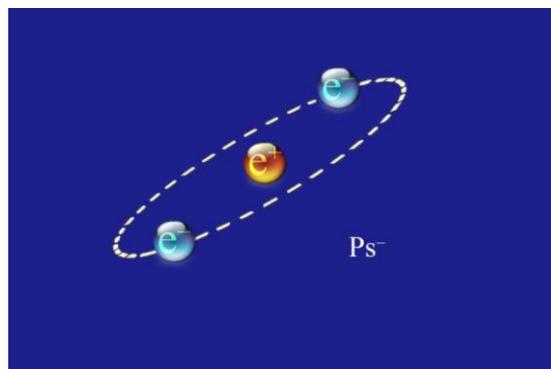


ポジトロニウム負イオンとポジトロニウムビーム

Positronium negatives ion and an energy-tunable positronium beam



東京理科大学
長嶋泰之

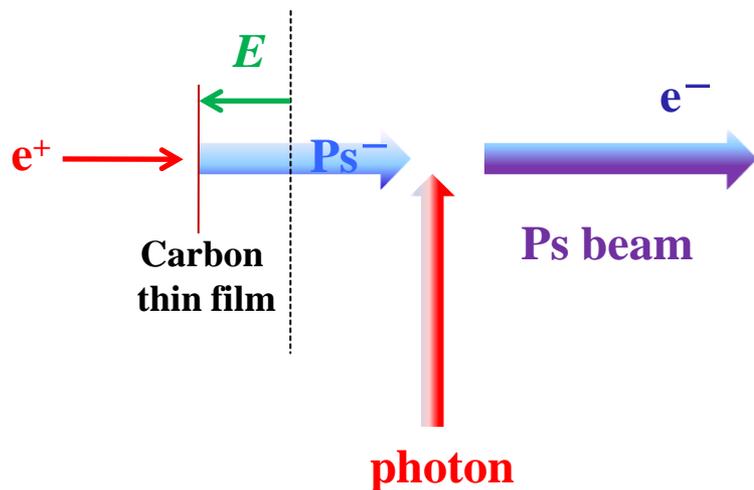
Y. Nagashima
Tokyo University of Science, Japan

ポジトロニウム負イオンの光脱離

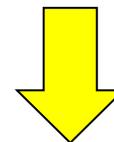
エネルギー可変 Ps^- ビームの生成が可能に！
Production of an energy-tunable Ps^- beam is feasible!

Ps^- を電場で加速することは不可能

Ps^- を生成し、加速してから光脱離させれば、
エネルギー可変 Ps^- ビームの生成が可能

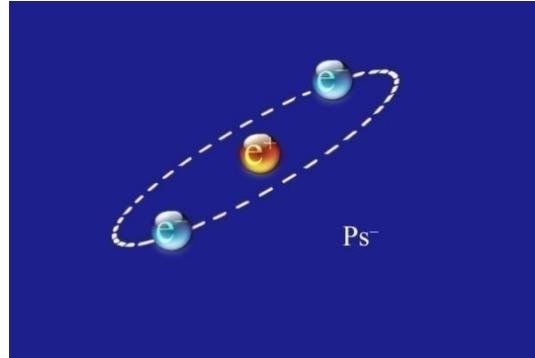


アルカリ金属を蒸着したタングステンを用いれば
 Ps^- を効率よく生成することが可能
(Nagashima et al., New. J. Phys. 10 (2008) 123029)

