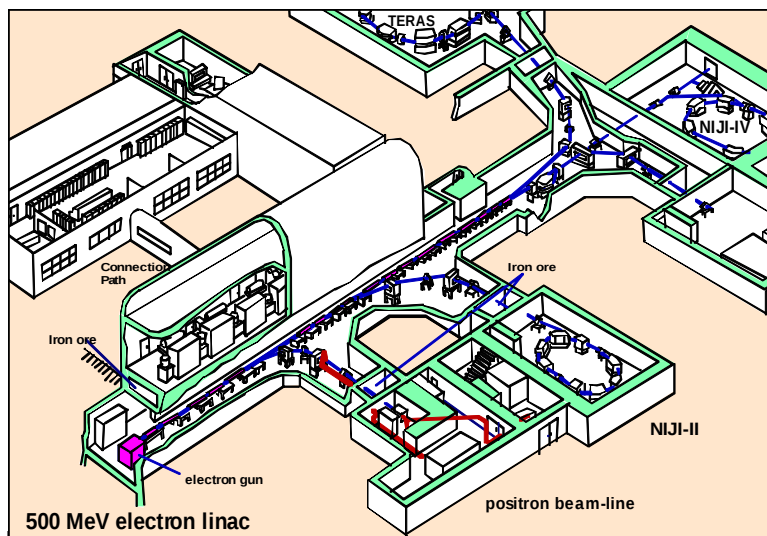


産総研における高強度低速陽電子 ビームの発生と利用

産業技術総合研究所 鈴木良一

2003.3.24 SPring-8 ミニワークショップ

産総研高強度低速陽電子ビームライン



1987-

電子ビーム 70 MeV, 最大300 pps, 50 μ A

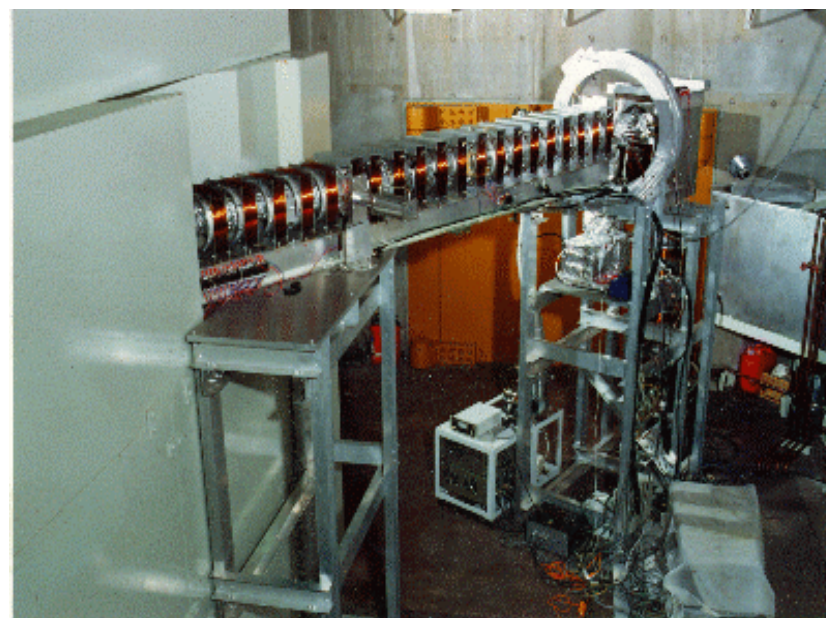
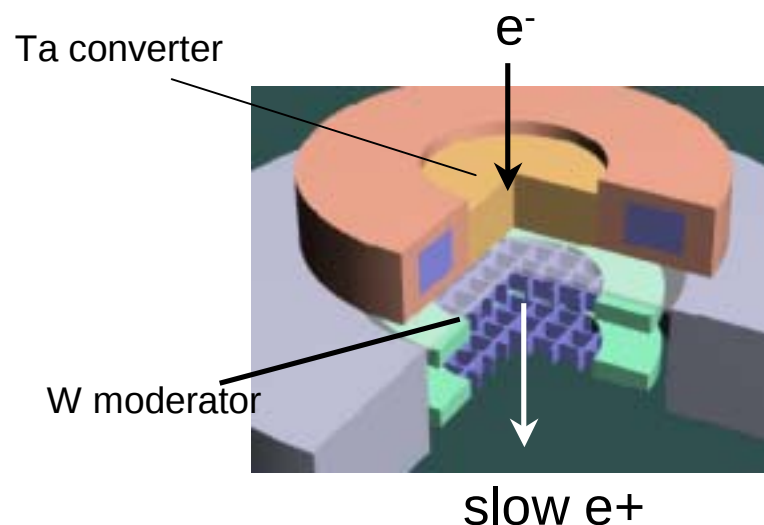
強度: 10^8 e⁺/s (max)

