

コヒーレントエッジ放射のすすめ

清 紀弘*

産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門, 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1

1. はじめに

コヒーレント放射はその初観測から 30 年余りが経ち、テラヘルツ (THz) 帯における貴重な高出力・広帯域光源として、或いは電子バンチ特性を計測するための被プローブ光として、既に広く認知されている。しかし、数多くある発光現象の中からエッジ放射を選択したコヒーレント放射源はほとんど開発されてこなかった。光源として利用するには遷移放射よりも強度が低く、直線部はアンジュレータ放射や自由電子レーザー (FEL) など他の光源に利用されていたためであろう。だがコヒーレントエッジ放射 (Coherent Edge Radiation) は、その放射特性から他の光源と同時に利用することが可能である。CER の優れた利便性を追求すべく、赤外自由電子レーザー施設において CER 放射源の研究開発を展開した。

2. CER 放射源の開発

エッジ放射は、偏向磁石端面のような電子ビーム軌道上において急激に電磁場が変動するところにて発生する。電子ビームの運動方向に加速度を受けたことによる放射なので、相対論的なエネルギーを有する電子の場合は、エッジ放射の空間分布は遷移放射のような中空構造になっており、ラジアル偏光している。バンチ化された電子ビームに対しては、バンチ長よりも長い波長の放射がコヒーレントになり、強度が著しく増大する。電子線形加速器の場合は二乗平均平方根 (RMS) バンチ長を数 ps 以下に短くできるので、sub-THz から THz の周波数帯にて高強度の CER が得られることを期待できる。

CER 放射源の開発は、日本大学量子科学研究所の電子線利用研究施設 LEBRA および京都大学エネルギー理工学研究所の赤外自由電子レーザー施設 KU-FEL にて実施した。LEBRA のパラメトリック X 線 (PXR) 直線部では、PXR 発生装置下流の偏光磁石にて発生した CER を PXR 輸送系を利用して実験室へ輸送している。マクロパルス 5 μ s 間の CER エネルギーは最大 0.4 mJ であり、0.3 ~ 2 THz の周波数帯域で利用できる。CER ビームは乾燥空気を充填したアクリルボックスへ輸送され、日本大学理工学部や松戸歯学部のユーザーにより THz 分光測定や THz イメージング実験に利用されている。LEBRA のもう一つの直線部である FEL 直線部では、下流偏向磁石と FEL 用共振器鏡との間に、FEL に回折損失を与えることな

く CER を取り出せる中空鏡を挿入可能な 1 軸導入器を設置した。

KU-FEL では下流偏向磁石と光共振器鏡との間に、FEL 光軸上にて有効面積 20 \times 20 mm² の平面鏡を挿入可能で、0.1 mW 程度の CER を光共振器から取り出すことができた。昨年、この平面鏡を有効径 15mm の空孔を有する平面鏡に交換し、FEL 発振中の CER を取り出せるように改良した。

3. CER 放射源を用いた電子バンチ計測

CER スペクトルには電子バンチの運動方向の形状に掛かる情報が含まれている。輸送光学系の周波数特性や検出器の感度特性等を考慮しなければならないが、CER スペクトルを観測することで電子バンチのパルス形状を概算できる。KU-FEL では、干渉計を用いた CER スペクトル測定によって RMS バンチ長と二つの周波数における出力比を評価し、検波器を使用してその二つの周波数における出力を計測することによって、マクロパルス内における RMS バンチ長の変化を観測した¹⁾。

LEBRA の FEL 直線部においては、FEL 発振中の CER を初めて観測することに成功した。その結果、FEL 発振によって CER が増幅していることが明らかになった²⁾。このような現象は、KU-FEL における追実験でも観測された。本発表では、CER 放射源の開発経緯から最新の実験結果まで説明する予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、京都大学エネルギー理工学研究所のゼロエミッションエネルギー研究拠点共同利用研究および京都大学原子炉実験所の共同利用研究から支援を頂いた。また、科学研究費助成事業 16H03912 及び 19H04406 から助成を頂いた。ここに謝意を表する。

本研究は周囲のご厚意に支えられて推進することができた。日本大学量子科学研究所の早川恭史氏、境武志氏、住友洋介氏、高橋由美子氏、野上杏子氏、早川建氏、田中俊成氏、及び京都大学エネルギー理工学研究所の大垣英明氏、全炳俊氏、並びに京都大学複合原子力科学研究所の高橋俊晴氏、産業技術総合研究所の小川博嗣氏に感謝申し上げる。

参考文献

1. N. Sei *et al.* : Phys. Lett. A **383**, (2019) 389.
2. N. Sei *et al.* : Sci. Rep. **11**, (2021) 3433.

* e-mail: sei.n@aist.go.jp