Osaka University Knowledge Archive

Title	Experimental study on the power evolution of a high-intensity terahertz free-electron laser
Author(s)	藤本, 將輝
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/56061
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

様式3

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（藤本　將輝　　）	
論文題名	Experimental study on the power evolution of a high-intensity terahertz free-electron laser 大強度テラヘルツ自由電子レーザーのパワー発展に関する実験的研究

論文内容の要旨

テラヘルツ自由電子レーザー（THz-FEL）は、通常のレーザーが動作しないテラヘルツ領域で大強度単色光を発生する放射光源である。FELの高度化をさらに推進するためには、光パワーの飽和現象の物理を解明する必要がある。本研究は、増幅にともなう光パワーの発展を測定してパワー変化の定量的な指標である増幅率を求める手法を開発し、この手法を用いて実験的にFELパワー発展に関する研究を行った。FELから出力される光パルスは、光共振器中のFELパルスの一部が取り出されたミクロパルスと、FELパルスの往復によってミクロパルスが均等に並んだマクロパルスと呼ばれる時間構造をもち、マクロパルスの波形はFELパルスのエネルギー発展、すなわちFELパワー発展に比例する。このため、FELのパワー発展は一般に高速検出器を用いて測定した数マイクロ秒にわたるマクロパルス波形から求めることができるが、テラヘルツ領域における高速検出器は感度や線形応答能力に乏しく、発振から飽和にいたる広い強度領域でのパワー発展は実験的に明らかにされていなかった。

そこで、電子ビームの長さを変化させることでFELの増幅回数を変えながら発振したマクロパルスのエネルギーを、高感度かつ広い線形応答領域をもつ熱型検出器であるシリコンボロメータを用いて計測し、増幅回数についての差分からミクロパルスエネルギーを解析し、FELのパワー発展を求める。増幅率は連続したミクロパルスエネルギーの比から求められる。しかし、ミクロパルスエネルギーを求めるのに必要なマクロパルスエネルギー差分はFELの不安定性によるマクロパルスエネルギー変動に大きく影響されるため、変調分光法の概念を応用し、増幅回数を周期的に切替ながらマクロパルスエネルギーを計測し、周波数解析によって切替に同期した成分、すなわちマクロパルスエネルギー差分を直接求めることで、非周期的もしくは変調周期に同期しない変動の影響を排した測定が可能である変調測定法を構築した。この計測と解析を各増幅回数について順番に行うことで、パワー発展と増幅率の時間変化を高精度に測定することが可能となった。

実験は、大阪大学産業科学研究所に設置されたLバンド線形加速器を電子ビーム源にもつ大強度テラヘルツ自由電子レーザーを用いて行った。加速器は最も一般的に使用されるビームエネルギー15 MeV、また大強度化を実現するために開発された大電荷バンチを発生するモードで運転を行い、FEL発振器はウィグラー磁場強度を最大値に固定して、波長105 μmでFEL発振を行った。新しい手法によって、FELのパワー発展は、ウィグラー中の電子バンチがおよそ一つとなるビーム長、すなわち自発放射の強度領域から測定することができ、約8桁の領域にわたるFELのパワー発展が始めて明らかとなった。増幅率は相対誤差10%程度の精度で測定することができ、その時間変化は、高増幅率で10回ほど増幅を繰り返した後、低下して共振器損失に近い値に達する様子を示した。また、この測定を光共振器長を変えながら行い、増幅率の変化を追った。光パルスの往復と電子バンチの繰り返しが同期する完全同期長から光共振器長を短くするにつれて、増幅率は増加するが増幅率の低下が急速に生じ、光共振器長短縮量のもっとも大きい動作点では、増幅率は発振が始まると同時にすぐに急落し、再度増幅率が回復する様子を示した。これは、光パワーの飽和現象が、パルス動作をする電子ビームとFEL光の相互作用領域の変化に依存していることを示唆している。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　藤　本　將　輝　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教 授	磯山　悟朗
	副 査　教 授	久野　良孝
	副 査　教 授	岸本　忠史
	副 査　教 授	福田　光宏
	副 査　准教授	井上　恒一

論文審査の結果の要旨

テラヘルツ自由電子レーザー（THz-FEL）は、通常のレーザーが動作しないテラヘルツ波領域で大強度コヒーレント単色光を発生する放射光源である。FEL 基礎過程の研究は、理論や計算機シミュレーションでさかんに行われているがテラヘルツ領域での実験的研究は様々な制約により数少ない。FEL の発振過程を研究することで FEL のパワー飽和現象の物理を解明することが出来れば、更なる FEL の高度化に繋がることが期待される。光共振器を用いるFELの出力はピコ秒程度の時間幅を持つミクロパルスが10ナノ秒程度の間隔で数マイクロ秒並びマクロパルスを形成する。FEL のパワー発展は、高速検出器を用いて測定したマクロパルス波形から求めることができる。しかし高速検出器は一般に感度が低く線形応答領域も限られているため、発振から飽和にいたる 10 桁近いパワー発展は未だ実験的に測定されていない。

そこで、本研究では、FEL の発振開始から飽和に至る広い領域で FEL パワーの発展と FEL 増幅率を求める実験を行なった。テラヘルツ領域で高感度かつ広い線形応答領域をもつ熱型検出器であるシリコンボロメータを用いて FEL マクロパルスを測定する。電子ビームの長さを制御することで増幅回数を変えながら発生した FEL マクロパルスのエネルギーを計測し、それよりミクロパルスエネルギーを求める手法を開発した。また、FEL 動作の不安定性によるマクロパルスのエネルギー計測値変動の影響を低減するため、増幅回数を周期的に切り替えながらエネルギーを計測し、マクロパルスエネルギーを高精度に求める変調測定法を構築した。大阪大学産業科学研究所に設置した L バンド線形加速器を電子ビーム源にもつ大強度テラヘルツ自由電子レーザーを用いて波長 105 μm で実験を行い、この新しい測定手法を用いてテラヘルツ FEL の発振から飽和までの 8 桁に亘るパワー発展の過程と増幅率の変化を初めて明らかにした。また、光共振器の長さに依存して、異なるパワー発展と飽和過程を示すことを観測した。これは、FEL パワーの飽和現象が、電子バンチと FEL パルスの同期性に依存することを示唆している。

これらの研究は、FEL 物理の解明と FEL 装置の高度化に資するものである。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。