

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26390111

研究課題名(和文)狭帯域コヒーレントエッジ放射の研究

研究課題名(英文)Study on narrow band coherent edge radiation

研究代表者

保坂 将人(hosaka, masahito)

名古屋大学・シンクロトロン光研究センター・特任准教授

研究者番号：60290897

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：相対論的電子ビームが磁石の端部を通過するとき発生する放射はエッジ放射と呼ばれ高い志向性およびラジアル偏光という特異な偏光特性を持つ。本研究ではテラヘルツ領域のエッジ放射を狭帯域コヒーレント放射として取り出し、さらには応用を目指すために詳細を調べる研究を行なった。実験は分子科学研究所極端紫外光研究施設の電子線蓄積リングUVSORにて行なった。準単色のコヒーレント放射を発生するために振幅変調をかけたレーザーと電子ビームバンチを相互さようさせて、バンチ構造に周期的密度変調を与えた。エッジ放射取り出しポートを導入し、準単色コヒーレントエッジ放射の波長分布、空間分布の観測に成功した。

研究成果の概要(英文)：Edge radiation is produced from a relativistic electron beam passing through an edge of a bending magnet and has specific polarization property called "radial polarization". We studied on generation of monochromatic coherent edge radiation in THz region aiming its applications. The experiments were carried out at UVSOR storage ring. The monochromatic coherent edge radiation is emitted from a density modulated electron bunch via the interaction between the electron bunch and an amplitude modulated laser. We have installed a beam port for the observation and succeeded in measurement of spectral and special distribution of the radiation.

研究分野：加速器科学

キーワード：エッジ放射 コヒーレント放射 テラヘルツ光 シンクロトロン放射

1. 研究開始当初の背景

(1) 相対論的電子ビームが磁場で曲げられるとき発生する放射光は赤外光からその臨界波長付近まで連続的波長分布を持つ。放射光はそれ以外の光源の存在しないエックス線域、真空紫外光域の光源として様々な利用に用いられてきた。比較的最近になってから、赤外およびテラヘルツ領域の長波長域の放射光の応用利用も行われている。これは放射光が黒体放射光源にはない高い指向性を持ち、微小なサンプル領域に集光して照射することに適しているからである。

(2) これまでは長波長域においても偏向電磁石からの通常の放射光が用いられてきたが、それに変わるさらに指向性の高い光源としてエッジ放射が注目を浴びている。エッジ放射とは直線部を挟んだ2つの偏向電磁石の端部から発生する放射である(図1)。観測点の方向から眺めると、電子ビームは端部において進行方向に加速(上流側偏向電磁石)および減速(下流側偏向電磁石)を受けることになり、そのために放射の偏光はラジアル偏光であり、また2つの端部からの干渉効果で同心円状の放射強度分布となる(図2)。

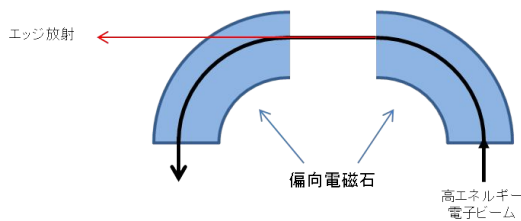


図1

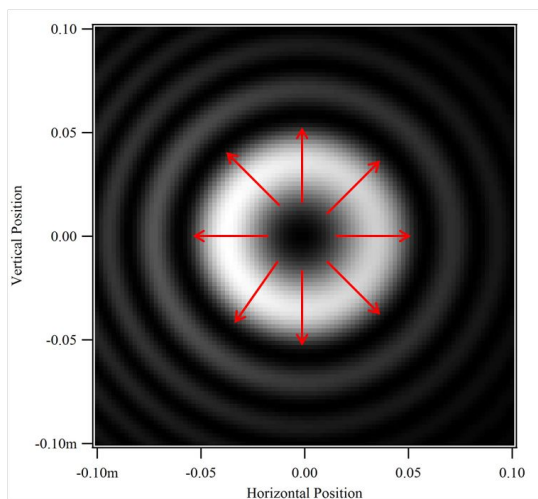


図2

2. 研究の目的

エッジ放射の強度を高めるためにはコヒーレント放射光を用いるということが挙げられる。コヒーレント放射光とは波長より短いパンチ長の電子ビームからその電子数

の2乗の強度に比例した放射光が発生する現象である。申請者らは振幅変調をかけたレーザーと電子ビームと相互作用させることで、電子バンチに周期的密度変調を与え、それによってテラヘルツ領域の狭帯域のコヒーレント放射光の発生に成功している。この手法ではレーザー振幅変調の周期を変えることで、テラヘルツ領域のコヒーレント放射光の波長を自由に変えることができる。本研究ではこの技術を応用して、狭帯域のコヒーレントエッジ放射を発生させ、その性質の詳細を調べる。

3. 研究の方法

本研究では分子科学研究所極端紫外光研究施設のUVSOR電子蓄積リングにおいて、これまで申請者らの培った技術を用いてレーザーとの相互作用で電子ビームに周期的密度変調を与え、そこから強度の強いエッジ放射を発生できることを実証する。申請者の理論的な計算によって波長域0.3THz~1THzにおいて、通常エッジ放射と比較して、1000倍以上のスペクトル強度のエッジ放射の発生が予想される。さらに狭帯域のコヒーレントエッジ放射の空間分布また偏光分布の測定を行い、シミュレーション計算による予想と比較する。

4. 研究成果

本研究の立ち上げにおいて、まずエッジ放射を取り出すためのビームポートを製作して、UVSORにインストールした。このビームポートをつかってテラヘルツ領域のエッジ放射を観測した。