エネルギー: ~ 10 eV

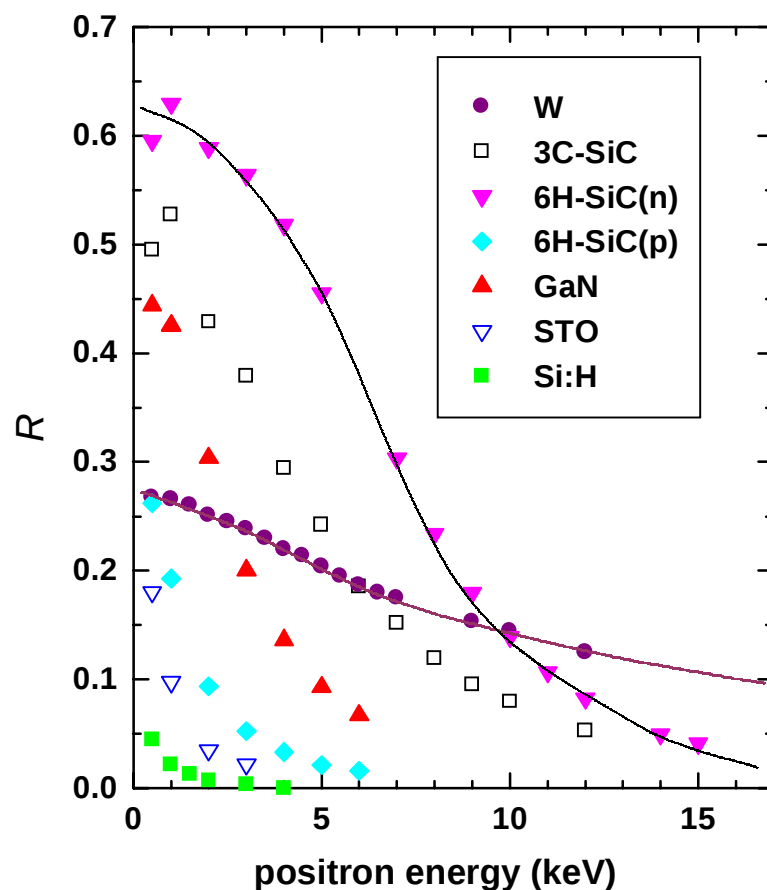
ビーム径 ~ 10 mm

エネルギー可変陽電子短パルスビーム

PALS, 2D-PALS, DBAR, AMOC,
TOF-PAES, Ps-TOF, RP-TOF



陽電子減速材の研究

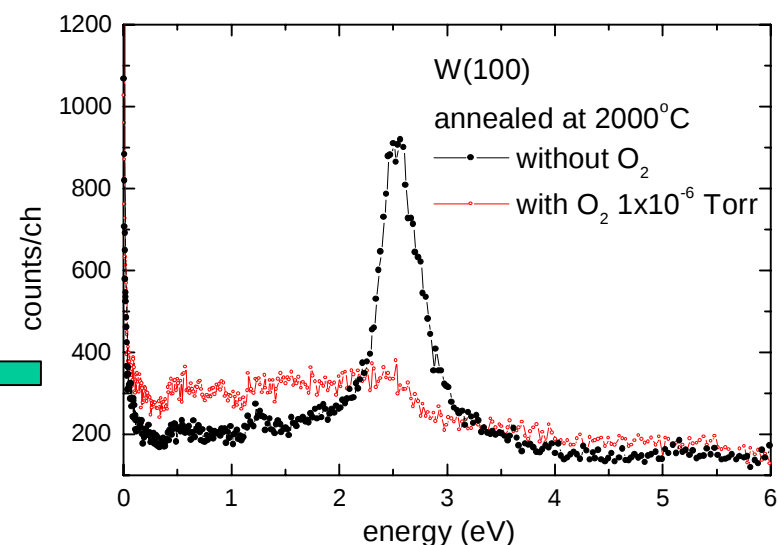
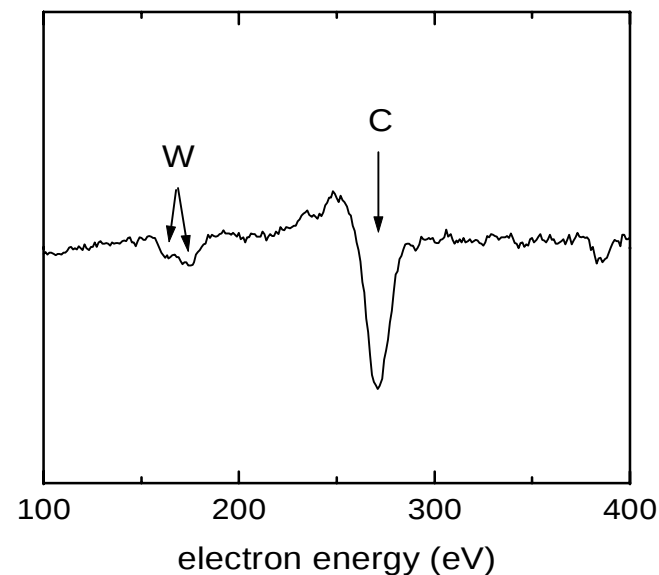