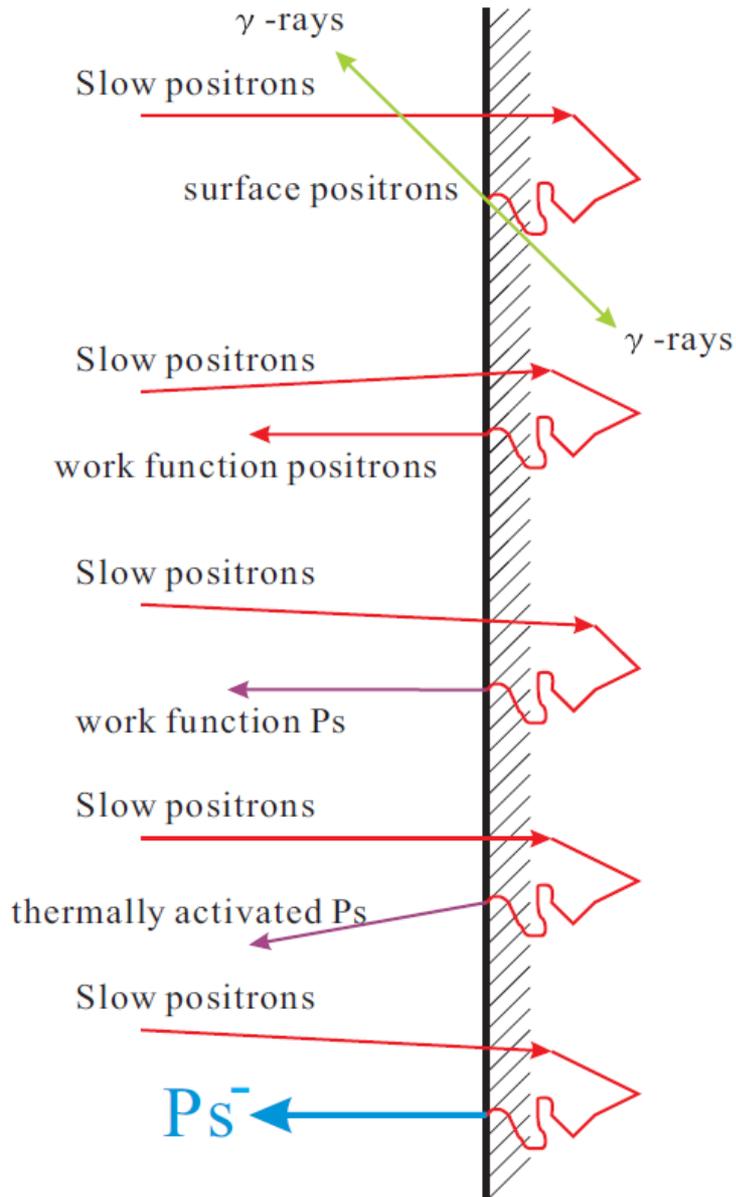


Ps^- 利用してエネルギー可変 Ps^- ビームを
生成することが可能となった。

ポジトロニウム負イオン (Ps^-)



- ✓ H^- 様イオン
ただし Ps^- を構成する全ての粒子は等しい質量をもつ。
- ✓ $e^- - \text{Ps}$ の束縛エネルギー = 0.33eV
3粒子に分解するために必要なエネルギー = 7.13eV
- ✓ $e^+ - e^-$ の平均距離 = $5.5a_0$
- ✓ 寿命 = 479ps
2光子に自己消滅する。



Ps⁻の放出に必要なエネルギー:
The energy required for Ps⁻ emission

e⁻ 仕事関数

$$\phi_{\text{Ps}^-} = \phi_+ + 2\phi_- - 7.13\text{eV}$$

e⁺ 仕事関数

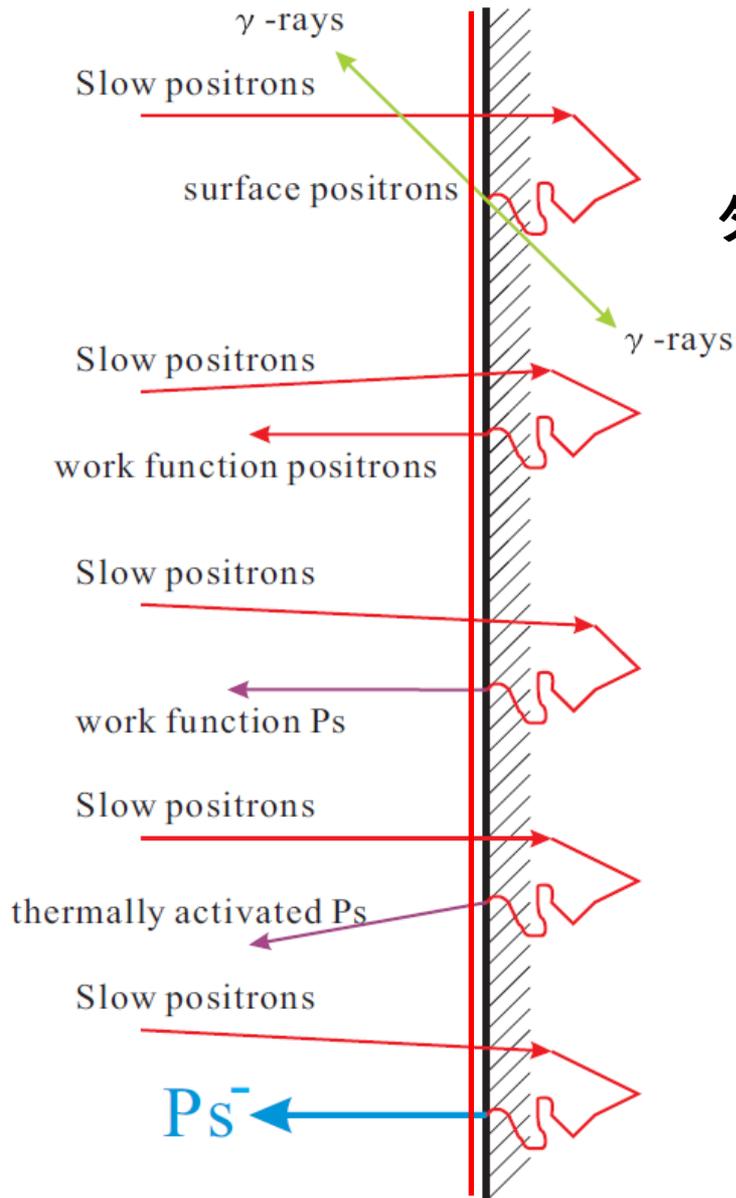
Ps⁻を3体に分解するために
 必要なエネルギー
 (The energy required to break up
 Ps⁻ into three isolated particles)

タングステン(W)では $\phi_{\text{Ps}^-} = -1\text{eV}$



Ps⁻は自発的に放出される
 (Ps⁻ is emitted from the surface spontaneously.)

