

ERLのための超低エミッタンス電子銃 (栗木雅夫、KEK加速器)

ERL入射器の要求性能。

- $\varepsilon_x = 0.1 \text{ } \pi\text{mm.mrad}$ 。
- 100 mA、連続ビーム。
- $\sigma_z \sim 2\text{ps}$ 。

以下のような理由から NEA(Negative Electron Affinity、負の電気陰性度)表面をもつ光電陰極をもちいた DC 電子銃が連続ビームによる超低エミッタンス実現の最有力候補である。

- 熱陰極を用いる電子銃では熱運動による電子の横方向エミッタンス (熱エミッタンス) が大きく、超低エミッタンスを得ることは難しい。
- 電界放出電子銃から 100mA というような大電流を安定に取り出すことは困難である。
- RF 電子銃では熱収支から連続ビーム発生は難しい。超電導空洞を用いたとしても加速 RF の横方向成分から発生する RF エミッタンス等により目標の超低エミッタンスを得ることは困難である。
- NEA 表面からの発生する光電子は超低エミッタンス状態となる。

ERL 電子銃の構成は以下のようにまとめることができる。

- NEA(Negative Electron Affinity) GaAs を陰極として使用する。
- 20 ps 程度の短パルスレーザー光を電子の励起に使用し、短パルス電子ビームを直接生成する。さらに 2 ps 程度にパンチ長を圧縮するためにバンチャーを使用する。
- 1.3GHz モードロックレーザーからのパルス状の連続レーザー光を用いて 1.3GHz という加速高周波に同期した連続パンチビームを得る。100mA を得るためにパンチ毎の電荷は 77pC となる。
- NEA GaAs 陰極の仕事関数は 1.43eV であり、光電子励起には 780nm Ti:sapphire レーザーを使用する。100mA の平均電流を得るのに必要な出力は 1.59 W となる。
- 繊細な NEA 表面を維持するために超高真空 ($1\text{e-}10\text{Pa}$ 以下)、超低暗電流 ($1\text{nA}/\text{m}^2$ 以下) が必要となる。
- 寿命 $1.0 \times 10^6\text{C}/\text{cm}^2$ 、25 時間の達成。
- 空間電荷効果によるエミッタンス増大の抑制にはソレノイド磁場による収束と電荷分布の均一化が重要となる。
- 陰極・陽極間隔を 1cm、陰極面積を $7.9 \times 10^{-7}\text{m}^2$ (ビーム径 1mm に相当) とすると、電子銃のパービアンスは $1.83 \times 10^{-8}(AV^{-3/2})$ となる。
- このパービアンスから 3.9A(77pC、20ps におけるピーク電流) のビームを得るのに必要な電圧は 330kV、電場は 33MV/m となる。
- ビーム径 1.0 mm、液体窒素温度での運転を仮定するとエミッタンスは $0.09 \text{ } \pi\text{mm.mrad}$ となる。