SiCは低エネルギーでの再放出率は高いが、真空中で不安定

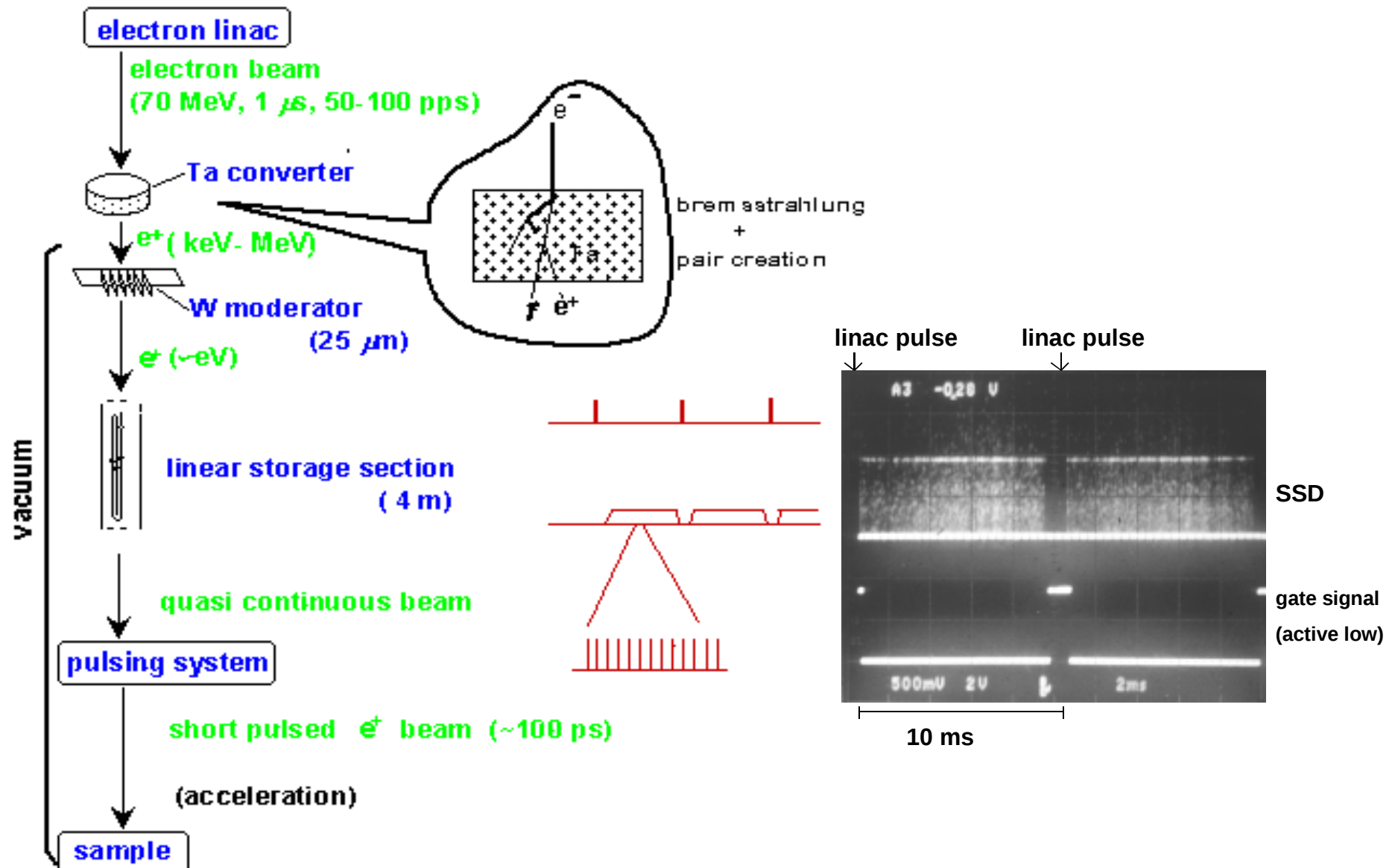
室温では、酸素により再放出エネルギースペクトルは変化するが、再放出量は変わらない

