

EXPERIMENTAL STUDY OF POSITRON PRODUCTION FROM SILICON AND DIAMOND CRYSTALS BY AN 8-GEV ELECTRON BEAM

T.Suwada^{1,A)}, K.Furukawa^{A)}, T.Kamitani^{A)}, M.Satoh^{A)}, T.Sugimura^{A)}, K.Yoshida^{A)}, H.Okuno^{B)}, K.Umemori^{C)}, J.Hara^{D)}, H.Fujimoto^{D)}, R.Hamatsu^{D)}, A.P.Potylytsyn^{E)}, I.E.Vnukov^{E)}, I.S.Tropin^{E)}, R.Chehab^{F)},

A) Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK),

B) Institute of Particle and Nuclear Studies, High Energy Accelerator Research Organization (KEK),

C) Institute of Materials Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization (KEK),

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

D) Department of Physics, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami-Ohsawa, Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan

E) Nuclear Physics Institute, Tomsk Polytechnic University, 634050, P.O.Box 25, Tomsk, Russia

F) LAL, IN2P3-CNRS, Universite de Paris-Sud, Bat.200-B.P.34, 91898 Orsay, France

Abstract

We measured positron-production efficiency from an axially-oriented single crystal target by 8-GeV channeling electrons at the KEK electron/positron injector linac. The targets tested are silicon crystals with the thicknesses of 9.9, 29.9 and 48.15mm, a diamond crystal with the thickness of 4.57mm, and their combinations with amorphous tungsten plates. The crystal axis $\langle 110 \rangle$ has been aligned to the electron beam by a precise goniometer. The positron-production efficiency in the momentum range of 10-30MeV/c was systematically investigated for each target by measuring the positron yield generated in the forward direction with a magnetic analyzer. The result shows that the maximum positron-production efficiency from the 29.9-mm-thick silicon and the 4.57-mm-thick diamond combined with amorphous tungsten are 6.1% and 2.9%, respectively, larger than that from amorphous tungsten at the momentum of 20MeV/c. In such a light crystal target combined with amorphous tungsten, the total target thickness, which gives the maximum positron yield, is clearly reduced in comparison with that of the amorphous tungsten alone. The result is also compared with our previous experiments for tungsten crystal targets.

8GEV電子ビームによるシリコン及びダイヤモンド結晶標的を用いた陽電子生成実験

1. はじめに

次世代のリニアコライダーやBファクトリーでは、衝突ルミノシティを上げるために大強度陽電子源が要求されている。高エネルギー電子ビームをタングステンなどの重金属標的に照射し陽電子を生成する従来の方法では、標的の熱負荷による損傷のため陽電子生成量に限度がある。KEKB入射器を中心とする実験グループは、仏オルセー研究所のChehab等が提唱した単結晶標的を利用した新しい陽電子源[1]の可能性を追究すべく陽電子生成実験を続けている。前の報告では、重金属標的であるタングステン (W) 単結晶を標的とした陽電子生成の実験結果を報告した[2]。今回は、KEK8GeV電子ビームを使って、軽元素結晶であるダイヤモンドとシリコンを標的にした陽電子生成実験を行った。これらの軽元素結晶を用いる狙いは、 W 単結晶に比べて高効率なチャネリング放射を期待できるからである(有効放射長の短縮率は、シミュレーションによると8.4倍(シリコン)と5.4倍(W 単結晶)である)。本稿では、これらの結晶から放射する強力なチャネリング放射を利用する新しい陽電子生成について前回のタングステン単

結晶の実験結果も合わせて報告する。

2. 陽電子生成実験

2.1 陽電子標的の構成

従来の方法では、高エネルギー電子を非晶質の重金属標的に当て、標的中で発達する電磁シャワーにより陽電子を発生させる。一方、結晶中に電子が入射すると電子は、格子状に整列した原子核と相互作用し、チャネリング放射過程(CR)及び干渉性制動放射過程(CB)を通して、相対的に低エネルギー光子を多数放射する。このように、新しい方法では、これらの強力な放射を利用し陽電子生成を増大させると期待できる。標的は、CR及びCBを出す放射体(*Radiator*)と陽電子への変換体(*Converter*)から構成される。 W 単結晶中では、標的中で放射と陽電子生成が同時に起こるが、軽元素結晶標的では、軽元素結晶は*Radiator*となり、すぐ後ろに設置される*Converter*には、通常非晶質 W が用いられる。よって、後者の標的構成では、熱負荷をさけるために、

¹ E-mail: tsuyoshi.suwada@kek.jp

非晶質 W 部をどれだけ薄い標的にできるかがポイントの1つになる。

2.2 軽元素結晶

使用したシリコンとダイヤモンド（入射電子に対する結晶軸 $\langle 110 \rangle$ ）の厚さと放射長を表1にまとめる。結晶の後ろには非晶質 W （厚さ3-18mm、3mmステップ）を設置し、陽電子生成の最適化及び生成強度の校正が行えるようにしている。実験装置と入射電子の条件は、前回の実験と同じである[2]。

