

ナノ空孔中における2P励起状態ポジトロニウムの消滅現象の研究

Study of the annihilation of 2P excited state positronium in nanopores

石田明¹, 難波俊雄¹, 大島永康², オロークブライアン², 満汐孝治², 伊藤賢志², 兵頭俊夫³, 望月出海³, 和田健³, 前川雅樹⁴

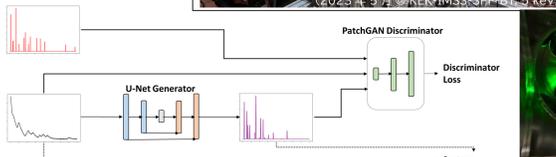
1 東京大学, 2 産総研, 3 KEK-物構研, 4 量研高崎

Ps-BEC・ガンマ線レーザー 実現スキームと ＜現時点での研究の進捗＞

- (1) Ps生成・濃縮・冷却ナノ反応器に
 - (2) 高密度陽電子ビームを打ち込んで高密度Psを生成し,
 - (3) レーザー冷却によってPs-BECを実現
- 実現したPs-BECにガンマ線発生促進用203 GHz ミリ波発生器を照射してガンマ線レーザーを発生

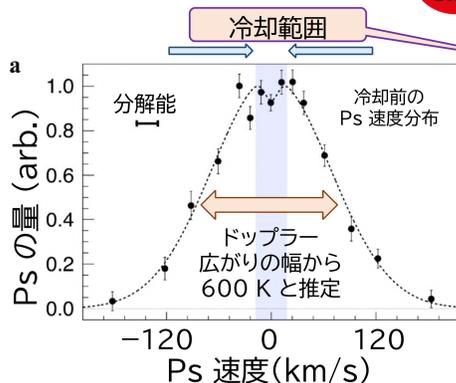
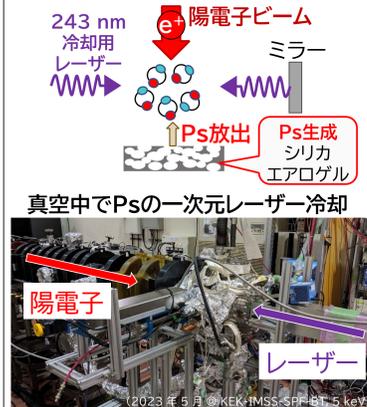
- ✓ (3)レーザー冷却の開発を完了
- ✓ (1), (2) を開発中

機械学習(敵対的生成ネットワーク:GAN)を用いた検出器信号解析

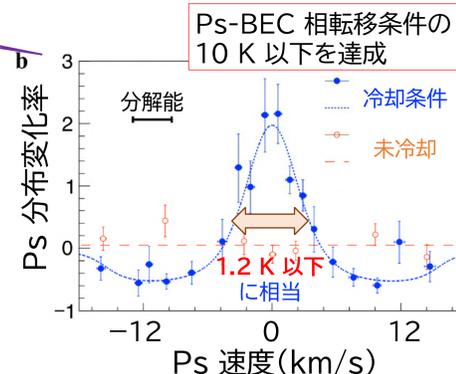


産業技術総合研究所 (AIST)
<https://unit.aist.go.jp/rima/ja/teams/ab-mg.html>

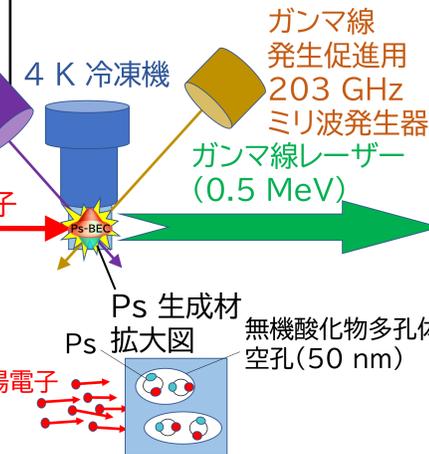
Ps のレーザー冷却の実証に成功 —Ps では歴史上初—



“Cooling positronium to ultralow velocities with a chirped laser pulse train”, K. Shu, A. Ishida, K. Yoshioka et al., Nature 633, 793 (2024).