放出率 < 0.01%



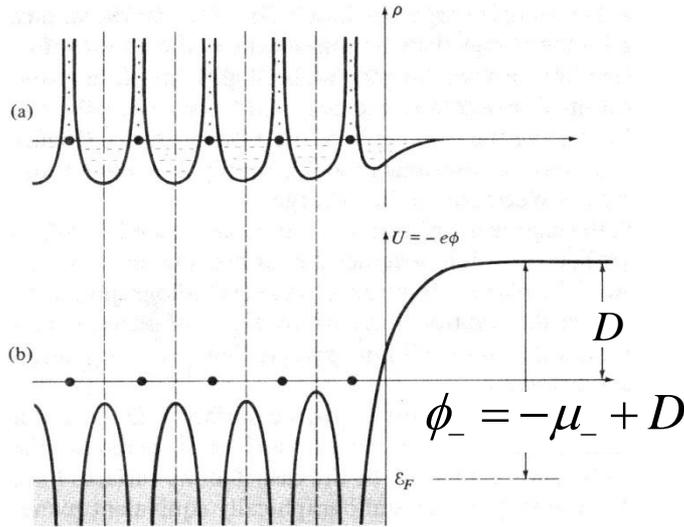
タングステン表面にアルカリ金属を蒸着すると
 Ps^- 放出率が飛躍的に増大する。

(By coating alkali metals onto the surface,
 the efficiency increases dramatically.)

~ 1.5%

金属表面における e^- および e^+ のエネルギー

Energy levels of e^- and e^+ near metal surface



e^- のエネルギー

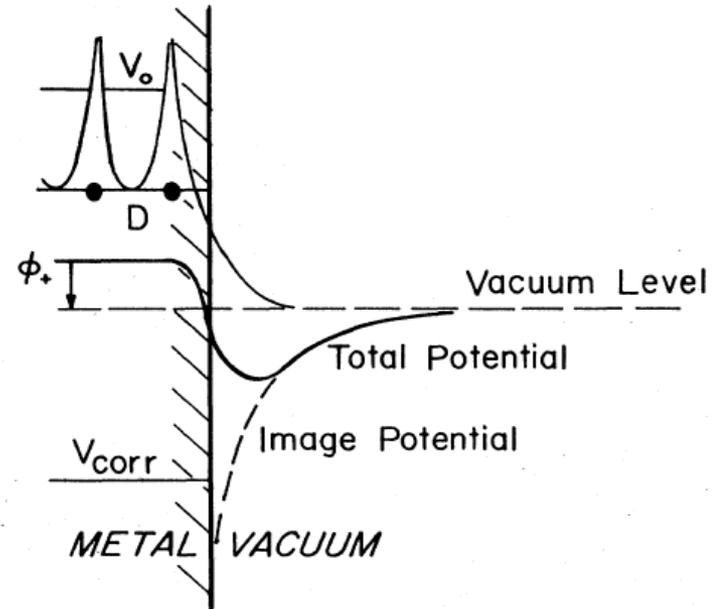
(Achcroft and Mermin)

$$e^- \text{ 仕事関数: } \phi_- = -\mu_- + D$$

μ_- : e^- 化学ポテンシャル

μ_+ : e^+ 化学ポテンシャル

D : 表面電気2重層の効果



e^+ のエネルギー

(Schultz and Lynn, Rev. Mod. Phys. 60 (1988) 701)

$$e^+ \text{ 仕事関数: } \phi_+ = -\mu_+ - D$$

Ps^- を放出させるために必要なエネルギー:

$$\phi_{Ps^-} = -\mu_+ - 2\mu_- + D - 7.13\text{eV}$$

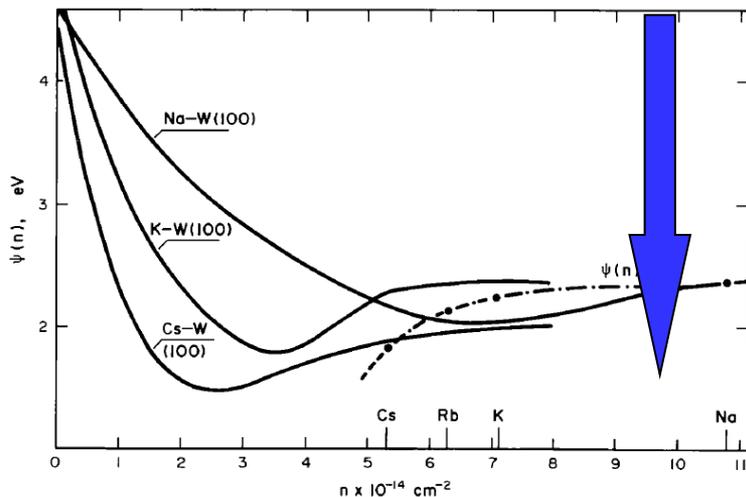
Ps⁻放出に対するアルカリ金属蒸着の効果

Effect of alkali metal coating for the Ps⁻ emission

アルカリ金属の蒸着による ϕ_- の変化

Change of ϕ_- for tungsten by alkali metal coating

D が減少



Kiejna and Wojciechowski,
Prog. in Surf. Sci. 11 (1981) 293

表面電気2重層の減少によって
 D が減少する。

D decreases by alkali metal coating
due to the surface dipole reduction.

$\phi_{\text{Ps}^-} = -\mu_+ - 2\mu_- + D - 7.13 \text{ eV}$ が低下する。

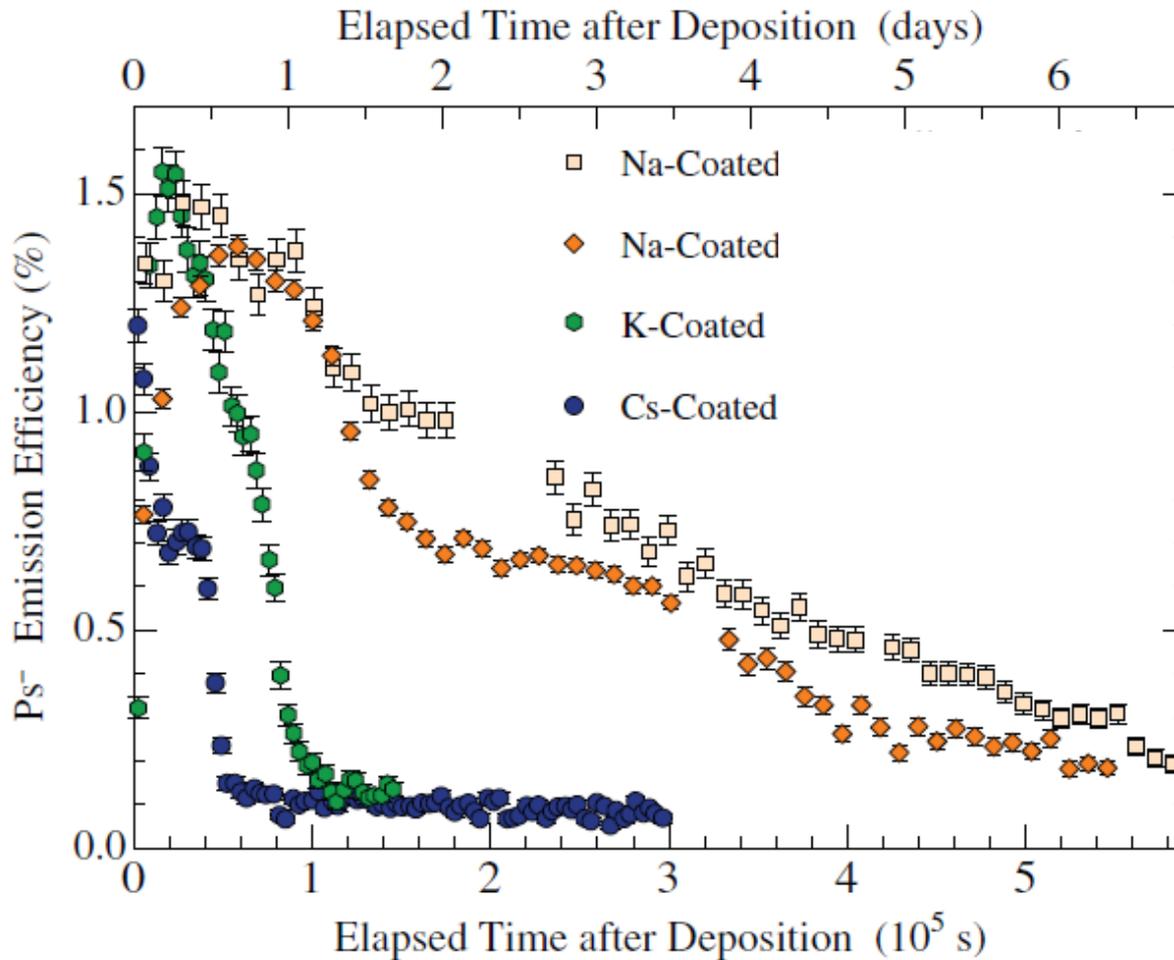
Ps⁻の生成に寄与する電子が増える。

The fraction of conduction electrons
available for the Ps⁻ production increases.

Ps⁻放出率が増大する。
Ps⁻ emission efficiency increases.