表1：軽元素結晶の厚さと放射長の関係

	厚さ[mm]	放射長[X_0]
ダイヤモンド	4.57	0.0372
シリコン1	9.9	0.106
シリコン2	29.9	0.319
シリコン3	48.15	0.514

1 $X_0=123\text{mm}$ (ダイヤモンド), 93.6mm(シリコン)

3. 実験結果

3.1 ロッキングカーブ

結晶標的の入射電子に対する軸出しは、入射電子に垂直な面でゴニオメータの2軸（ H 、 V 軸）を回転させることにより陽電子強度が最大になる角度を探すことで行う。本実験から計算機プログラムが改良され、2次元での軸出しが自動的に行えるようになった。軸出しにかかる時間は、約20分で従来の1軸でのスキャンに比べ大幅に時間が短縮された。図1は、ダイヤモンドに8GeV電子を照射し、ゴニオメータを $\langle 110 \rangle$ 軸の回りに回転させた時の陽電子生成量（運動量 $P=20\text{MeV}/c$ ）の相対的な変化を示す。中心に見えるピークが、 $\langle 110 \rangle$ 軸による軸チャネリング放射によるもので、回りの弱いピークは、面チャネリング放射による寄与と考えられる。図2に、 H 軸の回りに回転させた時に得られる陽電子生成量の相対的变化（ロッキングカーブ）を示す。結晶軸がビーム軸と一致した時は、陽電子生成量が最大になり、鋭いピークを示す。その増大度は、軸を外したときに比べ約24倍に達している。しかしながら、ロッキングカーブの分布幅を見るとチャネリング放射の臨界角度（0.13mrad for diamond, 0.17mrad for silicon）に比べ1桁近く大きく $1.40 \pm 0.03\text{mrad}$ である。これは、チャネリング放射のみならず干渉性制動放射による陽電子生成も寄与していると考えられる。図3は、陽電子生成増大度を結晶厚さの関数としてプロットしたもので、厚さが増えるに従い増大度は減少するが、シリコンでは、増大度の変化は7-16倍となり、強力な放射による陽電子生成が起こっていると考えられる。

3.2 陽電子生成増大

得られたロッキングカーブから陽電子生成量の増大度が計算される。増大度は、 H 軸の回転角（ V 軸は最大値に固定）がピークから30mrad離れた角度での陽電子強度に対するピーク強度の比で定義する。図4に軽元素結晶による陽電子生成増大度の標的厚さ（非晶質 W と組合せた厚さ）に対する変化を示す。 W 単結晶の結果も比較のため示す。陽電子Converterである非晶質 W を厚くしてゆくと増大度は急速に減少し、いずれの結晶でも $4X_0$ 程度で通常の非晶質 W のBethe-Heitler過程による陽電子生成に近づく。これは、結晶からのチャネリング放射のエネルギーが相対的に低いために、生成される陽電子が、後段のConverterで多重散乱により広がる効果によるものと推定される。軽元素結晶による増大度は、 W 単結晶に比べ10-20%小さいことがわかった。

3.3 陽電子生成効率

図5に結晶厚さに対する陽電子生成効率を示す。生成効率とは、入射電子1ヶに対する検出陽電子数の割合で定義する。非晶質 W のデータによると最大陽電子生成は、放射長 $4.3X_0$ で得られ、その結果をGEANT3によるシミュレーションを用いて規格化した。軽元素結晶による最大陽電子生成量は、ダイヤモンドと30mm厚シリコンに対し、それぞれ6.1%と2.9%となり、9mm厚の W 単結晶の生成効率（26%）を越えることはなかった。特に、シリコンは、結晶厚さを変えても最大陽電子生成量は、ほぼ一定であった。一方、最大陽電子生成における結晶厚さ依存性（図6）を見ると、非晶質 W の放射長に比べ明らかに減少している。これは、標的の有効放射長が、結晶効果により短縮するという事で理解される。例えば、50mm厚シリコンで見ると有効放射長は、非晶質 W の70%に短縮している。

4. まとめ

ダイヤモンドとシリコンを結晶標的として、8GeV電子による陽電子生成実験を行った。陽電子生成量の最大値は、 W 単結晶を越えることはなく、標的厚さに強く依存せず、ほぼ一定であった。一方、結晶標的の有効放射長は、明らかに結晶厚さに依存して短縮されることを確認した。

参考文献

- [1] R.Chehab, *et al.*, PAC'89, Chicago, IL, p.283.
- [2] T.Suwada, *et al.*, Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, p.105.

