

## Electron Beam Evaluation by Coherent Transition Radiation Interferometer

T.Watanabe, K.Yoshii, H.Harano, T.Ueda, K.Kinoshita, M.Uesaka,

(Nuclear Engineering Research Laboratory, University of Tokyo, Tokai, Naka, Ibaraki, Japan)

Y.Shibata, K.Ishi, S.Ono, Y.Inoue, S.Sasaki, M.Ikezawa,

(Research Institute for Scientific Measurements, Tohoku University, Katahira, Sendai, Japan)

F.Sakai, S.Kondo, M.Kando, H.Kotaki, H.Dewa, K.Nakajima,

(Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Naka, Ibaraki, Japan)

A.Ogata (National Laboratory for High Energy Physics, Tsukuba, Ibaraki, Japan)

**Abstract** A picosecond electron beam pulse measurement has been done by using a coherent transition radiation interferometer to be compared with that by the femtosecond streak camera. This method utilizes an autocorrelation to measure coherent transition radiation emitted at wavelengths longer than or equal to the bunch length. From the result of the comparison, the possibility of this method for utilizing to measure a subpicosecond electron beam pulse that was shorter than a time resolution of the femtosecond streak camera has been evaluated.

### コヒーレント遷移放射干渉法による電子ビーム評価

#### 1、はじめに

東京大学工学部附属原子力工学研究施設では700フェムト秒(半値幅)の電子シングルパルスの発生が可能であり[1]、これをフェムト秒ストリークカメラ(FESCA)を用いて計測を行ってきた。しかし、現在計画中的であるレーザーフォトカソードRFガンとシケイン型磁気パルス圧縮による極短電子シングルパルスの発生では、更に短いパルスの発生が予定されており、この計測には200フェムト秒の時間分解能をもつFESCAよりも時間分解能の良い計測手段を用いることが期待される。一方、時間分解能の良い計測手段として、コヒーレント放射による干渉法は周知であるが[2]、これは、電子バンチと同等も

しくはそれよりも長い長波長成分(コヒーレント成分)の放射(遷移放射、シンクロトロン放射)を、自己相関することで得られる干渉パターンから、放射を発生した電子パルスの波形を評価する手段である。

本研究では、コヒーレント遷移放射干渉法によるピコ秒電子バンチ計測の結果とフェムト秒ストリークカメラによる結果の比較・検討を行い、極短電子パルス計測の手段として挙げられるコヒーレント遷移放射干渉法の測定精度を評価する。今回の実験では、東北大学科学計測研究所所有の偏光型干渉計[2]を用いて、東大原施ライナックによって発生されるピコ秒電子パルスを計測した。

#### 2、極短電子パルス計測実験

東大・原施ライナックにおいて生成され

る複数のビームパラメータのピコ秒電子パルスについて、偏光型干渉計及びFESCAを用いて電子パルス計測を行った。実験体系を図1に示す。ライナックで生成される電子パルスをアルミフォイルに入射し、その際にアルミ表面から放射される遷移放射を偏光型干渉計に導いた。アルミ表面から放射される遷移放射は、アルミフォイルに入射する電子パルスの情報を持ち、連続的な広いスペクトルを持つ。このうち、干渉計で干渉を示すのは電子パルスのパルス幅よりも長い波長を持つ成分（コヒーレント成分）であり、今回の場合はパルス幅が1ps以上であるため、0.3mm

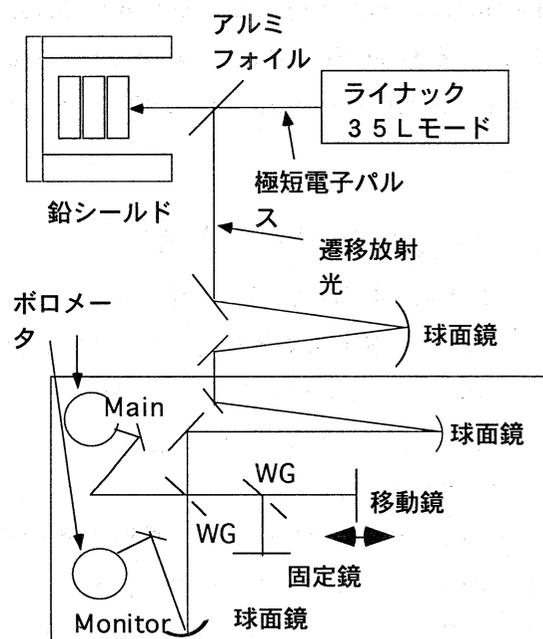


図1. 実験体系

以上の遠赤外を干渉させた。ディテクターにはミリ波まで感度をもつ極低温ポロメータを使用した。また、自動ステージ上のミラーの出し入れによって、ビームを発生させたままフェムト秒ストリークカメラに、電子パルスが空気中で発する空気チレンコフ光を導い

