



超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発 - II



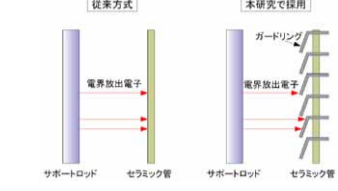
高エネルギー加速器研究機構、東京大学、早稲田大学、大阪大学、広島大学、
日本原子力研究開発機構、日立ハイテクノロジーズ、東芝電子管デバイス

500kV DC 電子銃の開発

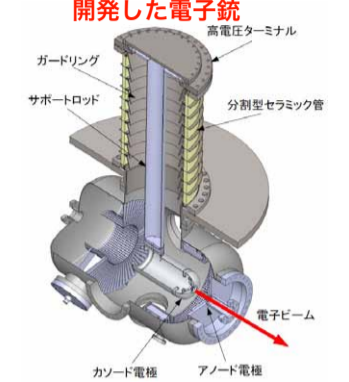
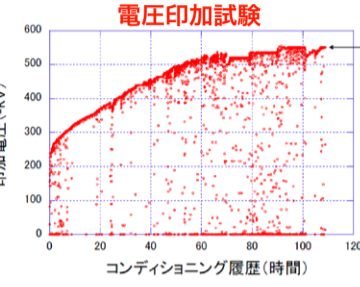
開発のねらい

レーザー・コンプトン光源のフラックス、輝度の向上には、電子ビームの大電流化が必須
大電流、低エミッタンス電子ビームを生成可能な直流型(DC)電子銃を開発する。
低エミッタンスのため高電圧(500kV)の動作を目指す
— 従来技術では350kVが限界

技術開発のポイント



従来型DC電子銃=電界放出電子によるセラミックの帯電、破損が高電圧化の障壁
開発したDC電子銃=分割型セラミック管、ガードリングを考案し、セラミックの破損を防止



開発した電子銃

分割型セラミック管 電界放出電子によるセラミックの破損を起こさず、500 kV の高電圧を維持する

高電圧発生装置 コックロフト=ウォルトン型高電圧発生装置 500kV-10mA の仕様

光陰極バック 半導体 (GaAs) 基板を装着する装置。光陰極として動作させるため、Cs-O による活性化を行う

光陰極活性化装置 500 kV ビーム生成試験、10 mA ビーム生成試験の完了 → 超伝導空洞と組み合わせた運転を行うため、KEK へ移設

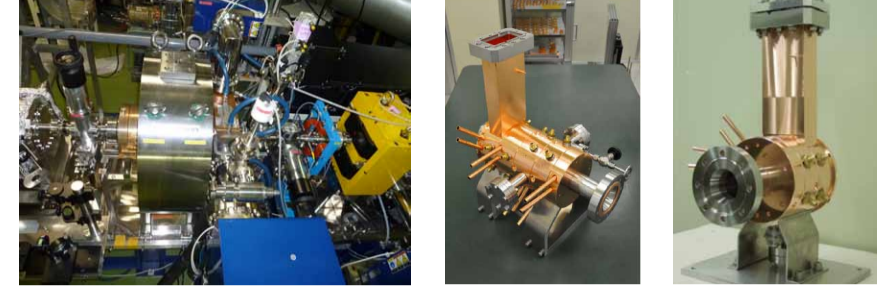
開発の成果
世界初、550 kV の電圧印加に成功 → プレス発表 (2010年3月)
DC電子銃の標準設計を確立 → 国内外で同型機4台が製作中

基盤技術開発研究

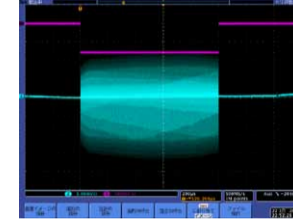
- 500kV DC 電子銃
- 光高周波電子銃
- パルス超伝導加速空洞
- CW 型超伝導加速空洞
- 光共振器
- パルスレーザー装置
- 高性能 X 線検出器

光高周波電子銃の開発

Photo-cathode RF Gun



フォトカソード: Mo+Cs₂Te(266 nm laser)
RF電子銃: L-band 1.6 cell 常伝導空洞
10MeV 3.6 cell gun
6MeV 1.6 cell gun



162,500 bunches/pulse, ~50pC/bunch
約8mA電流生成、加速に成功。

100MV/m以上の高電界で100から1000パンチを生成加速、50nCから500nC/pulse電子ビームを約10MeVに加速する。パルスの時間幅は3μsecであるので、電流値は100mA程度である。高周波電子銃として最高性能を達成している。

