

専用リニアックからのビームを用いた陽電子利用実験

栗原俊一^{1, A)}、柳下 明^{A)}、野村昌治^{A)}、明本光生^{A)}、穴見昌三^{A)}、阿部 勇^{A)}、池田光男^{A)}、榎本收志^{A)}、大越隆夫^{A)}、大沢 哲^{A)}、小川雄二郎^{A)}、柿原和久^{A)}、片桐広明^{A)}、上窪田紀彦^{A)}、紙谷琢哉^{A)}、小林 仁^{A)}、設楽哲夫^{A)}、白川明広^{A)}、諏訪田 剛^{A)}、中尾克巳^{A)}、中島啓光^{A)}、福田茂樹^{A)}、古川和朗^{A)}、本間博幸^{A)}、松本利広^{A)}、道園真一郎^{A)}、矢野喜治^{A)}、山口誠哉^{A)}、細山謙二^{A)}、斎藤晴雄^{B)}、長嶋泰之^{B)}、兵頭俊夫^{B)}、永井康介^{C)}、長谷川雅幸^{C)}、井上 嘉^{D)}、堂山昌男^{D)}

^{A)} 高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

^{B)} 東京大学

〒153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1

^{C)} 東北大学金属材料研究所

〒311-1313 茨城県東茨城郡大洗町成田

^{D)} 帝京科学大学

〒409-0193 山梨県北都留郡上野原町八ツ沢 2525

概要

電子線形加速器を用いた高強度陽電子ビーム利用実験は1992年に放射光実験施設において開始された。装置の改良を進めながら、1995年度には 10^8 個/秒のビーム強度を得て、1996年度からは飛行時間法による SiO_2 表面からのポジトロニウム放出の研究等国際的に高く評価されるものも出てきた。しかしKEKBの進展にともない入射器の大幅な改造がなされることとなり、1996年12月で利用を終了し、直後から電子陽電子入射器棟の南端にビームライン移設を開始した。1998年4月には移設が完了し、調整時のKEKB加速器を利用し、陽電子ビーム利用実験を再開した。共同利用者の協力によりポジトロニウムTOFおよび2次元角相関装置を整備してきたが、2000年4月の陽電子発生部冷却水故障とその復旧の経験からKEKBトンネルを陽電子発生用加速器が共用することの困難さが明らかとなり、ホール内への加速器、発生部の移転が検討、開始された。現在進行中の陽電子実験ホールへの専用加速器、および新陽電子ビームラインの移設、新設計画、新陽電子発生部からのビームラインの構成、実験ステーションの紹介と低速陽電子ビームを用いることにより広がる物理を述べる。

1. はじめに

本機構の加速器を利用した物質科学研究用探針としての二次粒子には、中性子、ミュオン、光子があるが、これに四番目の探針として陽電子を加えるべく、旧放射光実験施設では1990年度より低速陽電子利用に関する調査を開始し、1991年度より低速陽電子発生部、輸送路の試作を開始した^[1]。1992年度

には本格的な建設に着手し、第3ビームスイッチャードに設置された低速陽電子発生部に2.5GeV電子線形加速器からの高エネルギー電子ビームを照射し、12月に輸送路終端で低速陽電子ビームを検出した。この後、装置の改良、拡張を行ない、1995年度には1次電子ビームの電力量2kWの時に 10^8 個/秒のビーム強度を得てビーム強度としては設計時の目標値を達成した^[2]。この後、陽電子ビームの直流化、透過形再減速材配置による輝度増強試験等を行ない、陽電子ビームの物質科学への利用に備えた^[3]。

電子線形加速器を用いた高強度低速陽電子ビームの発生および輸送の開発研究と平行して陽電子ビームの利用研究を進めた。再放出形陽電子顕微鏡の開発^[4]、逆ポジトロニウム分光のための基礎研究等が上げられる。ポジトロニウム飛行時間法による物質表面の仕事関数の測定については、 SiO_2 表面からのポジトロニウム放出の研究等国際的に高く評価されるものも出てきた^[4]。しかしKEKBの進展にともない元の2.5GeV電子線形加速器を大幅に改造することとなった。低速陽電子発生部の設置されていた第3ビームスイッチャードでは建設されるKEKBのビームラインと低速陽電子発生部とが干渉することとなった。このため、1996年12月で利用を終了し、全装置をここより撤去し、現在の電子陽電子入射器棟南端に移設することとなった^[5]。1998年4月には移設が完了し、調整時のKEKB加速器を利用し、陽電子ビーム利用実験を再開した。共同利用者の協力によりポジトロニウムTOFおよび2次元角相関装置を整備してきたが、2000年4月の陽電子発生部冷却水故障とその復旧の経験からKEKBトンネルを陽電子発生用加速器が共用することの困難さが明らかとなり、実験ホール内への加速器、発生部の移転が検討、開始された。