た。

### 3. 実験結果及び考察

偏光型干渉計で得られた干渉パターンを図2に示す。遷移放射はそれを発した電子パルスのビームパラメータ（パルスの時間的、空間的分布）に関する情報を持っており、以下の式に示すように干渉パターンはこれらの情報の反映している。

$$I(\lambda) = N(1 + (N-1)f_L(\lambda)f_T(\lambda))I_e(\lambda)$$

$I(\lambda)$  : 多電子発光スペクトル

$N$  : 電子数

$f_L(\lambda)$  : 縦バンチ形状因子

$f_T(\lambda)$  : 横バンチ形状因子

$I_e(\lambda)$  : 一電子発光スペクトル

例えば、干渉パターンがガウス分布をしていると仮定する際、干渉パターンの中心ピークの半値幅はビーム幅の $\sqrt{2}$ 倍の幅になっている[3]。しかしながら、実際のビームは理想的なガウス分布とは異なる分布をしているため、本実験ではtransverse方向の分布をデマルケストを用いて計測し横バンチ形状因子を決定し、干渉パターンの逆フーリエ変換で得られるスペクトルから縦バンチ形状因子を外挿し、これをクラマース・クロニッヒ変換(K・K変換)することで、バンチの時間方向分布(longitudinal分布  $h(z)$ )の情報を導き出した。 $h(z)$ の結果を図3に示す。また、このときのビームパラメータについて、FESCAで捕らえた時間方向分布を図4に示す。このビームパラメータ（パルス幅）は、FESCAにとって信頼性の高い範囲であるが、ストリークカメラと干渉計の結果がほとんど同一であった。その他のビームパラメータについても同様の結果を得た。干渉計は、干渉

パターンからパルスの時間分布を導き出す際に外挿を含めた解析手法を取る間接的な計測手段であるため、例えば実際のパルス幅に比べ短い結果を導くことが考えられたが、本実験結果からピコ秒電子に対して本実験で用いた干渉計が信頼性の高い結果を示すことがわかった。

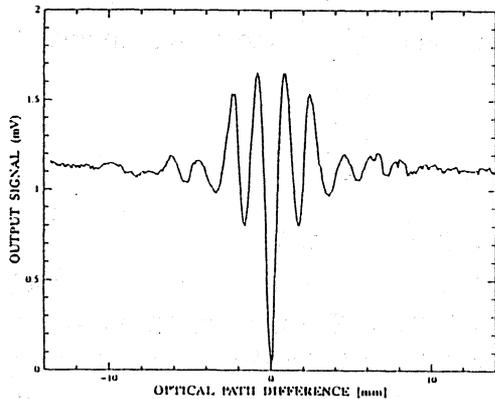


図2. 偏光型干渉計で得られた干渉パターン

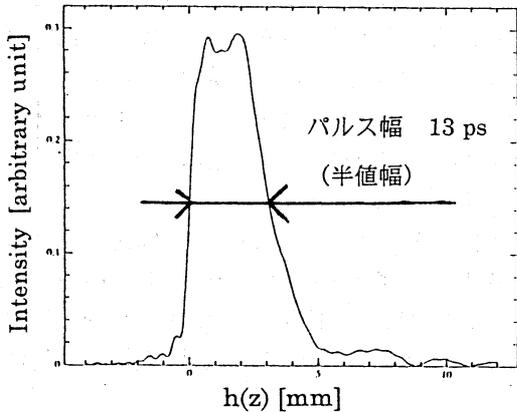


図3. 干渉パターンから導き出された電子パルスの longitudinal 分布  $h(z)$

#### 4. まとめ

本実験において、干渉計が極短電子パルスの計測器として信頼性のある結果を示すことがわかった。また、パルス毎の計測が不可

能であること及び解析段階において外挿を必要とするなどの特徴から、極短パルスの調整段階など F E S C A が有効である範囲も確認した。現在、サブピコ秒電子パルスの計測用として真空中で機能するマイケルソン干渉計を設計中である。

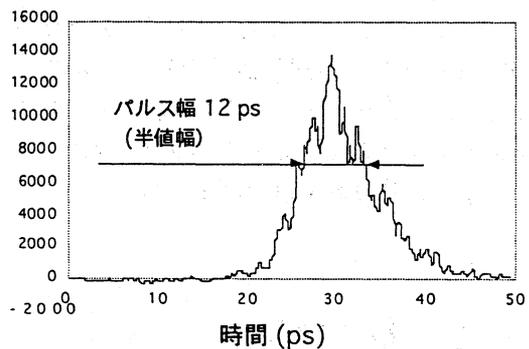
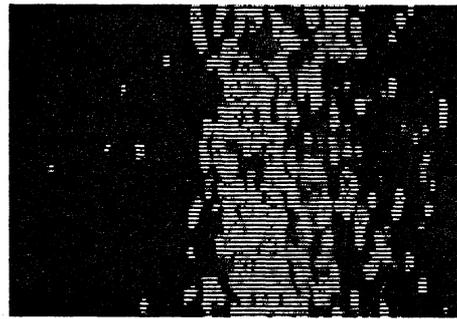


図4. F E S C A で捕らえた電子パルス

#### 参考文献

- [1] M.Uesaka et al., Phys. Rev. E **50** (1994) 3068-3076.
- [2] Y.Shibata, T.Takahashi, K.Ishi, F.Arai, H.Mishiro, T.Ohsaka, M.Ikezawa, Y.Kondo, S.Urasawa, T.Nakazato, R.Kato, S.Niwano and M.Oyamada, Phys. Rev. **A44**, (1991)R3445-3448
- [3] H.Lihn, P.Kung, C.Settakorn and H.Widemann, Phys. Rev. E **53** (1996) 6413-6418