

[08-A10]

## GENERATION OF POSITRONS BY CRYSTAL TARGET

M. Inoue<sup>a</sup>, S. Takenaka<sup>a</sup>, K. Yoshida<sup>a</sup>, I. Endo<sup>b</sup>, M. Iinuma<sup>b</sup>, T. Takahashi<sup>b</sup>, H. Okuno<sup>c</sup>,  
A. Potylitsin<sup>d</sup>, I. Vnukov<sup>d</sup>, S. Anami<sup>e</sup>, A. Enomoto<sup>e</sup>, K. Furukawa<sup>e</sup>, Y. Kamitani<sup>e</sup>, Y. Ogawa<sup>e</sup>  
and S. Ohsawa<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Hiroshima Synchrotron Radiation Center, Hiroshima University  
2-313 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8526, Japan

<sup>b</sup> Graduate School of Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University  
1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8526, Japan

<sup>c</sup> High Energy Accelerator Research Organization, Tanashi-Branch  
3-2-1 Midoricho, Tanashi, Tokyo 188-8501, Japan

<sup>d</sup> Nuclear Physics Institute, Tomsk Polytechnic University  
634050, P.O.Box 25, Tomsk-50, Russia

<sup>e</sup> High Energy Accelerator Research Organization  
1-1 Oho, Tsukuba-shi 305-0801, Japan

It is known that high energy electron passing through a single crystal can be channeled along the crystal axis and emits channeling radiation, which generates positrons much more intense than those by Bethe-Heitler process. Measurement by an 1.2-GeV electron beam hitting an 1.2-mm-thick tungsten crystal has shown that the positron yield is about three times higher than from normal tungsten target with the same thickness. Preliminary test of a tungsten crystal target at the positron station of KEK linac has exhibited a positron yield enhancement of 40%.

### 単結晶標的による陽電子の生成

#### 1. はじめに

電子・陽電子コライダーにおいて、陽電子の生成効率を上げることは重要な課題である。特にリニアコライダーの場合は衝突が1ショット毎に行われるので陽電子の強度は電子の強度と同じくらい高いことが要求される。陽電子は高エネルギー電子を重金属標的に入射し、そこでのカスケードシャワーによって生成される。標的の厚さは、後段の加速器のアクセプタンスに入るような陽電子の生成率が最大になるように選ばれる。このように最適化された標的で陽電子の生成量を増そうとすれば入射電子の強度をあげねばならないが、それは容易でないばかりか、もし可能であっても標的が熱負荷に耐えられる限界がある。

高エネルギー電子の標的となる重金属を単結晶に置き換えると陽電子の生成量が大幅に増大する可能性が指摘されている [1-3]。入射電子が結晶軸のポテンシャルに捕獲 (チャンネルング) されて軸のまわりで振動し、チャンネルング放射光を発生する。この放射光は、通常の制動放射に比して強いばかりか、そのエネルギースペク

トルが低エネルギー側にシフトしているので、後段の加速器のアクセプタンス内に入るような低エネルギー陽電子を多数生成する。これが「結晶標的」の原理である。なお、結晶軸に電子が捕獲される軸チャンネルングの場合、電子はらせん運動をするのでチャンネルング放射光は円偏光しており、従って生成する陽電子のスピンは偏極しているはずである。

#### 2. 原理検証実験

結晶標的の原理を実証する実験が KEK 田無分室の電子シンクロトロンからの 1.2-GeV 取り出し電子線を用いて行われた [4]。標的は厚さ 1.2-mm (0.34 輻射長) のタングステンである。<100> 軸を電子ビームの方向に合せた時の陽電子生成率が図 1 に示すように顕著に増大することが実験的に確認された。この時の陽電子の発生方向は 0 度 (最前方)、陽電子の運動量は 20-MeV/c である。結晶軸が電子ビームの向きに合った時の陽電子生成率は、軸が合っていない時に比して約 2.5 倍になっている。軸が合っていないというこ