Ps⁻放出に対するアルカリ金属蒸着の効果

Effect of alkali metal coating for the Ps⁻ emission

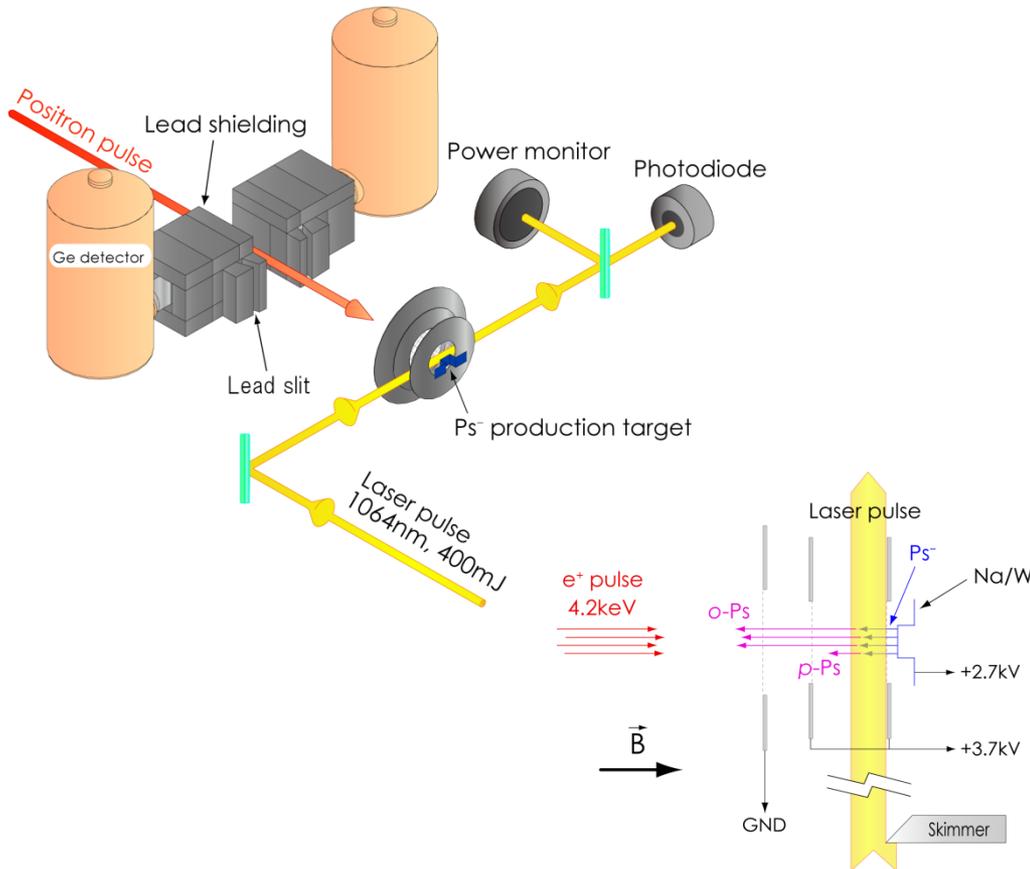


NaはPs⁻の生成には最適なアルカリ金属である。
Na is the best alkali metal for the Ps⁻ production.

carbon foil
clean W

Ps⁻光脱離実験

Ps⁻ photodetachment experiment



e⁺ ビーム :

(KEK Linac)

パルス幅 12ns
繰り返し周波数 50pps

レーザー:

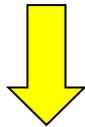
Q-switched Nd: YAG
(Spectra Physics GCR290)
波長 1064nm
(1.165eV)

