

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 7 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22540314

研究課題名（和文） 結晶—非結晶複合標的による大強度陽電子源の開発

研究課題名（英文） Development of a positron source using crystal-amorphous hybrid targets

研究代表者

高橋 徹 (Takahashi, Tohru)

広島大学・大学院先端物質科学研究科・准教授

研究者番号：50253050

研究成果の概要（和文）：

従来、陽電子は電子線を金属標的に照射することによって生成されてきた。この方法では将来の線形加速器などにおいて要求される大強度陽電子源を構築すると、生成標的の熱破壊が問題となる。本研究では、この熱の問題を緩和する方法として、結晶とクリスタルを用いた複合標的の可能性を研究し、陽電子源設計の基礎となる実験データを得た。

研究成果の概要（英文）：

In a conventional positron source driven by a few GeV electron beam, a high amount of heat is loaded to a positron converter target to generate intense positrons required by linear colliders, and which would eventually damage the converter target. In this work, we have studied feasibility of using crystal-amorphous hybrid target to relax the problem and obtained experimental data to design positron sources.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数物系化学

科研費の分科・細目：物理学：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：陽電子源

1. 研究開始当初の背景

陽電子は、次世代線形加速器から物性研究などにいたる広範囲の応用がある。通常、高強度陽電子線は、高強度高エネルギー電子をタングステンなどの高密度標的に照射して生成するが、入射電子による発熱や電子線入射時の衝撃波による標的破壊の問題のため、その高強度化には困難が伴う。

結晶に電子を入射する際に起こるチャネリング放射やコヒーレント制動放射を利用することにより、陽電子生成の高効率化が可

能である。これをさらに発展された方法として、結晶—非結晶複合標的の可能性が指摘された。これは、将来の線形加速器の陽電子源に対して大きな貢献をする可能性があり、その実現性を確かめることが重要であった。

2. 研究の目的

結晶—非結晶複合標的による、陽電子生成量の測定、非結晶標的における発熱の測定、を行い、陽電子源の可能生を明らかにする。

3. 研究の方法

KEKB 線形加速器の第3スイッチャードに、結晶標的と非結晶標的からなる、複合標的実験装置を構築する。

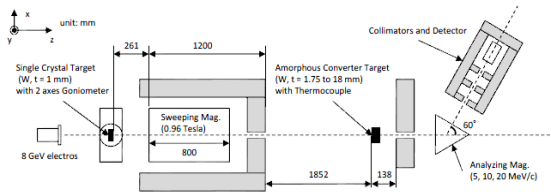


図 1 実験装置図

KEKB 線形加速器からの 8GeV 電子線をタングステン結晶に照射し、陽電子源生成に必要な γ 線を生成する。元の 8 GeV 電子の残りとして結晶中で生成された荷電粒子は、結晶下流に設置した電磁石で曲げることによって取り除き、 γ 線だけが下流に設置した、陽電子生成標的（非結晶タングステン標的）に照射されるようにする。

非結晶標的の下流に陽電子測定装置を設置し、その生成量、運動量を測定する。また、非結晶標的に熱電対を取り付け、温度上昇を測定し、非結晶標的中の熱損失情報を取得する。以上の実験データをシミュレーションと比較することによって、信頼性のある陽電子源設計を可能とする。

4. 研究成果

図 2 は、結晶軸 $\langle 111 \rangle$ と電子線のなす角度を変化させながら測定した、陽電子生成量である。結晶軸と電子線が平行になったときに陽電子量が增大していることが分かる。これによって、結晶による陽電子線生成量の増加を確認できた。これは同時に、実際の加速器運転条件下においても、結晶軸と電子線を必要な精度で一致させることが可能なことを示している。

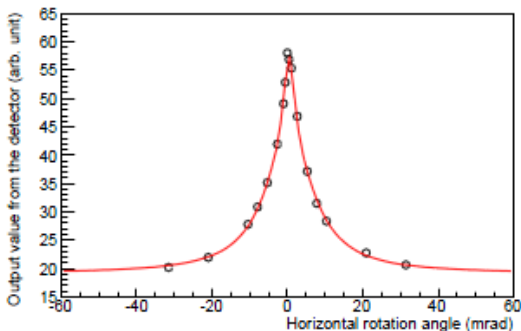


図 2 電子線と結晶軸の角度と陽電子生成量

図 3 は、非結晶標的の厚さを変えながら、陽電子の生成量を測定した結果である。比較のため、電子線を直接非結晶標的に照射する従来型の場合と、複合標的であるが結晶と電子線の軸を一致させて以内場合を示している。図は陽電子運動量が 20MeV の場合である。特に非結晶標的の薄い場合において、複合標的の生成量が従来型を上回っている。これは、複合標的の場合は、結晶で生成された γ 線が対生成過程で陽電子を生成できるため、一度制動放射過程を経なければならない従来型に比べて早い段階で陽電子を生成できることを示している。

図中の実線はシミュレーションによる掲載結果である。シミュレーションには、結晶、非結晶における電磁相互作用、分析電磁石やコリメータなどの、実験条件を入力している。また、実験データとシミュレーションの値は、その素性がよく分かっている従来型のデータで規格化した。シミュレーションは実験データをほぼ再現している。複合標的の場合、シミュレーションがデータを 20%程度上回っている。結晶中における電子の相互作用について、さらなる改良の余地があることを示唆しているが、現在想定している陽電子源設計という観点では許容できる誤差である。