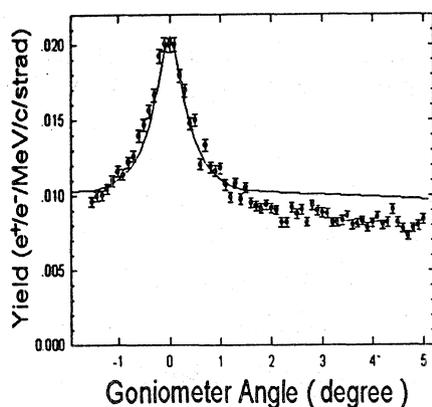


図 1. 陽電子生成率のゴニオメーター角度依存。  
陽電子の発生角: 0°, 運動量: 20-MeV/c

とは、標的が通常のタングステン金属と同じであるとみなせるので、この結晶標的は通常標的の約 2.5 倍の陽電子を生成する、ということができる。図のピークの幅はチャンネルリングから予想される値の 10 倍程広く、チャンネルリング以外のプロセスが関与していると考えられる。図中のカーブはコヒーレント制動放射を仮定したシミュレーションで、実験結果をほぼ再現している。

この陽電子生成倍率を陽電子の種々の発生角度、発生運動量について測定した結果を図 2 に示

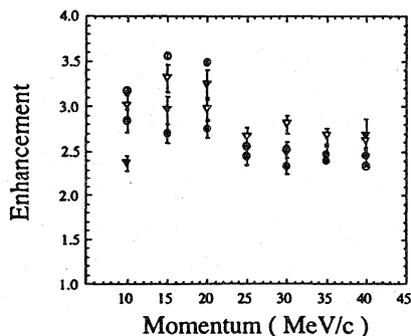


図 2. 結晶標的からの陽電子生成倍率の運動量、発生角依存性。

す。運動量が 10-20-MeV/c の領域で約 3 倍、20-40-MeV/c の領域で約 2.5 倍の陽電子が生成していることが分かる。発生角度への依存性は明白ではない。因みに KEK の B ファクトリー陽電子ライナックの運動量アクセプタンスは KEK レポート [5] によれば

$$8.2\text{-MeV/c} < p < 11.6\text{-MeV/c}$$

$$p_{t\max} < 2.4\text{-MeV/c}$$

である。

この実験では 0.34 輻射長のタングステンが用いられたが、実用のライナックで陽電子の生成量を増すには更に厚い標的を用いる必要があることに留意しなければならない。同じ KEK レポートによれば 0.25-, 2.5-, 4.0-GeV の電子に対して最適な標的厚さはそれぞれ 2.0, 3.5, 4.0 輻射長である。このように厚い結晶標的に対して前述のような高い陽電子生成倍率は期待できない。何故ならば、チャンネルリングは結晶の表面近傍のみで起こるものであって、電子が内部へ進むとチャンネルリングからはずれてしまう（デチャンネルリング）からである。しかし電子のエネルギーが高くなれば、デチャンネルリングまでの距離は長くなり、厚い結晶もそれなりの働きをすることになる。こういう事情はシミュレーション計算で詳しく調べる必要がある。

### 3. KEK ライナックにおける実験

薄い標的とはいえ、結晶標的が著しい陽電子生成率の増大をもたらすことが実験的に証明されたので、我々は KEK ライナックの現場で結晶標的の実用化に向けてのテストを行うことにした。単結晶というデリケートなものを大電力ライナックの陽電子ステーションに導入するには数多くの困難が予想される。それは次のような問題である。

- (1) 標的は、発生する陽電子を収束するための強力なソレノイドコイルの入口にセットし、その結晶方位をゴニオメーターでコントロールしなければならない。
- (2) 結晶は熱および熱による応力によって結晶構造が破壊する可能性がある。
- (3) ソレノイドコイルは通常強いパルス磁場だから、その影響でゴニオメーターが正常に動作しないかもしれない。
- (4) 結晶軸をどうやって合せるか。外部ビームを用いる実験では、チャンネルリング放射光が前方に発生することを光子検出器でモニターして軸合せができるが、実際の電子ライナックではこういうことができない。

などである。上記諸問題に関して我々は次のように考えた。

- (1) 結晶標的は、チャンネルリング放射光を発生させる部分と、放射光によって電子・陽電子対を生成させる部分に分割することができる。後者は通常重金属でよいので、この部分をソレノイドコイルの入口に固定する一方、放射光を発生する結晶はその上流でゴニオメーターを設置できるような空間

のある場所に置く。

- (2) 上流の結晶標的は薄くてよく、熱負荷は小さいので熱伝導のみで冷却し、強制水冷は行わない。即ち結晶を破壊するような強固な固定をしない。
- (3) 強力パルス磁場の影響を避けるため、磁性体を使わないようにするが、渦電流の影響は実験的に調べる。
- (4) 電子が結晶内でチャネリング状態になると結晶からの特性 X 線が増大するという論文がある [6]。特性 X 線は殆ど等方的に放出されるので、それを側方の窓から観測することによって結晶軸を合わせる可能性を調べる。