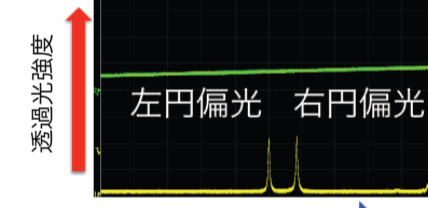
光共振器の開発

2-Mirror Cavity → 4-Mirror Cavity



σ spot ~30 micron F~2000
σ spot ~15 micron F~5000

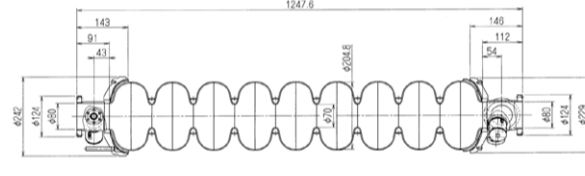
3次元4枚鏡光共振器は完成した。
1.3GeV 蓄積リング加速器に設置後、23MeV 超高輝度ガンマ線生成実験を行った。一昨年、2枚鏡光共振器を使った実験では2x10⁷ Photons/secが実測された。鏡の反射率が99.7%から99.99%に上げ、衝突点におけるLaser waist sizeを30μmから15μmに絞った。2000倍のガンマ線強度増大と円偏光選択が高速で行えるのが特徴である。



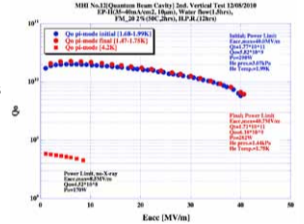
波及効果

パルス空洞開発成果

Manufactured and Tested four 9-cell super conducting cavities

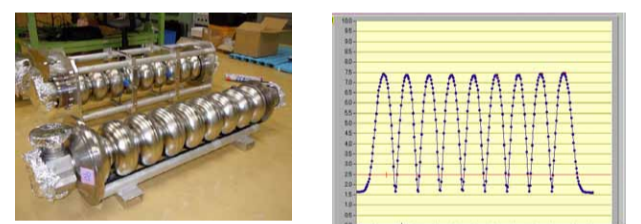


製作された2台の9連型実機空洞。これに電解研磨とアニール、高圧洗浄からなる一連の表面処理が行われた。
ビーズを用いて計測された9連空洞の軸上加速電場分布。各セルの周波数を10μmの精度で調整することで、98%の均一度を達成している。

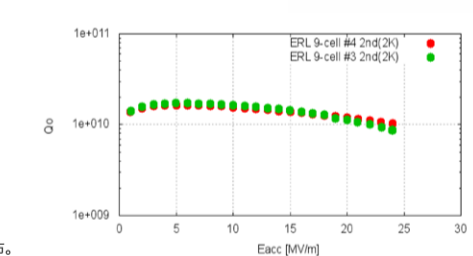


9セル加速空洞MHI-012の高電界試験結果
(赤●は温度4.2Kでの結果、青●(1回目)と赤●(2回目)は温度2K近くでの2回の試験結果であり、赤●の方が最終的な空洞性能である。)

CW 型超伝導加速空洞開発成果



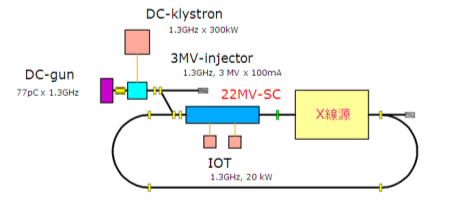
製作された2台の9連型実機空洞。これに電解研磨とアニール、高圧洗浄からなる一連の表面処理が行われた。



加速・減速を合わせた200mAビームが作る有害高調波対策を有する2台の9セル型空洞を製作し、空洞単体の性能では最高25MeVを実現した。そのときの各空洞の電力損失は70Wであった。11MeV×2台運転では26Wで済む。

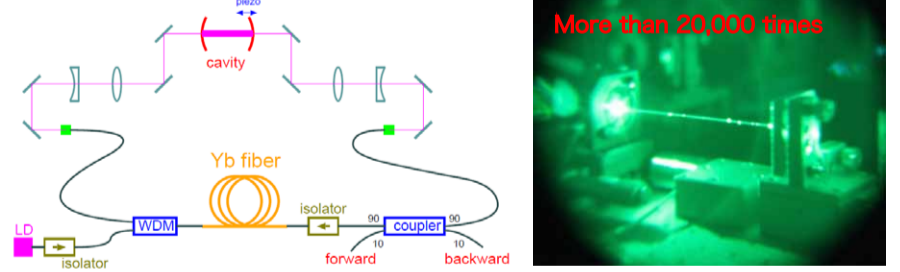
CW方式の特徴

- 連続波運転(CW運転)を採用することによって平均電流値が400倍になる
- エネルギー回収型リニアック方式を採用することによって、増大するビーム電力とビームダンプ時の放射線を軽減すると同時に、さらにビームの高品質化を図る
- 1.3GHzを使った高周波超伝導空洞を最適化する。