高温では、酸素の存在によりPs形成が抑制
=> 酸素があるほうが再放出率が高い

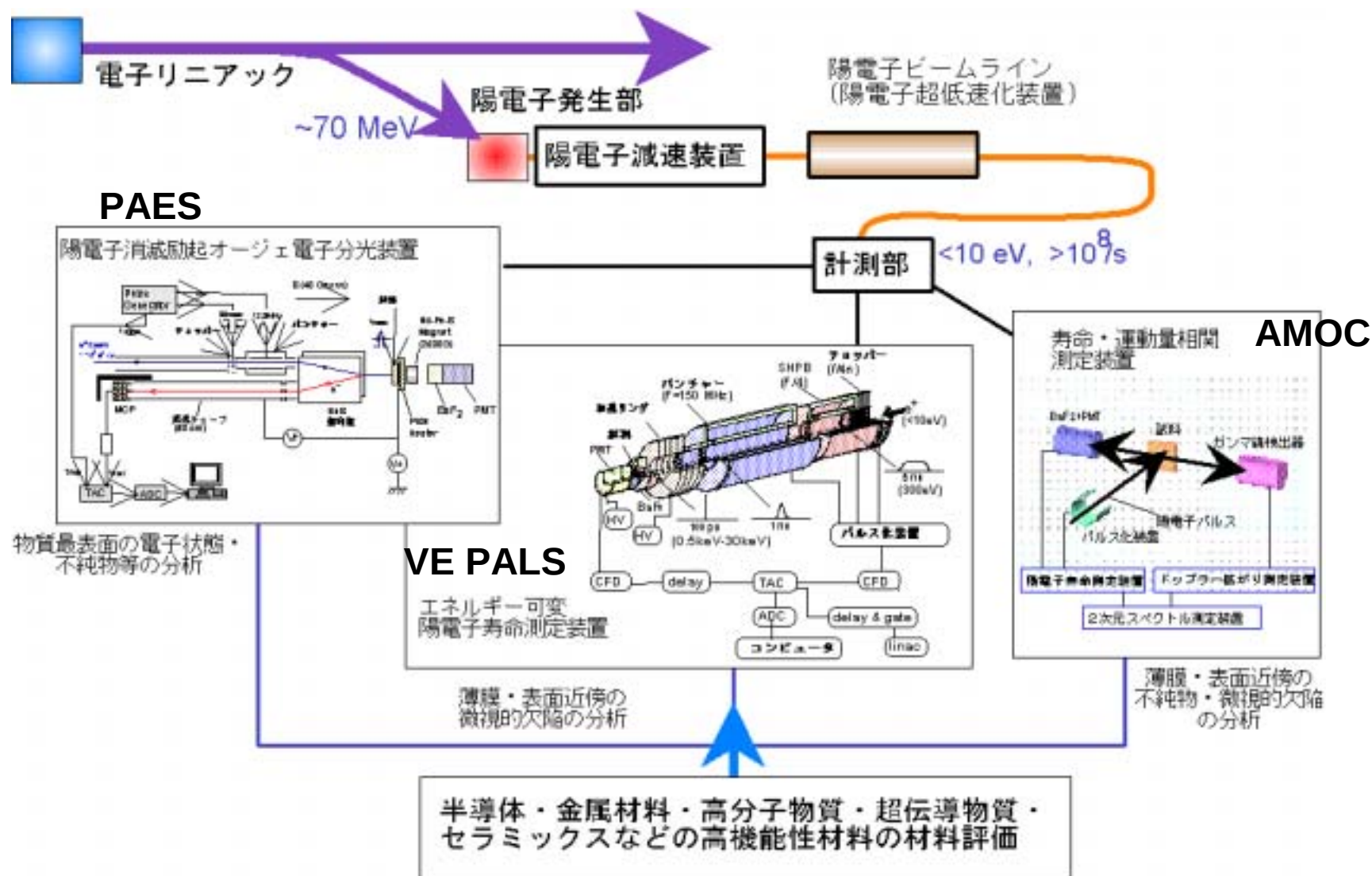
超高真空中 炭素の堆積
炭化水素の解離
W中の炭素の拡散



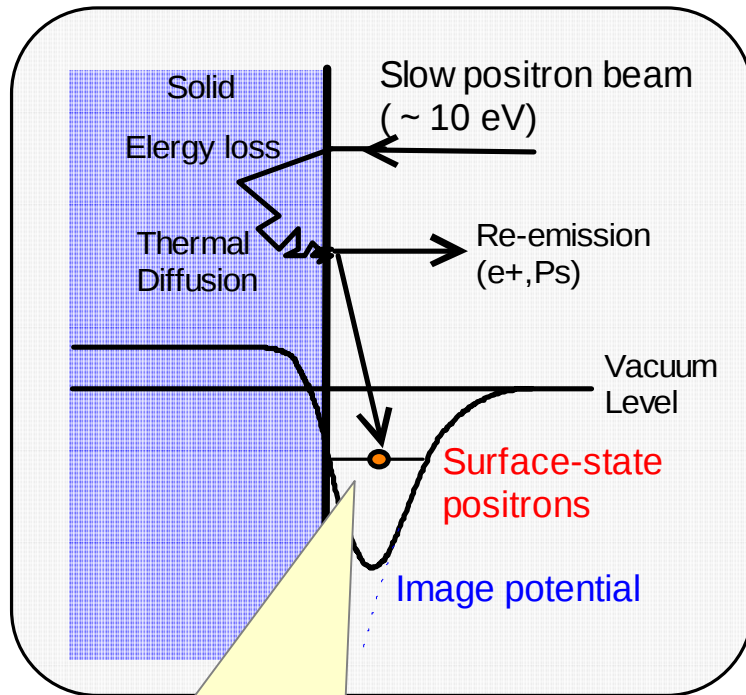
高強度低速陽電子短パルスビームの発生



高強度低速陽電子ビームによる材料評価法の研究



Positron-annihilation induced AES (PAES) の原理と特徴

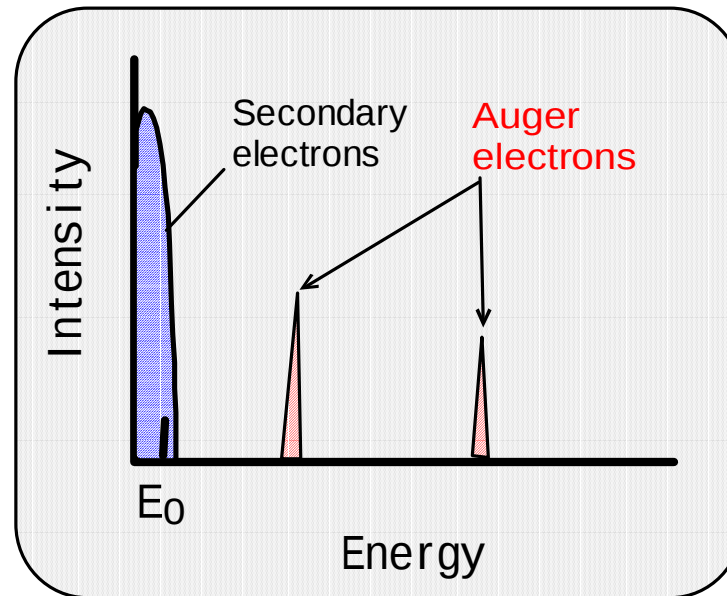
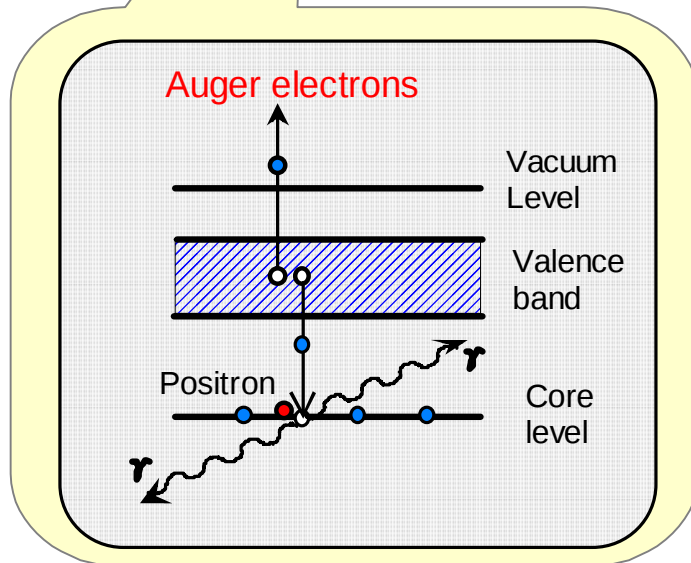