以上のような検討に基づいて KEK ライナックの陽電子ステーションを図 3 のようなものに改造した。従来の標的を引き抜いたあとへ、下からゴニオメーターに乗った結晶標的がせり上がってくる構造である。特性 X 線をモニターするための窓が真空チェンバーの上方に設けてある。

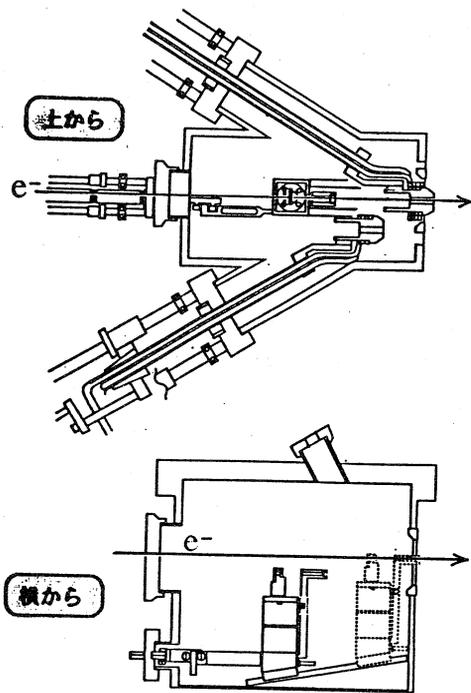


図 3. KEK 陽電子ステーションの改造。

標的に入射する電子のエネルギーは 3~3.7-GeV である。タングステン標的の最適厚さは 4 輻射長と見積もられているが、結晶標的の最初のテスト条件として、0.5 輻射長のタングステン単結晶プラス 2 輻射長の通常タングステン (両者は 65-mm 離れている) とした。結晶を乗せたゴニオメーターを回転させた時の陽電子生成率を図

4 に示す。結晶軸が電子ビームの向きに合った時に陽電子の生成率が約 40% 増加している。これは 4 輻射長の通常標的による陽電子生成率の約

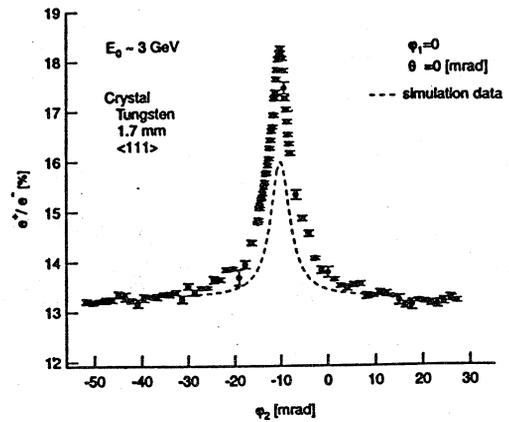


図 4. KEK ライナック結晶標的からの陽電子生成

70%に相当する。ピークの幅はやはりチャネリングから予想されるものより広く、コヒーレント制動放射が寄与していると考えられる。なお、結晶の軸合せは特性 X 線の観測によらずとも可能であった。

図 3 で、従来標的と同型の標的駆動装置が反対側に描いてあるが、これは将来、結晶標的と組み合わせる通常金属標的を設置する場合の想定図である。

4. KEK 田無分室のシンクロトロンによる実験  
KEK ライナックは現在 B ファクトリーのコミッシュニング中であって、結晶標的の実験を繰り返すことは困難なので、田無分室の電子シンクロトロンを用いて基礎実験を行っている。課題はチャネリング放射光の特性の測定、タングステン以外の結晶のテスト、結晶からの特性 X 線の測定、陽電子生成倍率のエネルギー依存性、などである。

文献

- [1] F.J.Decker, SLAC-PUB-5482, 1991
- [2] X.Artru, V.N.Baier, R.Chehab and A.Jejcic, Nucl.Instrum.Methods.Phys.Res.A344 (1994)443
- [3] X.Artru et al. strum.Methods. Phys.Res. B119 (1996)246
- [4] K.Yoshida et al., Phys.Rev.Letters 80(1998) 1437
- [5] I.Sato et al., KEK Report 95-18(1996)
- [6] A.N.Aleinik et al., Pis'ma v Zh.Tek.Fiz.T13, N22(1987)1367