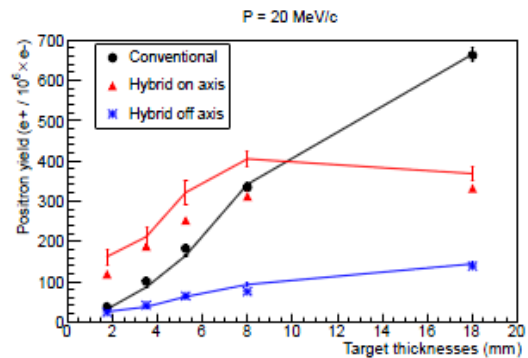


図 3 陽電子生成量の非結晶標的厚依存性。従来型 (黒)、複合標的: 軸調整の場合 (赤)、複合標的: 軸未調整 (青) である。点はデータ、実線は従来型で規格化したシミュレーション。

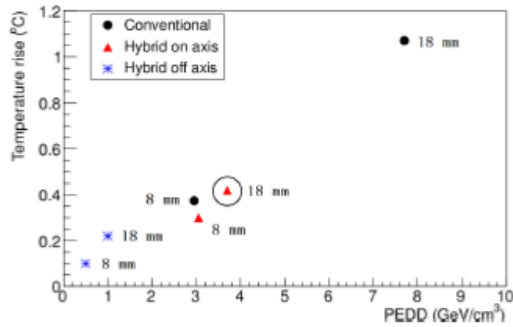


図 4 電子入射毎の温度上昇と標的中の最大エネルギー損失 (PEDD) の関係

陽電子生成量の測定と平行して、非結晶標の後端の温度を測定した。図 4 は電子入射毎の温度上昇とシミュレーションで計算した、非結晶標的中の最大エネルギー損失密度 (Peak Energy Deposit Density=PEDD) との関係である。温度上昇とエネルギー損失が比例関係にあることがみてとれる。これから温度測定により、標的中のエネルギー損失の情報を得ることができることがわかる。温度とエネルギー損失の関係の定量的な考察は今後の課題である。

結晶-非結晶複合標的の系統的な研究によって、陽電子源設計の基本データを得ることができた。複合標的自体の課題としては、電子線-γ線の変換効率のより高い結晶を調査し、実験すること。

より冷却効率の高い非結晶標的の研究が望まれる。前者についてはダイヤモンド、後者については顆粒状標的が候補である。

加えてこの研究を通じて、従来型方式の性能とパラメータを見直すことができた。それによって、従来不可能と考えられていた、国際リニアコライダー (ILC) の陽電子源において、従来型陽電子源の適用可能性が認識された。これは ILC 計画にとっても重要な知見であり、本研究の大きな成果であるといえる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① “A conventional positron source for international linear collider”, Nucl. Instr. and Meth. A672 52-56, (2011), 査読有, Tsunehiko Omori, Tohru Takahashi, Sabine Riemann, Wei Gai, Jie Gao, Shin-ichi Kawada, Wanming Liu, Natsuki Okuda, Guoxi Pei, Junji Urakawa, Andriy Ushakov

[学会発表] (計 8 件)

- ① 上杉祐貴, 他 “リニアコライダーのための結晶-非結晶複合標的による陽電子源開発 III”, 日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 26 日-29 日, 東広島市
- ② T. Takahashi, “Hybrid Target R&D at KEK-LINAC”, LCWS2012, 2012 年 10 月 22 日-26 日, アーリントン市 (米国)
- ③ T. Takahashi, “Status of Hybrid target R&D at KEK-LINAC” KILC2011, 2012 年 4 月 23 日-4 月 27 日, 大邱市 (韓国)
- ④ 上杉祐貴 “リニアコライダーのための結晶-非結晶複合標的による陽電子源開発 II”, 日本物理学会第 67 回年次大会 2012 年 3 月 24 日-27 日, 西宮市
- ⑤ T. Takahashi, “Status of Hybrid target R&D at KEK-LINAC” LCWS2011, 2011 年 9 月 26 日~9 月 30 日, グラナダ市 (スペイン)
- ⑥ T. Takahashi, “Status of Hybrid target R&D at KEK-LINAC”, ALCPG11, 2011 年 3 月 19 日~3 月 23 日, ユージーン市 (米国)
- ⑦ 高橋徹, “結晶-非結晶複合標的による高強度陽電子源の開発” 日本物理学会 2010 年度分科会, 2010 年 9 月 11 日-9 月 14 日, 北九州市
- ⑧ T. Takahashi, “Hybrid Target Test at KEK LINAC”, ILC2010, 2010 年 5 月 31 日-6 月 2 日, つくば市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 徹 (Takahashi Tohru)

広島大学・大学院先端物質科学研究科・准教授

研究者番号 : 50253050

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

浦川 順治 (Urakawa Junji)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・教授

研究者番号 : 00160333

大森 恒彦 (Omori Tsunehiko)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・講師

研究者番号 : 80185389

古川 和朗 (Furukawa Kazuro)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器
研究機構・教授
研究者番号：00190132

諏訪田 剛 (Suwada Tsuyoshi)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器
研究機構・准教授
研究者番号：20236061