

REAL TIME BUNCH SHAPE MONITOR

T.Hori, S.Takeda, K.Tsumori, N.Kimura, T.Yamamoto, T.Sawai and T.Okada

Radiation Laboratory

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

Abstract

In order to measure precisely the compression effect of a single bunch after passing a bunch compressor, the optical guiding and focusing system of cerenkov light has been developed. The system consists of cone type mirrors, three pieces of mirror, convex lense, interference filter and a streak camera. It is observed by using the real time bunch shape monitor that the bunch width of 20ps in FWHM was compressed into 9.5ps by the bunch compressor.

リアルタイム・バンチ波形モニター

1. はじめに

シングルバンチビームのバンチ幅を圧縮するバンチ・コンプレッサーをすでに試作したが、バンチ波形をピコ秒オーダーの時間分解能で精度良く測定するためには、チェレンコフ光の集光と誘導を行う光学系を改善する必要があった。そこで今回、バンチ波形をリアルタイムで精度良く測定するモニターシステムを試作したので報告する。

2. 光学系の問題点

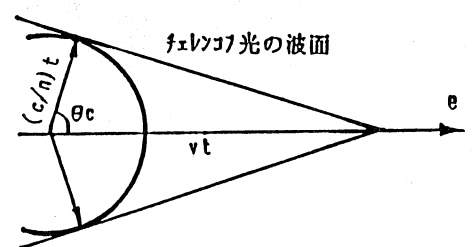
荷電粒子が透明な媒質中を通過する際（速度 $v > c/n$; c = 光の速さ, n = 媒質の屈折率）、その飛跡に沿って円錐面上にチェレンコフ光が発生する（第1図）。

ここでチェレンコフ光の放射角（チェレンコフ角） θ_c は

$$\theta_c = \text{COS}^{-1} (1/n(\lambda) \cdot \beta)$$

$$\text{但し } \beta = v/c$$

で求められる。このようなチェレンコフ角 θ_c 上に放射されるコーン（円錐）状の光を約 20 m 離れた測定室まで効率良く導き、その光をストリークカメラで測定することによってバンチ波形は求められる。そこで実際のバンチ波形をピコ秒オーダーの時間分解能で精度良く測定するためには、反射・集光されるチェレンコフ光自身の時間差を少なくするような光学系が必要である。そのためには 1) コーン



第1図 チェレンコフ光

状のチェレンコフ光を平行光線に変換し測定室まで導く（平行光線化）、2) その平行光線を単

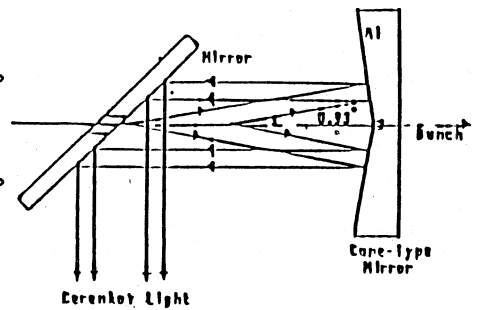
色化しストリークカメラに入射する(単色化),が重要であると考えられる。

3. 平行光線化

チェレンコフ光は点光源ではなく、その進行方向に沿ってコーン状に伝播する連続光源で電子ビームと同方向に進む光子はない。そのためチェレンコフ光をコーン状から平行光線に変換しその光を測定室まで導く方法以外では十分に集光できず、また光学系内の平面鏡やレンズにより反射・集光されるチェレンコフ光自身に光路長の差による時間差と光の収差が大きく生じてしまう。そこで今回我々は、異なった媒質中(空気とSuprasil)を通過する際に発生するチェレンコフ光を平行光線に変換するラジエーターを試作した。

4. 空気チェレンコフ・ラジエーター

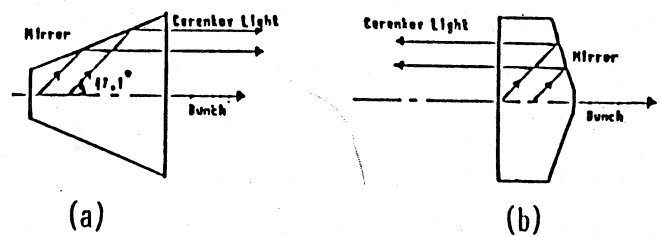
空気(1atm, 20°C)の屈折率は1.00027311であり、21.4 MeV以上のエネルギーの電子はチェレンコフ光を発生する。そのチェレンコフ角は電子のエネルギーに依存しており25 MeVで 0.69° , 30MeVで 0.93° , 35MeVで 1.05° と推定される。第2図に空気チェレンコフ・ラジエーターを示す。空気チェレンコフ光はコーン型ミラーによって平行光線に変換され、その前方に置かれたミラーで再反射し測定室まで導かれる。コーン型ミラーは通常のオペレーションに用いられる30MeVのエネルギーを想定し、そのチェレンコフ角の1/2すなわち約 0.47° のテーパをもつ表面粗度約 $\lambda/10 \sim 50\text{nm}$ のアルミニウム製ミラーである。