パルス幅 12ns
繰り返し周波数 25pps
パワー 10W

Ps⁻光脱離実験

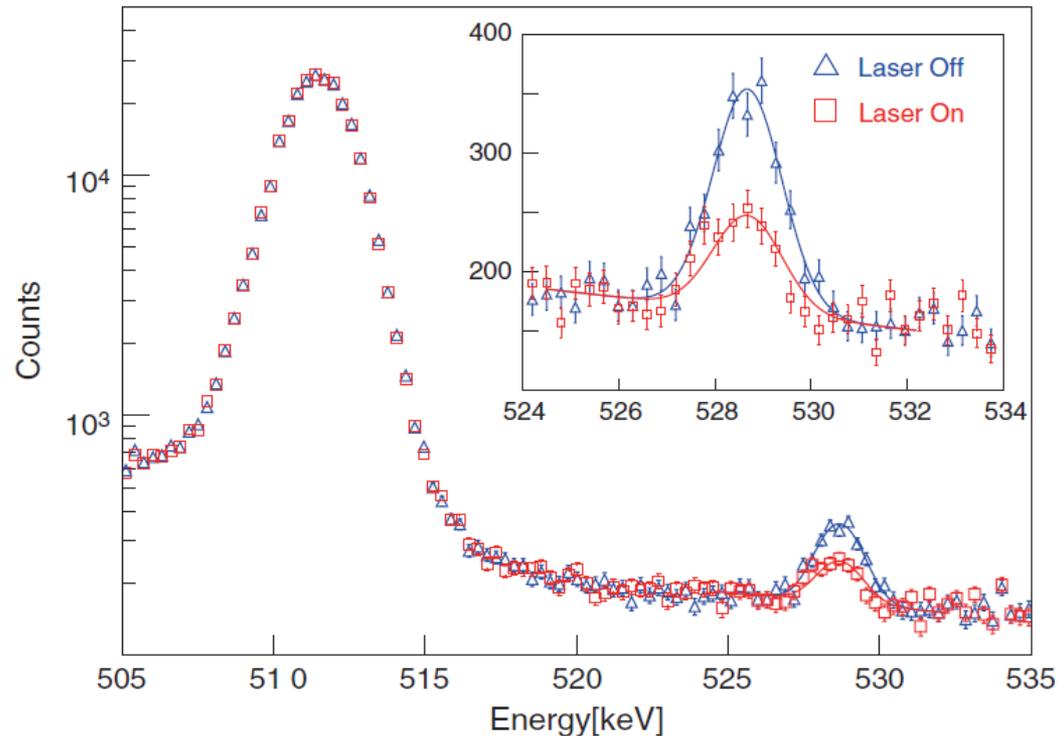
Ps⁻ photodetachment experiment

Ps⁻ → 25% p-Ps, 2光子に自己消滅
Ps⁻ → 75% o-Ps, 3光子に自己消滅



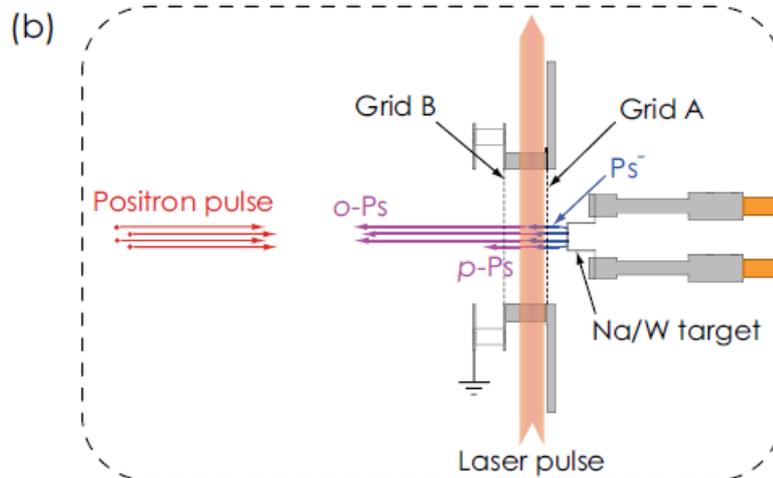
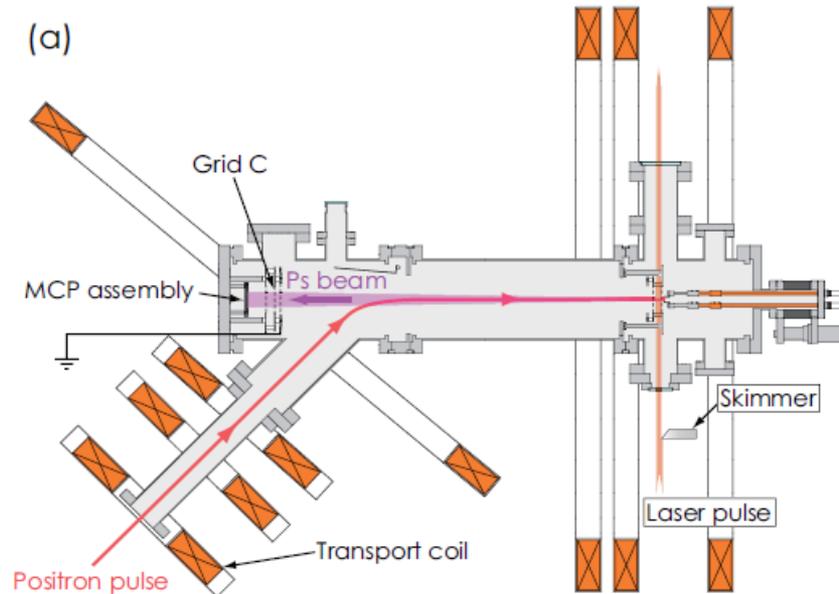
Ps⁻が光脱離すれば、
ピーク強度が低下するはずである。

If Ps⁻ ions are photodetached,
the peak intensity will decrease.



Ps⁻ 光脱離が観測された。
Ps⁻ photodetachment has been observed !