原理

- 低速陽電子ビーム(~ 10 eV)打ち込み
- 表面鏡像ポテンシャルへのトラップ
- 内殻電子との対消滅 $\rightarrow$ オージェ過程

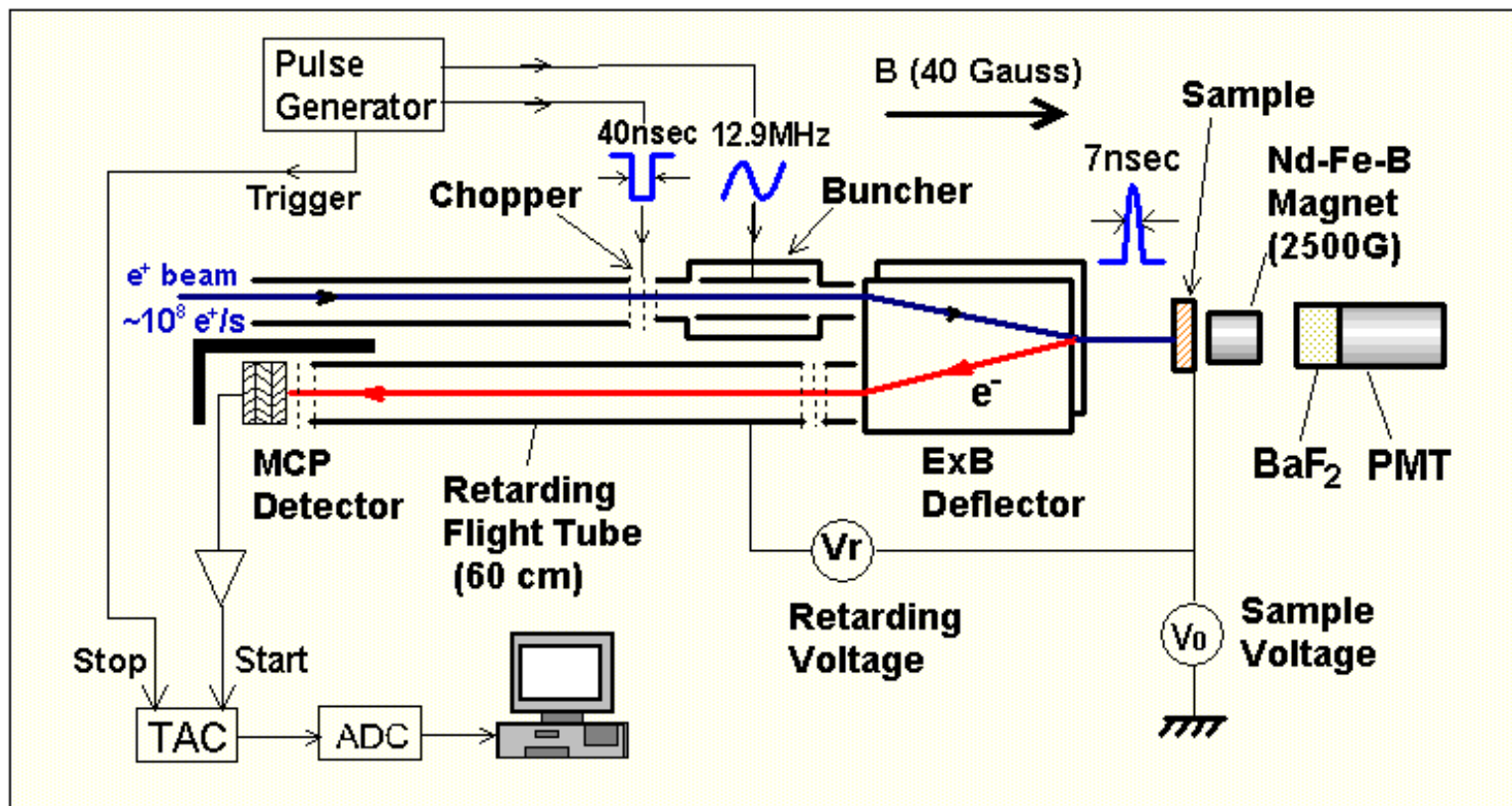
特徴

