Markus と呼ばれる電離箱で測定した線量と、Gafchromic EBT3 Film に照射した線量の比 RE を算出した。

Gafchromic EBT3 Film の粒子種依存性について、LET と RE のグラフから、Gafchromic EBT3 Film の粒子種依存性はあることが明らかになった。また、LET のほかに lineal energy という量を用いて RE との関係性を調べた。結果として、LET で補正するよりも Lineal Energy で補正することにより粒子種依存性を緩和できるということが明らかになった。

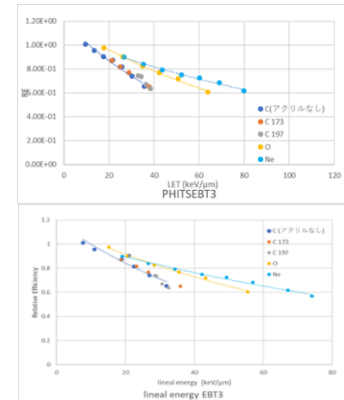


図 (上)各粒子種での LET と RE の関係、(下)lineal energy と RE の関係

## 8 導波路型 PPLN を用いたモード同期ファイバレーザーの可視光化

石井 嵐

光周波数コムは「光の周波数のものさし」と言われており、マイクロ波周波数標準に基づいた光周波数の高精度な計測が可能な高度レーザー技術である。光周波数コムを、原子や分子の電子遷移が多数存在する可視波長域において発生することができれば、高精度・広帯域・高速な分光測定の実現が期待できる。本研究では、高い信頼性を有する波長 1.55  $\mu\text{m}$  のモード同期 Er ファイバレーザーを用いた可視光コムの発生を目的とする。モード同期 Er ファイバレーザーの出力を光ファイバ増幅器と高非線形光学ファイバを用いてスペクトル拡大を行った後、導波路型 PPLN 非線形光学結晶に入射した。その結果、可視波長域 400~800 nm において広く分布する光周波数コムの発生に成功した。

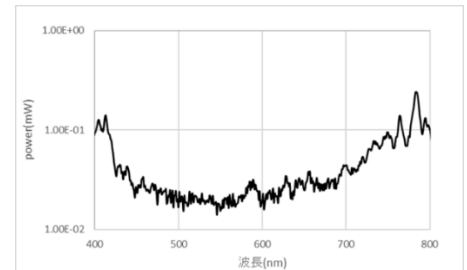


図 導波路型 PPLN によるモード同期 Er ファイバレーザー可視光化時の光スペクトル

## 9 天文コムの実現に向けた高繰り返しファイバコムの開発

松本 匡史

太陽以外の星をめぐる惑星を探し、どのような世界が広がっているか明らかにする「系外惑星探索」を実現する手法として、天体の視線速度精密測定法(ドップラー法)がある。ドップラー法では、恒星から届く光に含まれる原子分子の吸収線の波長のドップラー効果による変化を精密に測定する。ドップラー法では、波長測定精度が、検出可能な惑星の質量の大小を決める。そのために、波長標準に光コムを適用する「天文コム」を開発し、ドップラー法の波長測定精度の向上を目指す。本研究では、高い信頼性と実用性を有するモード同期ファイバレーザーによる光コムの高繰り返し化に取り組み、繰り返し周波数 272 MHz での光コムの発生を実現し、Rb マイクロ波周波数基準への位相同期に成功した。

