

氏 名	やま ざき あつし 山 崎 淳
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3072 号
学位授与の日付	平 成 18 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Quasi-monoenergetic electron beam generation by intense short pulse laser plasma interaction (高強度短パルスレーザープラズマ相互作用による準単色電子発生)
論文調査委員	(主 査) 教 授 野 田 章 教 授 阪 部 周 二 教 授 笹 尾 登

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、従来型の高周波加速器が金属表面における放電により、加速勾配が数十 MeV/m に制限されている状況を克服し、高効率の電子ビーム加速を、高強度短パルスレーザーを気体に照射することにより、ガスをプラズマ化すると同時に加速場を励起し、電子を加速するレーザープラズマ加速により実現することを目指して遂行された。本研究ではこのレーザープラズマ加速を用いて加速を行うのみでなく、電子源としても用いるプラズマカソードと呼ばれる方式を採用し、2004年以来世界各地から報告されている準単色電子ビーム発生に関して、その機構を詳細に調べることに初めて成功している。

まず、1.2mm×4mm の間口のスリットノズルからマッハ5で噴き出したヘリウムガスジェットターゲット（ノズル出口での最高密度 $6 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ）に、5TW, 70fs の Ti:Sapphire Laser を焦点距離 326.7mm の短焦点光学系を用いて径 $10\mu\text{m}$ (FWHM) に集束して照射し、プラズマ密度: $3.8 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ の条件で永久磁石とイメージングプレートを組み合わせた電子スペクトロメータにより、 $3.7 \times 10^{18}\text{W}/\text{cm}^2$ 及び $5.5 \times 10^{18}\text{W}/\text{cm}^2$ の集光強度に対してそれぞれ 19.1MeV 及び 26.7MeV の位置に準単色電子生成が行われる場合の存在を確認している。この場合1500ショットで3~4fC の電荷量の電子が準単色ピークに生成されることを観測している。ついでこの過程に関して Particle in Cell (PIC) のシミュレーションを行い、レーザーのメインパルスがガスターゲットに到着する前に、プリパルスによってガスターゲットがプラズマ化されると同時に、密度分布に変調が加えられ、この変調により局所的に生じる急峻な密度勾配の存在する場所において、電子のレーザー航跡場への瞬間的な入射が行われることにより準単色の電子が生成されるのではないかと推論を行っている。

上記の結果に基づき、プリパルスがプラズマに対して与える変調を詳細に調べる目的で、プラズマ計測系を充実させ、より高出力の 11TW, 37fs の Ti:Sapphire Laser を焦点距離 178mm の短焦点光学系で $8.0\mu\text{m}$ (Full Width at $1/e^2$ of the maximum) に集束して、前記と同様のスリットノズルからのヘリウムガスジェットに照射し、レーザーの集光強度: $2.2 \times 10^{19}\text{W}/\text{cm}^2$ の条件で、より高密度の $8.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ のプラズマ密度での実験を行い、1ショットあたり全体で 10pC 程度の電荷量の電子を生成し、シャードーグラフ、シュリーレン及び干渉法を併用してプラズマ密度の空間分布の計測を行い、11.5MeV 近辺に準単色電子のピーク形成が起こる場合の存在を確認している。また、こうした計測を通じて、準単色の電子生成が行われる場合には、ナノ秒スケールの幅のプリパルス（メインパルスより 150ps 程度前に到達、コントラスト比は 5×10^{-7} ）に起因する、「キャビティー」と申請者が称している特別な密度分布が形成され、この「キャビティー」中に、メインパルスの 1ps 程度前に到達するピコ秒スケールのプリパルス（コントラスト比: 10^{-3} ）による「チャンネル構造」が出来てメインパルスを収束、発散を繰り返しながら、ガイディングしていることを世界的に見ても初めて明らかにしている。また、これと並行して、申請者は PIC シミュレーションにおいても、レーザー航跡場への電子の瞬間的な入射が起こり、準単色の電子ビームが発生する場合には、このチャンネル中で収束・発散が繰り返されることの確認を行っている。

論文審査の結果の要旨

本研究は、近年世界的に注目を集めている高強度短パルスレーザーによるガスジェットターゲットからの準単色電子発生メカニズムを解明するという意欲的な試みであり、まず電力中央研究所の5TW、70fsレーザーを用いて、比較的プラズマ密度の低い($3.8 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)条件で、照射実験を行い、19.1MeV及び26.7MeVに準単色電子生成が起こる場合について、PICを用いた計算機シミュレーションを駆使して、プリパルスによるプラズマ密度の変調が局所的な密度勾配を作り出し、この部分に電子が瞬間的に入射されることにより、準単色の電子が生成されるという発生メカニズムの説明に到達している。

上記の考えを実験的に裏付けるため、東大大学院・工学研究科、原子力専攻の11TW、37fsレーザーを用いて、より高密度($8.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$)のプラズマ密度での実験を遂行し、シャドウグラフ、シュリーレン及び干渉法を併用したプラズマ密度の空間分布測定により、準単色電子の生成が起きるのは、メインパルスより150ps程度先行して到達するプリパルスによって、「キャビティー」と称する特別な密度分布の形成が起こり、この中にピコ秒オーダーのプリパルスによって「チャンネル構造」が形成され、メインパルスが収束・発散を繰り返しながらガイドされることによるとの知見を得ている。高強度短パルスレーザーによる準単色電子の生成は、現在では既に世界中で20程度の研究機関から報告がなされつつあるが、再現性良く安定に生成することは、いまだどこでも実現されておらず、安定な制御に向けて、準単色電子の発生機構の解明が世界的な課題となっていた。

申請者は、こうした状況に鑑み、上記のような精密な測定を遂行し、プラズマ密度の空間分布の時間変化をレーザーパルスの伝搬との関係において測定し、準単色電子ビームの生成と上記の「キャビティー」及び「チャンネル構造」の形成との関係を世界的にも初めて明らかにしている。本研究は、準単色電子の生成を再現性良く安定に行うため、このプロセスを制御するという最終目標に向けての、発生機構解明のための第一歩を踏み出すものであり、高加速勾配の実現を可能とするレーザープラズマ加速の実用化に向けても、新たな知見を付け加えたものといえる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。