- 最表面層のみに限ったオージェ分析
- 二次電子のバックグラウンドがない
- ビームによる損傷が少ない

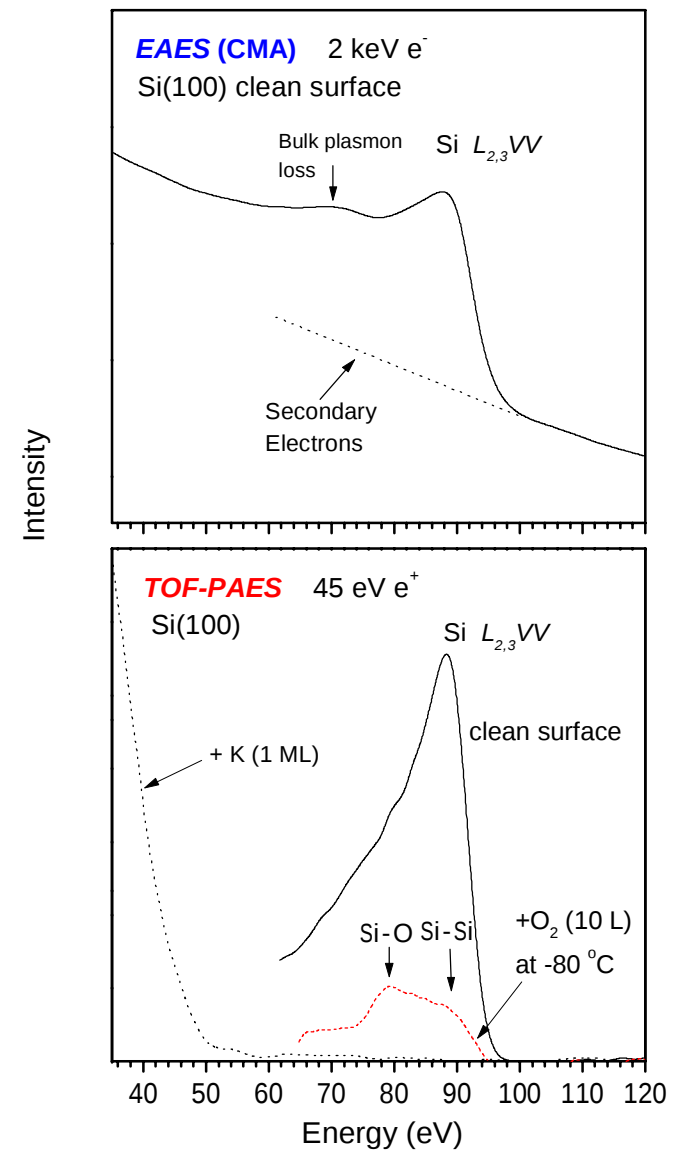
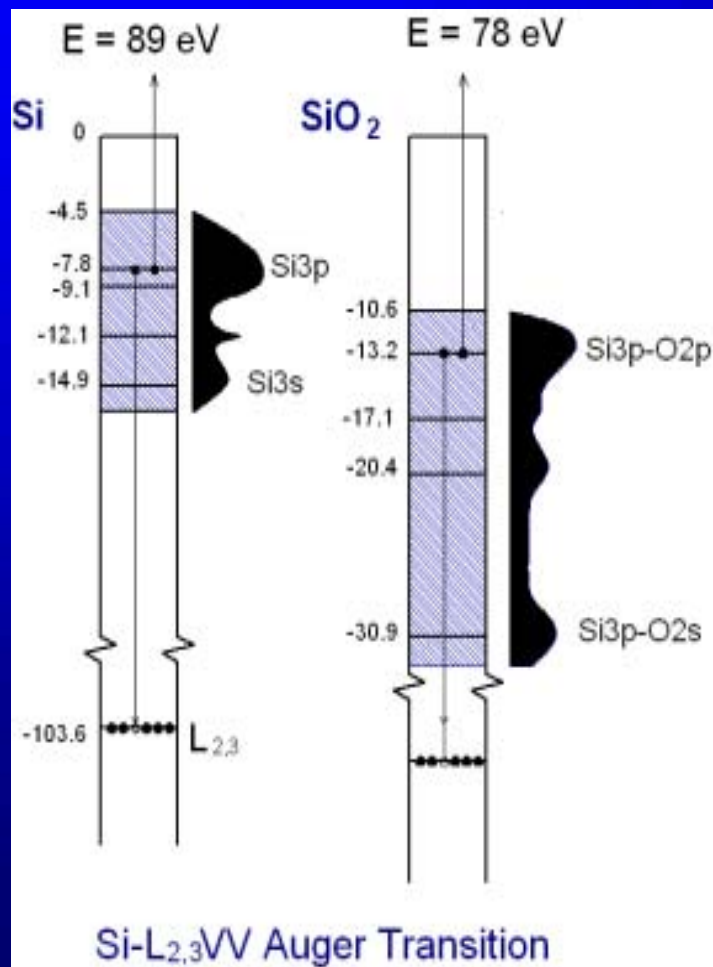