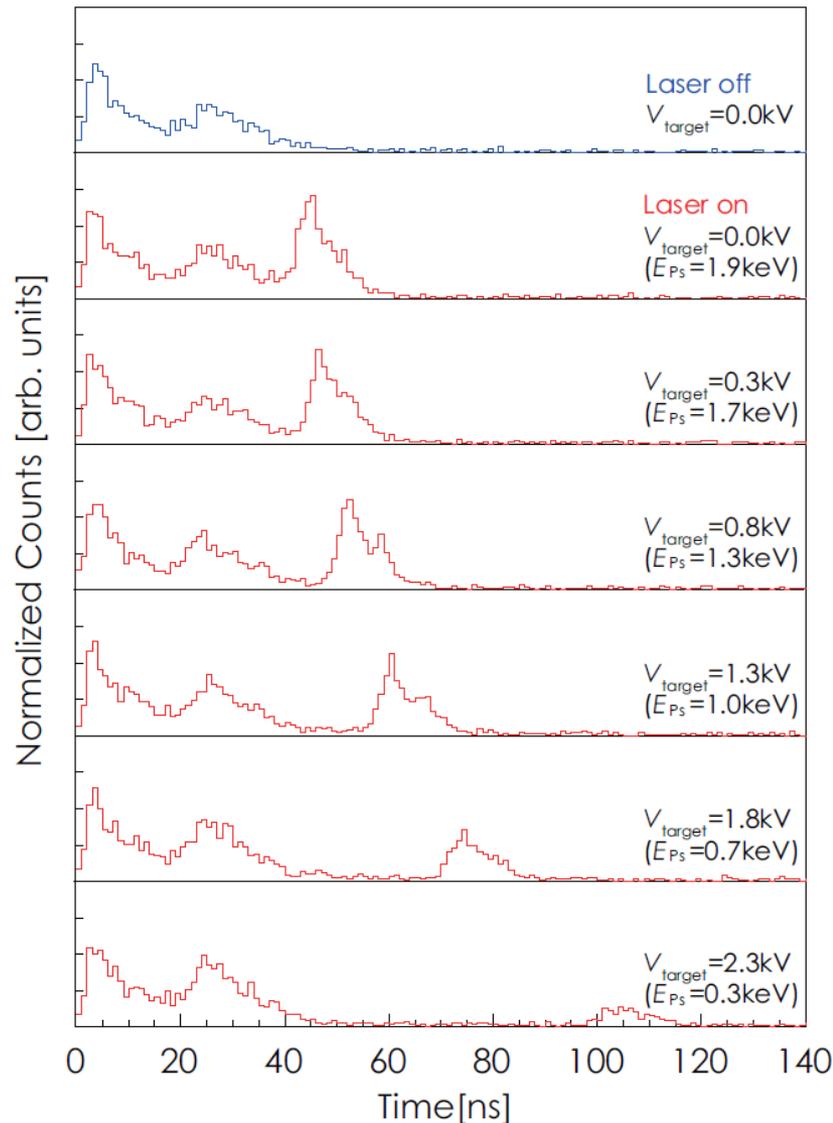
Ps⁻光脱離によって生成されたPsの検出 Detection of Ps produced by the Ps⁻ photodetachment



Michishio et al.,
Appl. Phys. Lett. 100 (2012) 254102

Ps⁻光脱離によるエネルギー可変Psビームの生成

Production of an energy tunable Ps beam using the Ps⁻ photodetachment



- ✓ Energy range : 300eV – 1.9keV
これまで実現されたことのない
エネルギー領域
気体を用いて生成されるPs beam
と相補的
- ✓ UHV compatible
固体表面のプローブとして利用可能

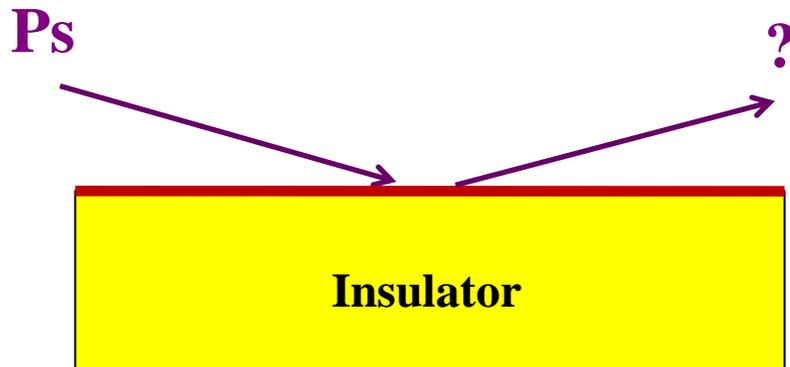
Michishio et al.,

Appl. Phys. Lett. 100 (2012) 254102

エネルギー可変Psビームを使って何をやるのか

Application of the energy tunable Ps beam

Grazing Incidence Fast Ps Diffraction (GIFPsD)
or Reflected High Energy Ps Diffraction (RHEPsD)



$m_{\text{Ps}} \ll M \longrightarrow$ 非破壊

最表面に敏感

Non-destructive,
and sensitive for the topmost layer
of the surface.