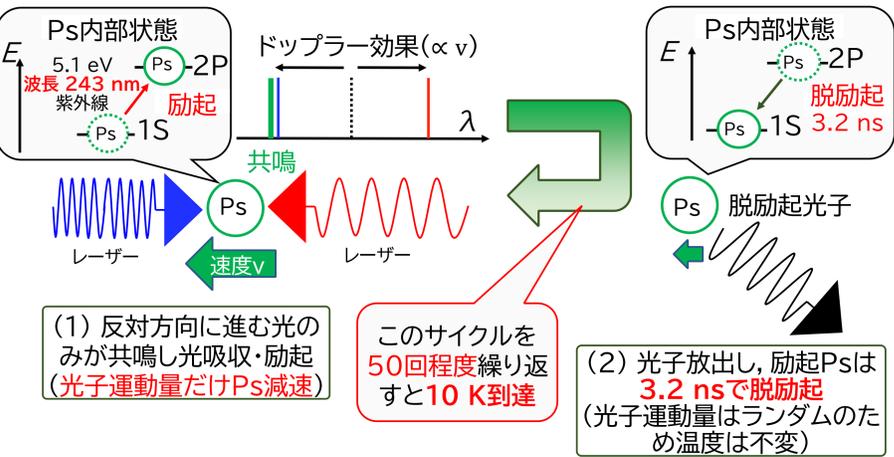
(3) Ps冷却用レーザー
波長 243 nm 紫外光,
300 ns 長パルス
【開発完了】



(2) 高密度陽電子ビーム
発生・制御システム
【開発中】

(1)Ps生成・濃縮・
冷却ナノ反応器
【開発中】

Ps レーザー冷却の原理



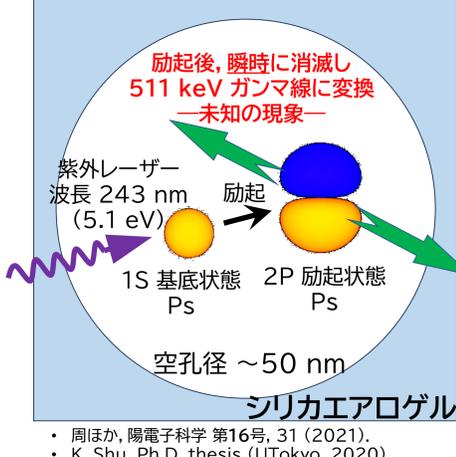
レーザー冷却を阻害する現象の発見と課題

適切な組成と構造をもつ新規材料開発が急務となった

【課題】
Psが感じる空孔表面ポテンシャルの物理モデル構築と励起-消滅プロセスの解明

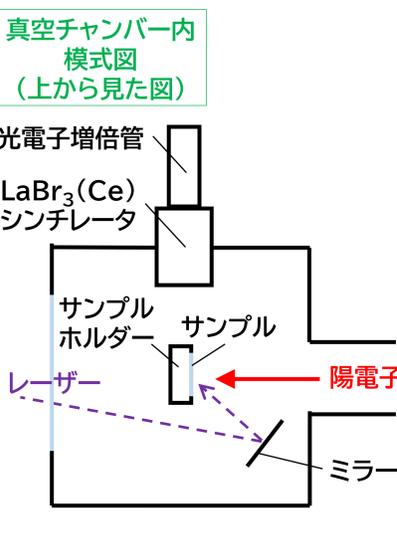
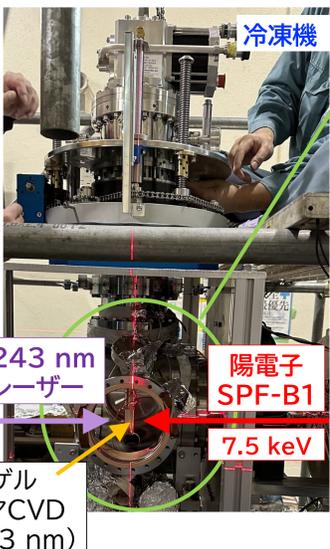
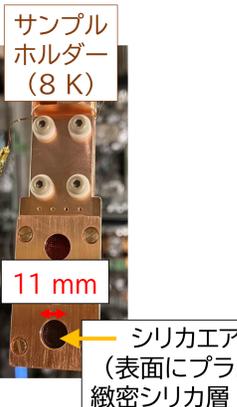
【室温での測定で判明したこと】