飛行時間分析型PAES装置

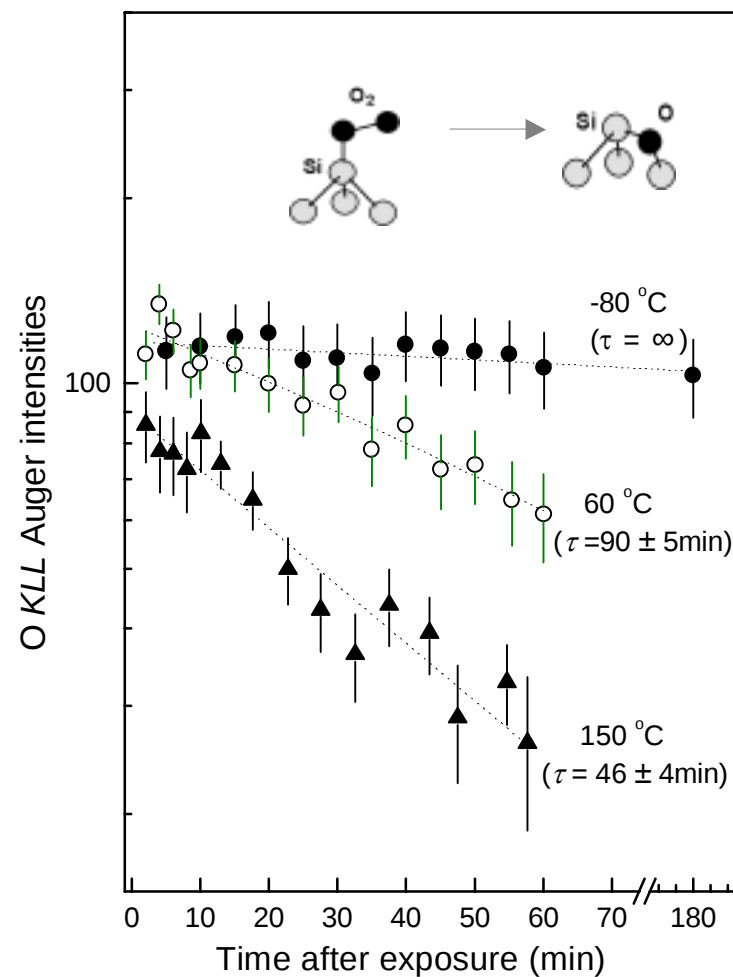
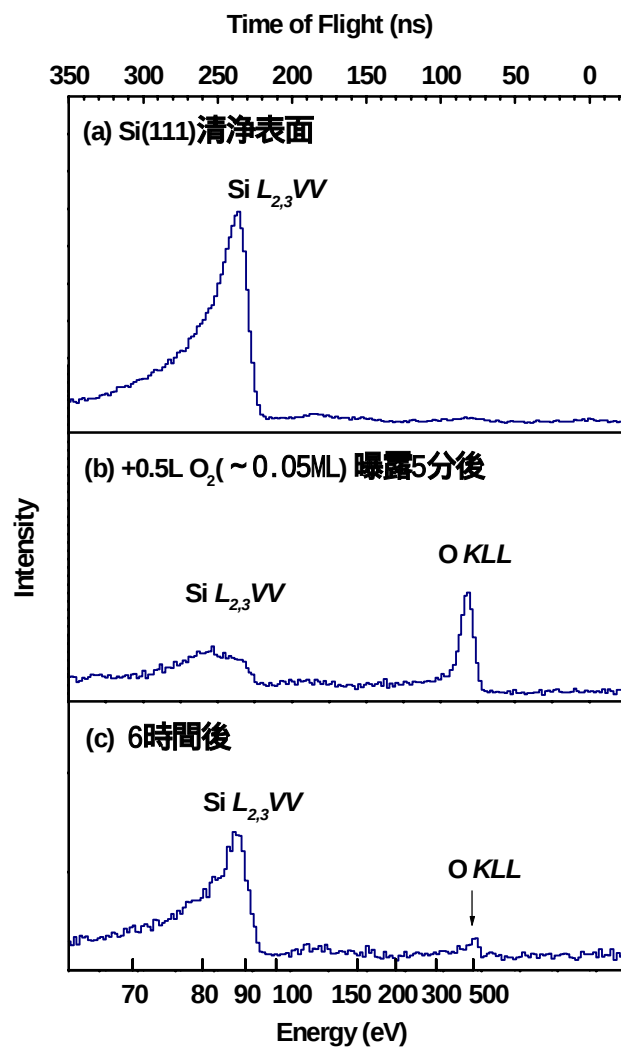
- 電子リニアックによる高強度低速陽電子ビーム
- 電総研独自の短パルス化技術を用いた飛行時間(TOF)分析法
 - 測定時間 ~ 数分、分解能 ~ 2 eV
 - ほぼ全ての元素が測定可能