¹ E-mail: toshikazu.kurihara@kek.jp

2. 施設概要

新しい陽電子実験施設は低速陽電子発生用専用加速器、および低速陽電子発生部、陽電子ビームライン、実験ステーションからなる。

専用加速器は旧 2.5GeV 電子線形加速器側室に設置されていたテストリニアックを第3スイッチャードからの移設の折に KEKB LINAC B セクター西側壁面に設置し、立ち上げかけたが冷却水故障によるメンテナンス性の困難さから今回ホール内に設置されることとなった。詳細は今研究会で別に発表される。(2P-34 大越他を参照されたい)

陽電子発生部はホール内のシールドスペースの関係から KEKB ARC 部の既設低速陽電子発生部の移設、ではそのスペースが確保できず軽量、コンパクトなものを新設した。ビームラインは既設の陽電子消滅2光子角相関測定装置まで低速陽電子を輸送する必要があるが、経費の制約もあり部品の再利用、輸送磁場用コイルの機構内製など、経費を切り詰めるためにあらゆる方法を検討した。

実験装置は移転前に利用実験のビームタイムの約9割を使用していたポジトロニウム飛行時間法実験装置を移転して使用し、また、1998年5月に完成した陽電子消滅2光子角相関測定装置¹⁾はビームラインを延長することにより、そのまま使用する。

この秋からの施設運用を予定しているが、さしあたるビーム仕様としては
低速陽電子ビーム仕様：

最大エネルギー：60 keV

最大強度： $10^8 e^+/s$

標準強度： $8 \times 10^7 e^+/s$ (1次ビームエネルギー46MeV, 0.75kW 時)

ビーム形態：(1)パルスビーム (2)DC化ビーム

ビームライン真空度： $10^{-7} Pa$ (ドライ雰囲気)

を予定している。ビームライン全体の概要を図1に示す。

3. 陽電子発生部および輸送路

低速陽電子発生部は小型化を最優先して設計した。その上で、陽電子ビームを効率良く発生させ、最大60keVのエネルギーまで加速出来るように電極構造の設計を行なった。陽電子引き出し部分の構造は、特にテストリニアックにおいてなされた高輝度電子銃開発の成果を取り入れたものとした。電極構造を軸対象とし、モデレーターから引き出される陽電子ビームの断面は円形となっている。冷却水故障での知見を取り入れ、さらに電力増強に耐えられるようにローレンス・リバモア研究所のグループとの議論に触発された冷却の構造としている。

ビームライン輸送はソレノイド磁場による方法であることは、以前と同様である²⁾。ビームラインの軽量化に努め、ビームラインダクト、ステアリングコイル、ソレノイドコイルをユニット毎に各々が支持しあう、モノコック構造とした。したがって、ダクト自体はビームライン架台から間接的に支持されている。ビームラインにはイオンポンプ、NEGポンプ

の排気系、MCPを用いた陽電子モニター、プラスチック・シンチレーターを用いた陽電子ビーム・ロスモニター、ペニング・トラップによる疑似直流化装置等が組み込まれている。

4. ポジトロニウム TOF 実験

陽電子ビームを物質に入射すると、表面からポジトロニウムが放出されることが知られている。ポジトロニウムとは電子および陽電子による水素原子様の束縛状態であり、金属バルク中では伝導電子による遮蔽効果が大きく、ポジトロニウムは存在しないことが知られている。したがって、ステンレス製の真空チェンバー中に置かれた絶縁体結晶に陽電子ビームを照射した場合、ポジトロニウムが検出されれば、それは絶縁体試料からということになる。放出されたポジトロニウムが3光子消滅するまでの飛行時間を計ることにより、放出されるときエネルギーを測定しようというのがこの実験のねらいである。Linacによる陽電子ビームは1次ビームがパルス状であるので2次ビームである低速陽電子ビームも時間分解能をもち、この目的に適している。消滅 γ 線はビームラインに対し直角にスリットを置き、プラスチックシンチレータで360度の範囲を計測するシステムにより検出される。この光電子増倍管の出力をLinacからのトリガー信号によりデジタルオシロスコープに取り込み測定することによりポジトロニウムの仕事関数を測定することが出来る¹⁾。