実験にはエネルギー600 MeVの電子ビームをアンジュレータと呼ばれる周期磁場装置内で振幅変調をかけたTi:Saレーザーと相互作用させることで電子バンチに密度変調を作り出し、それによって生じる狭帯域のコヒーレントエッジ放射の観測を行なった。まず、本研究における最初の成果としては狭帯域コヒーレントエッジ放射の観測に世界で初めて成功したことが挙げられる。現状でレーザーから電子バンチに移すことの可能なテラヘルツ周波数は5~40 cm⁻¹で、このおのに対してのテラヘルツ強度の測定を行なった(図3)。パルス強度の検出にはInSbホットエレクトロンボロメータを用いた。また、シミュレーション計算によってエッジ放射の波長依存性の計算を行なった。計算では電子蓄積リングの電子の光学関数を用いてレーザーに相互作用後の電子バンチの電子が受けるバンチングおよびデバンチングの波長依存性を求めた。図3に実験で観測された狭帯域コヒーレントエッジ放射の相対強度の波長依存性を示す。図からわかるように実験値とシミュレーションによる予想はよく一致し、このことから予想されている通りの放射が観測されていたことが確認できる。

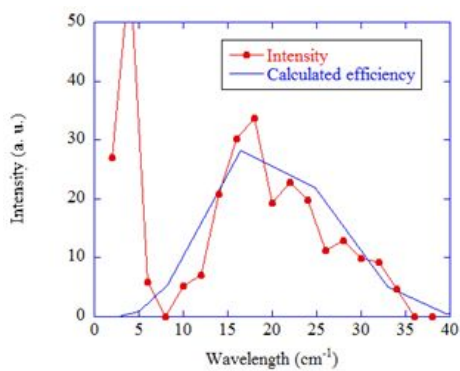


図 3

さらに我々は狭帯域コヒーレントエッジ放射の空間分布の測定を行なった。これには水平方向の偏光子を用いることで、水平偏光成分のみを取り出し、図2で示したように中心から左右分かれて強度の強い放射が観測されることが予想される。観測の結果を図4に示す。図からわかるように観測結果は理論的予想とは完全には一致していない。これは主に電子ビームと相互作用させるレーザーのポインティングが十分に安定でなため測定中にコヒーレント放射の強度が変動してしまうことが原因であると考えられる。ここまで得られた、実験結果はIPAC2015で発表され論文発表も行なっている。

レーザーと電子ビームを長い時間相互作用させるために、高度なポインティング安定性が必要でそれを実現するためにすでにレーザー輸送経路に工夫を施し、またフィードバック装置を導入されることになった。レーザーの安定後に再実験を行なう予定である。

エッジ放射と同じような特異な空間分布を持つ光として、光渦が挙げられる。光渦はエッジ放射と同じように中心部に特異点を持ちその周りを1周することで光の電場位相が $2n$ (n は整数)変化する光である。本研究で用いていたUVSORのアンジュレータ装置を円偏光モードで運転するしたとき発生する高次高調波が光渦であることが予想され、それについて調べる実験を行なった。本研究で用いた2台のアンジュレータ干渉実験を行い、それによって光渦性を調べる実験を行なった。図4にの実験結果の一部を示す。実験によって得られた干渉パターンは光渦を仮定したシミュレーションをよく再現する

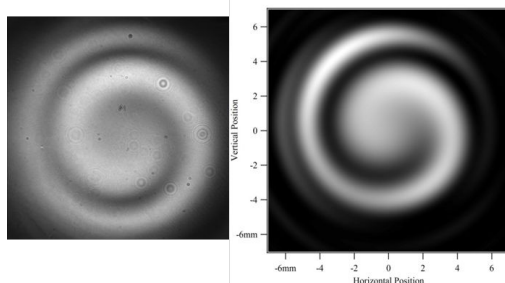


図 4 左図は実験結果で右図はシミュレーションで得られたイメージ。

ことがわかった。さらにダブルスリットを用いた回折実験によって特異点に起因する回折パターンの観測にも成功した。光渦の実験結果についてはIPAC2016で申請者が口頭発表を行なった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Angular Momentum of Twisted Radiation from an Electron in Spiral Motion, M. Katoh, M. Kawaguchi, K. Tsuchiya, K. Ohmi, T. Kaneyasu, Y. Taira, M. Hosaka, A. Mochihashi, Y. Takashima, 査読あり Phy, Rev. Lett. 118, 094801 (2017).

Experimental Study on Optical Vortex from a Helical Undulator at UVSOR-III, M. Hosaka, M. Katoh, N. S. Mirian, T. Konomi, N. Yamamoto, K. Kuroda, K. Miyamoto, S. Sasaki 査読なし Proceeding of IPAC'16 (頁: WEOAA03), (2016).

Narrow Band Coherent Edge Radiation at UVSOR-III, M. Hosaka, O. Oodake, Y. Takashima, N. Yamamoto, S. Bielawski, C. Szwaj, M. Katoh, T. Konomi, J. Yamazaki, H. Zen, 査読なし Proceeding of IPAC'15 (頁: TUPJE004), 2015年

〔学会発表〕(計 2 件)

"Experimental Study on Optical Vortex from a Helical Undulator at UVSOR-III", IPAC2016, Busan, Korea.

"Experimental Study on Optical Vortex from a Helical Undulator at UVSOR-III" IPAC2015, Richmond, VA, USA.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

保坂 将人 (HOSAKA, Masahito)

名古屋大学シンクロトン光研究センタ

ー・特任准教授

研究者番号：60290897

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()