第2図 空気チェレンコフ
・ラジエーター

5. Suprasilチェレンコフ・ラジエーター

Suprasil(Synthetic Vitreous Silica)は純度の高い合成石英で、電子ビームによって照射されても着色しない透明物質である。その屈折率は400nmで約1.47であり、30MeVのエネルギーの電子が発生するSuprasil内のチェレンコフ角は約 47.1° である。第3図に2つの異なったタイプ



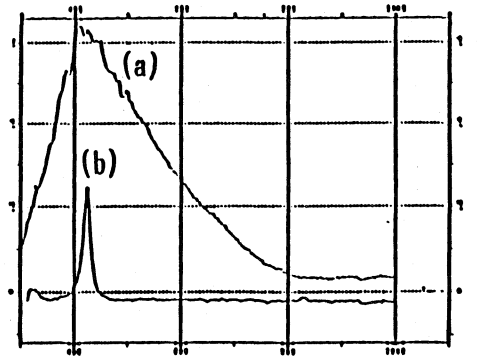
第3図 2つの異なったタイプの
suprasil チェレンコフ・ラジエーター

のSuprasilチェレンコフ・ラジエーターを示す。Suprasil内のチェレンコフ光は約 23.5° のテーパをもつ(a)タイプのラジエーターではビーム方向に、又約 70.6° のテーパをもつ(b)タイプのラジエーターでは逆ビーム方向に、それぞれ平行光線として取り出される。

6. 単色化

第4図(a)に30MeVのエネルギーをもつ電子ビームが、空気中を通過した時のチェレンコフ光のスペクトルを示す。測定器には300nm~1000nmの分光感度特性をもつmulti-channel-optical-analyzerを用いた。図から明らかなようにチェレンコフ光は連続した波長をもつ光であるため、光学系内のレンズにより集光されるときその媒質の屈折率が波長により異なり

モードロック・レーザーのような単色光では問題にならない波長の違いによる時間差が生じ、その結果ストリークカメラの時間分解能は低下する。ストリークカメラ (C1370-01, Hamamatsu Photonics) の光電面は、185nm ~ 850nm の分光感度特性をもつ VUV レンズが用いられているが、その屈折率は 185nm で 1.511, 850nm で 1.452 と異なるため、そのレンズ中での 2 個の光子の単位長当りの通過時間差は約 2.1Ps/cm と推定される。このような時間差を防ぐためには、干渉フィルター等を用いチェレンコフ光を単色化しなければならない。

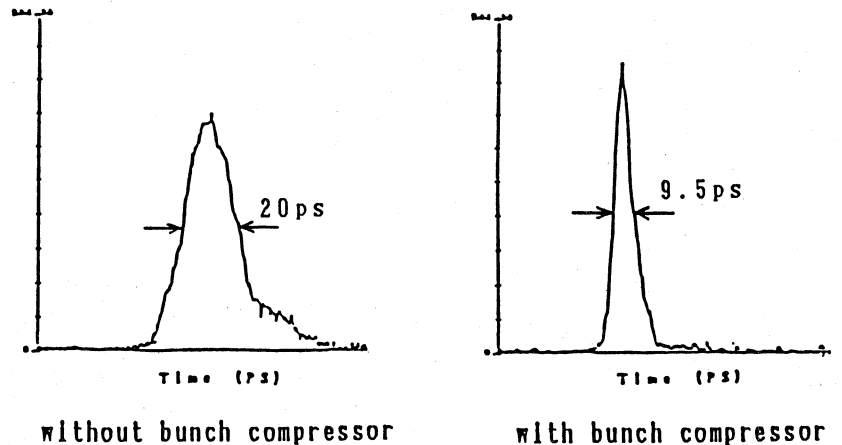


第4図 チェレンコフ光のスペクトル

ストリークカメラ前方に干渉フィルター (430nm) を取付けた時の空気チェレンコフ光のスペクトルを第4図 (b) に示す。

7. バンチコンプレッサーによるバンチ波形の変化

バンチコンプレッサーによるバンチ波形の変化を第5図に示す。光学系には、空気チェレンコフ・ラジエーター、平面鏡 (3 枚)、光をフォーカスするための凸レンズと干渉フィルター (430nm) を用い、ストリークカメラ (時間分解 : 2ps) 内にチェレンコフ光を集光した。測定系では、ストリークカメラとトリガーのトリガージッターを



第5図 バンチコンプレッサーによるバンチ波形の変化

なくするため加速管出口のビームカレント・モニターをトリガーに用いると同時に、1.5(pps) 以上でチェレンコフ光をストリークカメラに入射した時、SIT カメラの残像時間が約 0.6ms あるためバンチ波形が二重になり歪んで測定されるためビームの繰返しを 1.1(pps) に下げた。空気チェレンコフ・ラジエーターと Suprasil チェレンコフ・ラジエーターの特性をチェックした結果、空気チェレンコフ・ラジエーターの方が光量が多く、又指向性も良く測定された。その理由として媒質中でのチェレンコフ角は空気の方が緩やかなため、ラジエーターの中心付近を外れたビームでもより平行光線として得られたためであると考えられる。バンチコンプレッサーにより半値幅で 9.5ps に圧縮されたのが測定された。

参考文献

S.Takeda et al. , " Real Time Bunch Shape Measurements in the Osaka Single Bunch Electron Linac " , IEEE NS-34 , (1987) (to be published)