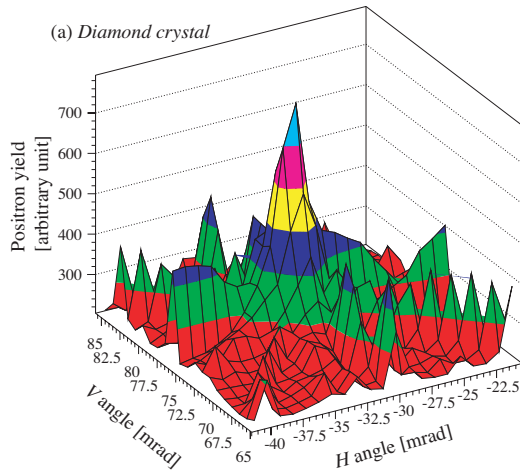


図1：2軸の回転角（ H, V 軸）平面上での陽電子生成の強度分布（標的はダイヤモンド）。

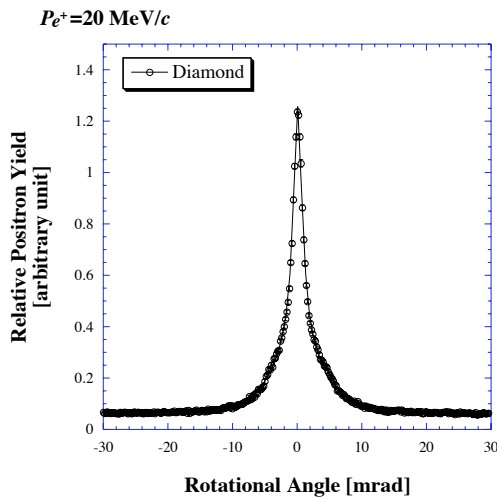


図2： H 軸を回転させたときの（ V 軸は最大値に固定）ロッキングカーブ（標的はダイヤモンド）。

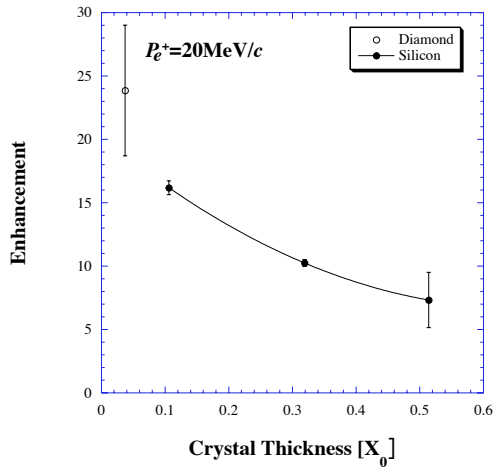


図3：陽電子生成増大度（結晶のみ）の結晶厚さに対する増大度の変化。

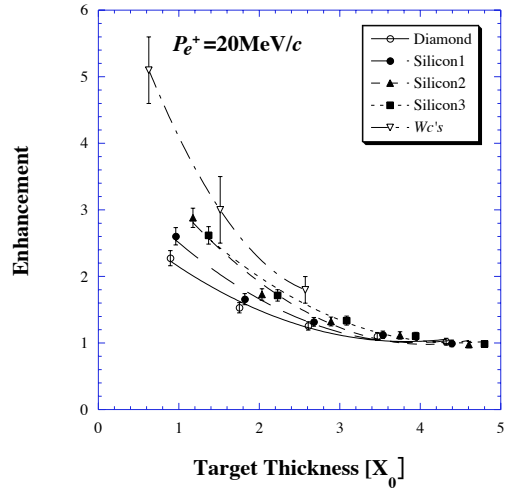


図4：陽電子生成増大度の結晶厚さ依存性（非晶質Wと組合せた放射長）。

(a)

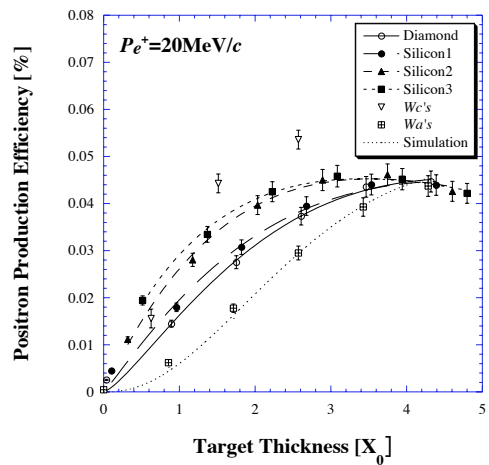


図5：陽電子生成効率の結晶厚さ依存性（非晶質Wと組合せた放射長）。

(b)

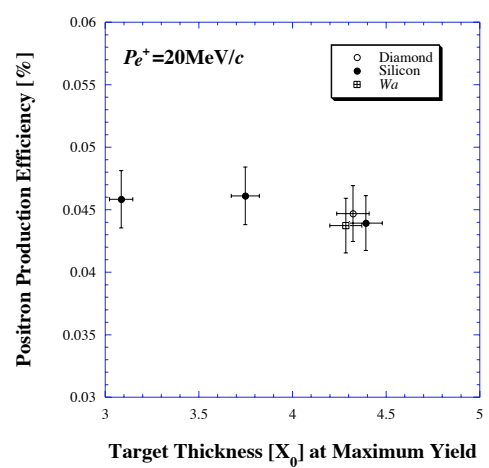


図6：最大陽電子生成厚さに対する陽電子生成効率の変化（非晶質Wと組合せた放射長）。