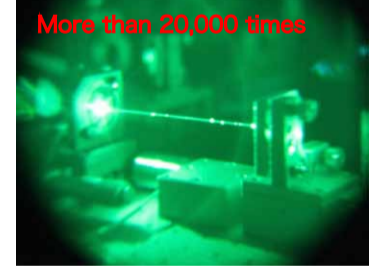


入射空洞で加速された3MeVの電子は22MeVの超伝導空洞で加速されX線源へ向かう。その後電子は再び加速管に減速位相で戻されそのエネルギーが回収されて3MeVになってからビームダンプされる。回収されたエネルギーは加速位相にある次の入射ビームの加速に用いられる。これによってX線源には高品質の低エミッタンスビームが供給される。

パルスレーザー装置開発

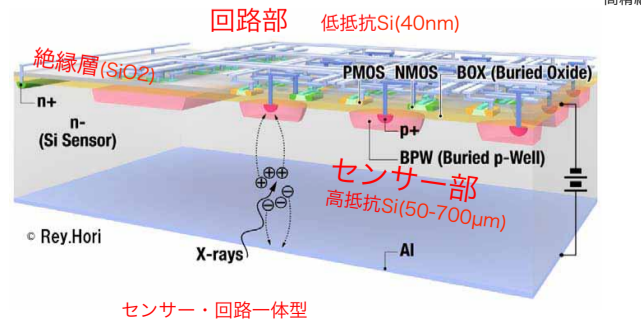


衝突レーザーパルス蓄積用光共振器と同じ構造の光共振器をレーザー発振器中に導入することによって、低パワーの種レーザーパルスに光共振器に適合する性質を持たせる。この種光をレーザー増幅することによって大強度レーザーを生成して、衝突レーザーパルス蓄積用光共振器に入射する実験を準備している。上図に低パワーレーザーを使って2万倍の蓄積を実現したときのレーザーシステムと測定結果を示している。

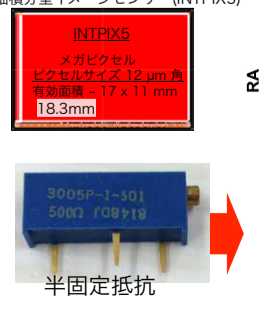


高性能 X 線検出器の開発

SOI(Silicon On Insulator) 技術によるピクセルセンサー

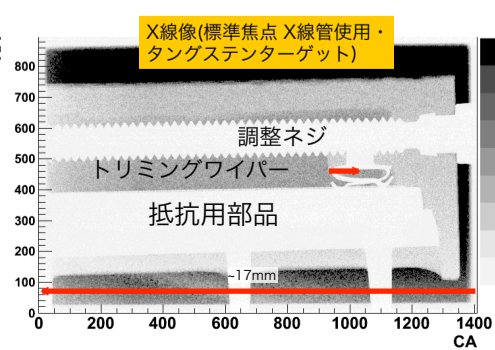


センサー・回路一体型
高ゲイン・高速・低消費電力・低コスト

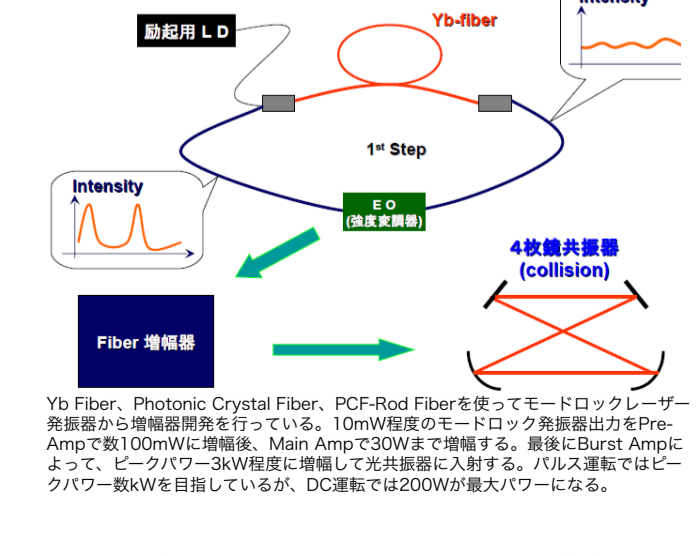


高精細型イメージセンサー(INPIX5)
メガピクセルピクセルサイズ12μm
有効面積=17x11mm
18.3mm

蛍光版を使わないX線直接検出型
0.2 μm LSI プロセスにより極小ピクセル形成



高性能X線検出器
非破壊検査に有効



Yb Fiber, Photonic Crystal Fiber, PCF-Rod Fiberを使ってモードロックレーザー発振器から増幅器開発を行っている。10mW程度のモードロック発振器出力をPre-Ampで数100mWに増幅後、Main Ampで30Wまで増幅する。最後にBurst Ampによって、ピークパワー3kW程度に増幅して光共振器に入射する。パルス運転ではピークパワー数kWを目指しているが、DC運転では200Wが最大パワーになる。