- レーザー波長243 nm付近でのみ消滅 → 2P状態になって消滅
- 共鳴幅から計算される寿命 ~ 数100 fs ~ 空孔中のPs平均自由時間 → 空孔壁との衝突が関与?
- Ps生成から2P励起までの時間が長いほど、消滅率が小さい

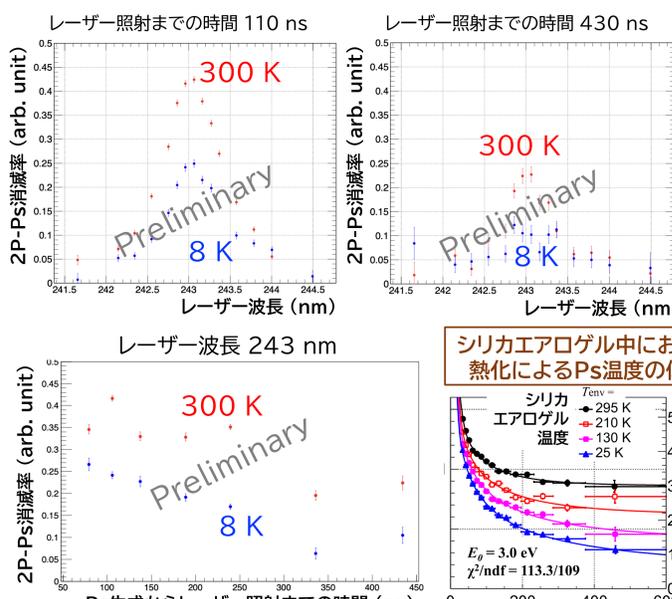


低温シリカエアロゲル空孔中における Ps レーザー遷移

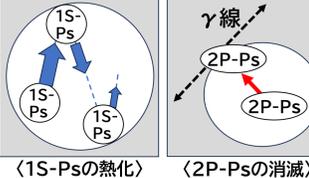
陽電子ビーム強度	10 ⁵ e ⁺ /pulse
繰り返し	50 Hz
パルス幅	11 ns
ビーム径	10 mm



実験の現状と今後



2P-Psがシリカエアロゲル中の空孔壁に衝突することで崩壊しており、熱化によってPs温度が低下することで2P-Psの崩壊率が減少している可能性がある



【今後の方策】
要素のパラメータ化と2P-Ps崩壊率計測
予想される要素:
•Ps温度
•空孔構造, 化学組成
→ 励起Psをプローブに活用した新規表面分析手法に展開し, 物質科学研究への応用を期待

謝辞
本研究の一部はJST創発的研究支援事業 JPMJFR202L, JSPS科研費 JP16H04526, JP17H02820, JP17H06205, JP17J03691, JP18H03855, JP19H01923, JP23H05462, 公益財団法人 松尾学術振興財団, 公益財団法人 三豊科学技術振興協会, 公益財団法人 光科学技術研究振興財団, 公益財団法人 三菱財団, TIA連携プログラム探索推進事業「かけはし」TK17-046, TK19-016の助成を受けたものです。実験は高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所放射光共同利用実験課題(課題番号: 2017P009, 2018G100, 2020G101, 2020G631, 2022G087, 2024G143)により実施しました。