

発振波長0.06nmの決定要因





分子ビーム発生装置によるタンパク質一分子からの散乱パターン記録



短パルス超強度XFELの照射によって分子は破壊されるが、散乱パターンは破壊前に取得できる

X線レーザーを得るために

X線領域でレーザーを得るためには

- ・レーザーを短波長化 X線を放出するレーザー素子が存在しない 結晶で波長を短くする方法もあるが、非常に弱くなる。
- ・放射光を高干渉性化 現在の放射光施設では十分な干渉性が得られない。

X線放射光を繰り返し干渉させれば、 X線レーザーが得られるはず。

放射光を鏡で反射させると 反射させる分を真直ぐ縦に伸ばしていくと 従来型の自由電子レーザー 自己増幅型自由電子レーザー (原理提唱1986年、実証試験2000年)紫外線;DESY]) (原理提唱1971年、 実証試験1977年 [赤外線:米スタンフォード大]) 電子ビーム アンジュレーター アンジュレーター 雷子加速器 X線レーザ-(長さ L×N) (長さ L) 線型加速器 反射鏡 (**繰返し**N) e-beam 電子銃 電子ビーム 集群化 マイクロ バンチング 電子 マイクロ 電子ビーム バンチング ビーム 可視光レーザー <u>× X線を反射する鏡が存在しない</u> 赤外線・可視光が限界

20

日本におけるX線自由電子レーザー開発の経緯(1)

- 1999年 4月 学術審議会特定領域研究推進分科会加速器科学部会報告にて、 「また、近年、X線自由電子レーザーが将来の第四世代光源として注目を集めている。この開発のため、高エネルギー加速器研究機構を中心とした関係研究機関、大学の 連携・協力により基礎研究を推進する必要がある。」
- 1998年~2000年 第三世代大型放射光施設SPring-8にて、理化学研究所による27m真空封止アンジュ レータ建設、1000mビームライン建設により、精密アライメント技術、アンジュレータ磁場 調整技術を確立、真空封止アンジュレータによるX-FEL小型化の可能性を検討。
- 2000年 4月 理化学研究所において、X-FELの開発コンセプト(SCSSコンセプト:コンパクト、低コス ト)を創案。
- 2000年 8月 Berlin SRI2000会議にて、SCSSコンセプトの概念を提示し、大きな反響を呼ぶ。
- 2001年 4月 理化学研究所において、要素技術の開発研究開始。
- 2001年12月 超精密X線ミラー完成。世界最高のミラー表面平坦度を達成。
- 2002年 5月 ICFA Workshop on Future Light Source にて、SCSSコンセプトを発表。
- 2002年 8月 硬X線回折像からの3次元実空間再構成に世界で初めて成功。 (X-FEL利用を想定した回折顕微鏡試行実験)
- 2002年10月 真空封止型短周期磁場アンジュレータの位相誤差 2.7度 / 360度以内 を達成。

日本におけるX線自由電子レーザー開発の経緯(2)

2003年12月電子銃のエミッタンス値の世界最高記録を樹立。
(500kV×1A、電圧及び電流安定度0.2%)

- 2004年 2月 Institute Laboratory Advisory Council (ILAC)開催。 SCSS計画の推進を提言。
- 2004年11月 理化学研究所において、線型放射光研究開発グループ発足。
- 2005年 2月 理化学研究所において、国際レビュー(事前評価)を実施。
- 2005年 4月 理化学研究所において、250MeVプロトタイプ機の製作を開始。
- 2005年 5月 日本放射光学会次世代光源検討特別委員会中間報告書にて、 「X線自由電子レーザーは、レーザー光科学分野と放射光分野の両面からみて、究極 的性能を達成する光源として位置づけられ、それらを渇望してきた研究分野に対して大 きな飛躍を与えることが期待できる。我が国独自技術による光源のコンパクト化というブ レークスルーにより国際的にも先導的な計画であり、X線自由電子レーザーの実現を目 指すことはきわめて重要である。」
 - 施設計画・開発・運営・利用計画等を一体的に検討するための利用研究促進懇談会を 設置。

科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会研究評価部会に次世代放射光源計画 評価作業部会を設置。

- 2005年 8月 次世代放射光源評価作業部会にて、X線自由電子レーザー計画評価について中間とり まとめ
- 2005年11月 理化学研究所にて、250MeVプロトタイプ機による発振実証試験を実施予定。

プロトタイプ機の位置づけ

(1) 実機完成後、速やかに利用研究を展開するための基盤技術開発用ツール (2) 紫外線~軟X線領域における強力コヒーレント光源

実機整備のための要素技術開発



熱電子銃を用いた 高密度低エミッタン ス電子ビーム発生

ジュレーターにより 効率をもつ加速器 効率良<X線を発振

超精密組立·据付技術

を開発

SPring-8(周長 1.4km)、1km長尺 ビームラインにて 既に実証済み!



実機整備に残された技術要素は無い!

"プロトタイプ機"が担う2つの役割

(1) 強力レーザー光ハンドリング技術開発

"実機"完成後、速やかに利用研究を展開 するための基盤技術開発用ツールとして活用。

(2) 紫外線~軟X線レーザー光源"実用機"

例えば、<u>非平衡状態を利用するソフトマテリ</u> アルの創製などに威力を発揮。

> 温度によりオンオフする液晶 光形状記憶素子



"プロトタイプ機"=軟X線自由電子レーザ23

マイルストーン



シーディング技術による光源特性の向上

アンジュレータ内での電子ビームサイズ: 50µm (ラウンドビーム) 電子ビームサイズで決まる回折限界光子ビームを生成 波長によって、試料位置でのビームサイズは変わる 波長0.1ナノメートルでの回折限界発散角~2マイクロラジアン 波長0.1ナノメートル、アンジュレータ 試料距離250メートルとすると、0.5mm X線ビーム

シーディング:シード光を飽和させることにより、変動の少ない光強度が得られる 250MeV機では、レーザー高調波がシード光として利用可能 8GeV機では、自由電子レーザー本体でシード光を作成。R&Dが必要



パルス列の生成: 基本繰り返し周波数は60Hz

Seeded FELを結晶オプティカルキャビティを利用して、パルス列に分割 500nmの中に、マイクロバンチ生成が可能

- エネルギー分解能: No Seedでは、アンジュレータ周期数で決まる分解能(~10⁻⁴)、 Seeded FELではシード光の分解能(<10⁻⁴)
- パルス幅: No Seedでは、250MeV機で~1ps、8GeV機で~80fs。 Seeded FELではシード光のパルス幅(~1fs)