KEK低速陽電子実験施設に期待すること

✓高強度化

10^8 、 10^9 e⁺/s

実用性の高いエネルギー可変Psビームが可能に

✓DC化

2光子角相関法(ACAR)

Ps⁻生成メカニズムの解明が可能に

✓安定した管理体制

スタッフ、運転経費

研究チーム

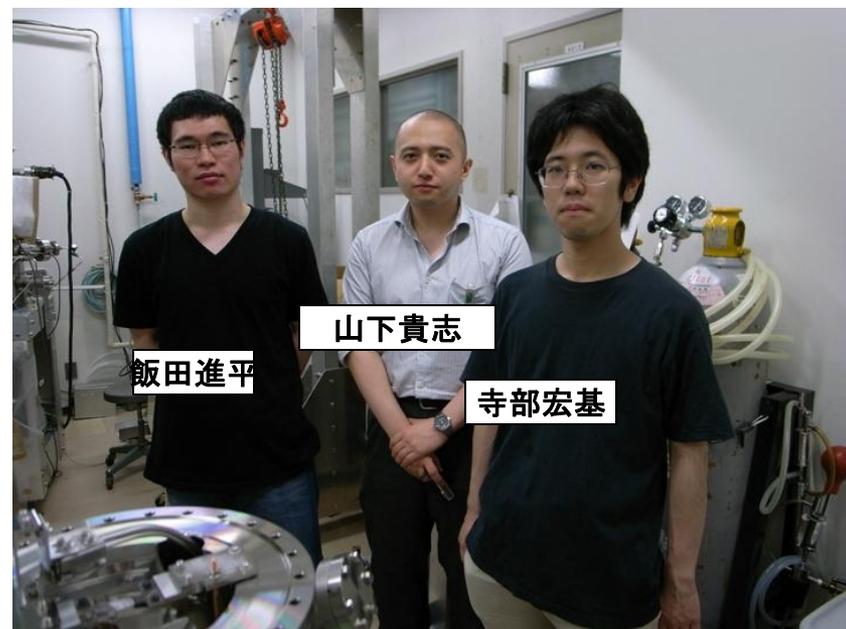
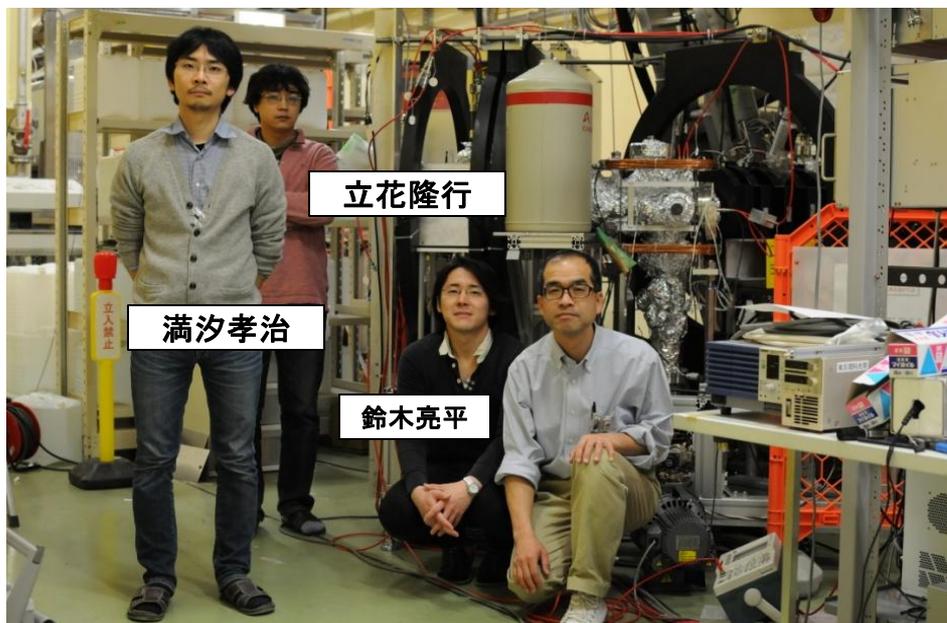
東京理科大学

満汐孝治、立花隆行*、寺部宏基
鈴木亮平、飯田進平
山下貴志、宮本あやか、函館俊秀、坂井隆彦
(* 立教大学)

KEK

兵頭俊夫、和田健、柳下明

宮崎大学
五十嵐明則



謝辞

本研究を遂行するにあたり、多くの方々から援助していただきました。特に下記の方々
の方々に感謝いたします。

千葉大学	藤浪真紀先生、神野智史さん(現、原研)
理化学研究所	島村勲先生、松尾由賀利先生、小林徹先生、
KEK	設楽哲夫先生、大沢哲先生、池田光男さん、足立純一先生 その他KEKのスタッフの皆様

この研究は科研費 基盤研究(S) (24221006)、松尾学術振興財団、原研基礎研究所からの援助を受けて、KEKフォトンファクトリー共同利用 2009G066 および 2010S2-003として行われました。