5. 陽電子消滅2光子角相関測定

陽電子消滅角相関測定は対消滅するときの2本の γ 線の放出される角度を正確に測定することにより、消滅相手の電子の運動量を求める実験方法である。通常使用されている半導体検出器を用いた線幅の測定に比べて分解能が良く、しかも電子構造のトポロジーに関する情報が得られることから、白色の陽電子を用いてフェルミ面の研究に利用されてきた。ただし、この実験方法では陽電子の強度が $10^8 \sim 10^9 e^+/s$ 必要である。本施設で行なおうとしている表面・界面およびそれに関わる格子欠陥の電子構造の研究のためには単色の陽電子ビームが前述の個数必要であり、減速材の効率を考えると、加速器により得られる高強度低速陽電子ビームを用いる以外に選択の余地はないのが現状である。

6. 今後の予定

平成13年度前期よりビームライン設計、部品製造、建設にかかる。夏期停止期間に最終的な物品の搬入を完了し、建設にかかる。夏期停止期間終了後の立ち上げ直後のKEKB加速器利用のビームタイムを経て、ポジトロニウムTOF実験装置を移設する。専用加速器により生成する低速陽電子利用のTOF実験の開始目標を平成13年11月とする。あわせて角相関測定装置(ACAR)を利用可能とする。

なお、平成15年度には本格的な共同利用を開始することを目標としている。

参考文献

- [1] A. Asami et al. "A slow-positron source project using the Photon Factory electron linac", Mater. Sci. Forum, 105-110, 1992, 1833-1836.
- [2] T. Shidara et al. "The KEK slow-positron source", Mater. Sci. Forum, 175-178, 1995, 205-208.
- [3] T. Kurihara et al. "An overview of the slow-positron beam facility at the photon factory, KEK", Appl. Surf. Sci., 85, 1995, 178-181
- [4] Y. Nagashima et al. "Origins of positronium emitted from SiO₂", Phys. Rev. B 58, 1998, 12676-12679
- [5] T. Kurihara et al. "Intense positron beam at KEK", Nucl. Instr. and Meth. B 171, 2000, 164-171
- [6] T. Kurihara "The Positron Beams at KEK", Mater. Sci. Forum, 363-365, 2001, 433-438.

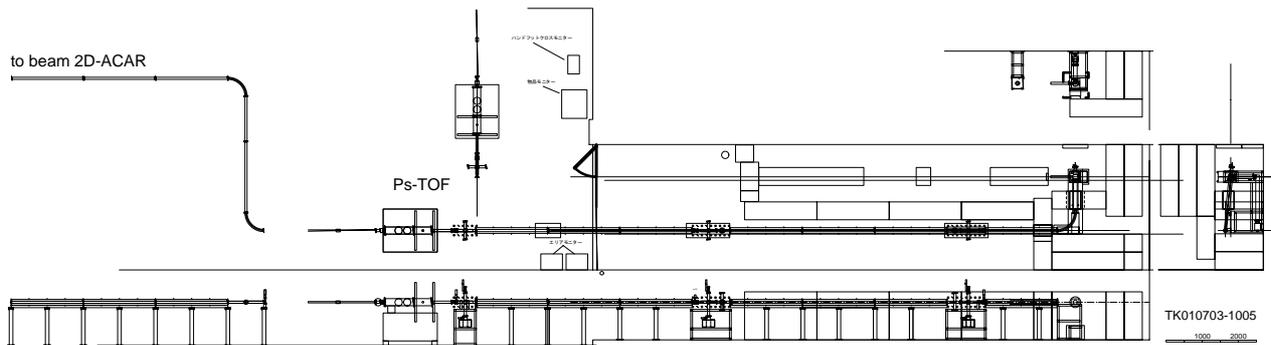


図1 : ビームライン全体の概要