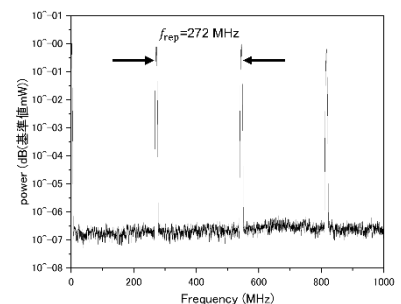


図 繰り返し周波数 272 MHz の周波数スペクトル

## 10 光コムを用いたマイクロ波-超短パルス光超高精度タイミング検出手法の開発

吉田 和輝

ポンプ・プローブ分光法は、ポンプ光である超短パルスレーザー光を資料に照射すると、励起状態に遷移し資料の誘電率が変化する。その誘電率の変化をプローブ光の透過率変化で観測するものである。その際、自由電子レーザー (XFEL) である SACLA をプローブ光として用いる研究が行われている。しかし、XFEL のパルス幅が 10 fs 以下であるが、ポンプ光と XFEL のタイミング同期の安定性は 30 fs 程度であり、時間分解能の制限となっている。本研究では、光コムを利用したマイクロ波-超短パルス光長高精度タイミング検出手法を開発する。光コムの繰り返し周波数に対し 100 倍高いマイクロ波周波数信号を位相変調器に印加し、マイクロ波と光パルス包絡線との位相差信号を高感度に検出することに成功した。

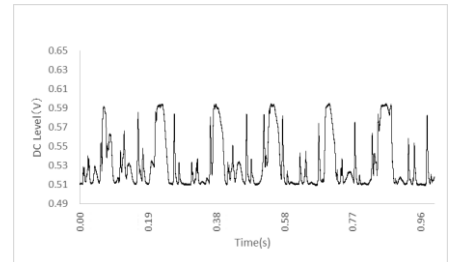


図 検出された位相差信号

## 11 双方向動作型デュアルコムファイバレーザーの開発

松田 美一

2 台の光コムを用いるデュアルコム分光法は、高速・広帯域・高分解能な分光測定が可能な手法として注目されている。一方、従来のデュアルコム分光用の光源システムは大がかりかつ複雑であるため、デュアルコム分光の使用は一部の研究グループに限定されている。この課題を解決するために本研究では、1 台のレーザーで 2 台の光コムの同時発生が可能な双方向動作型デュアルコムファイバレーザーの開発を行った。非共通部分において、4 ポートサーキュレーターを用いることで、繰り返し周波数 ( $f_{rep}$ ) が約 52MHz、繰り返し周波数の差  $\Delta f_{rep} \sim 790\text{kHz}$  での 2 台の光コムの同時発生に成功した。

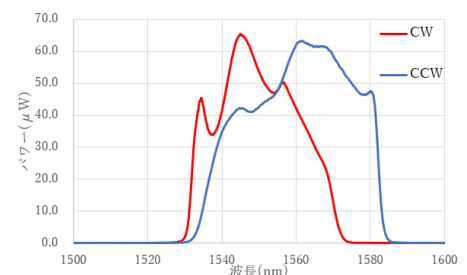
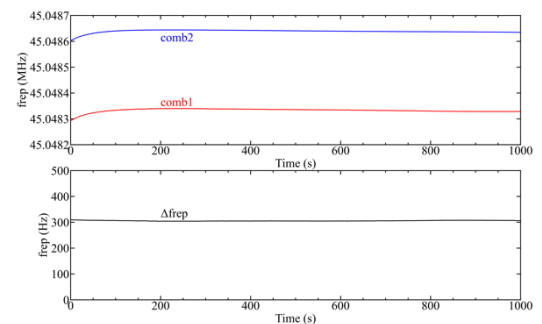


図 双方向同時モード同期時の光スペクトル

## 12 Micro-optic package を用いた全偏波保持機構共有型デュアルコムファイバレーザーの開発

湯本 拓実

デュアルコム分光は、データ取得時間の速さ、分解能の高さの点で他の分光法に比べて優れていることから大きな注目を集めている。その汎用性を高めるためにデュアルコムレーザーの小型化、堅牢化を目指した。Micro-optic package を用いた SESAM 集光光学系、WDM カプラ、部分反射ミラーで構成することにより小型化し、全偏波保持構成にすることで堅牢性を高めた全偏波保持型のモード同期ファイバレーザーを 2 台作成した。これらを小さな箱に密接して設置し、小型かつ簡便なあらゆる環境で動作可能なデュアルコムレーザーを開発した。

図 1000 秒間における comb1, comb2, の繰り返し周波数  $f_{rep}$ 、繰り返し周波数差  $\Delta f_{rep}$  の時間変化