オージェピーク形状分析 最表面原子の化学結合状態分析



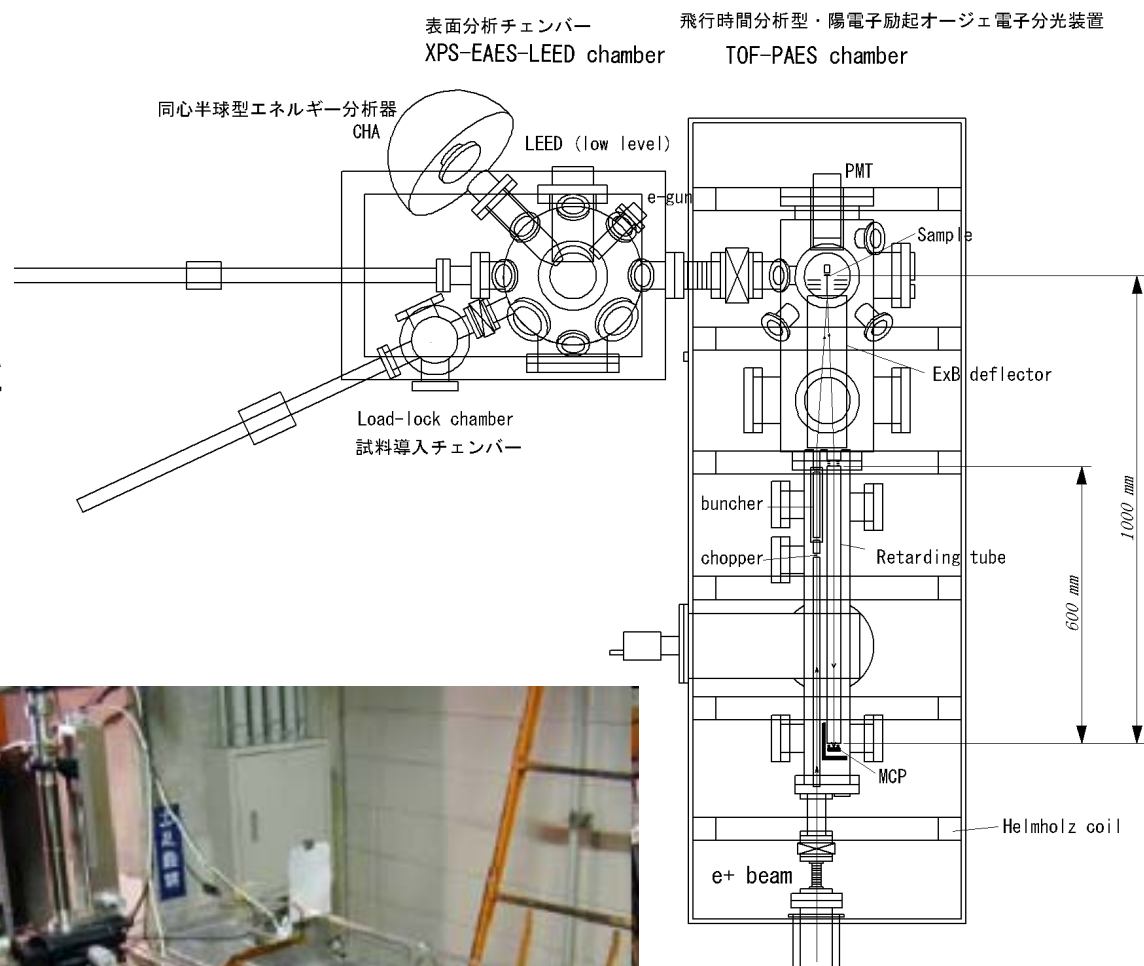
PAESによるSiの初期酸化の研究



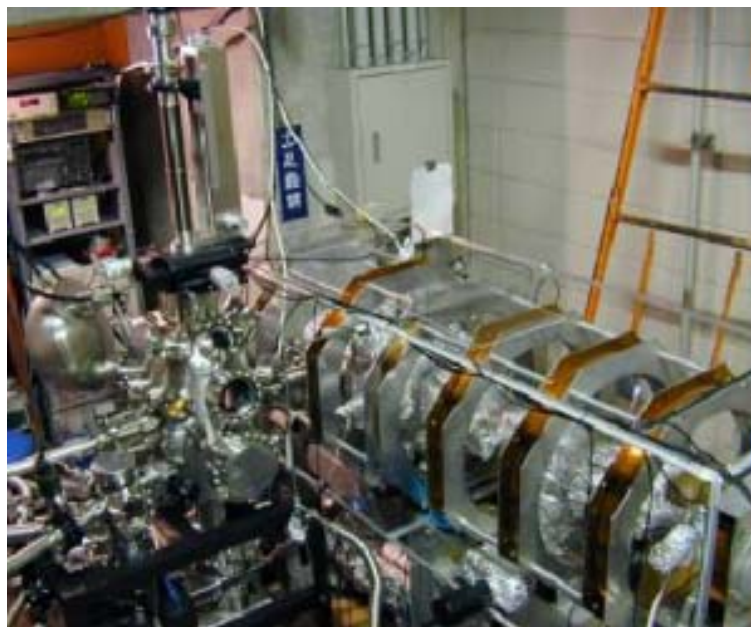
飛行時間型陽電子消滅励起オージェ電子分光(TOF-PAES)装置の高度化

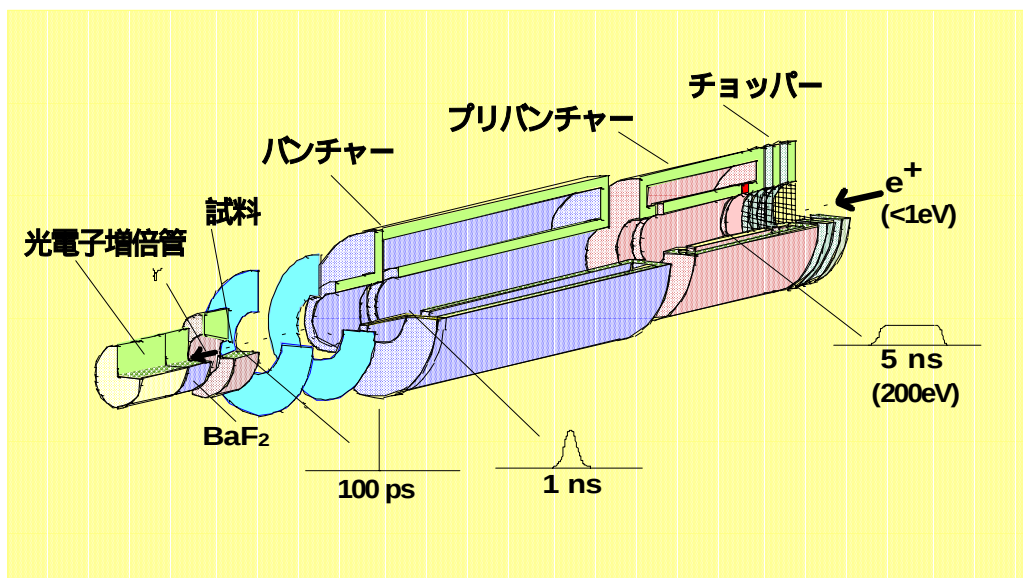
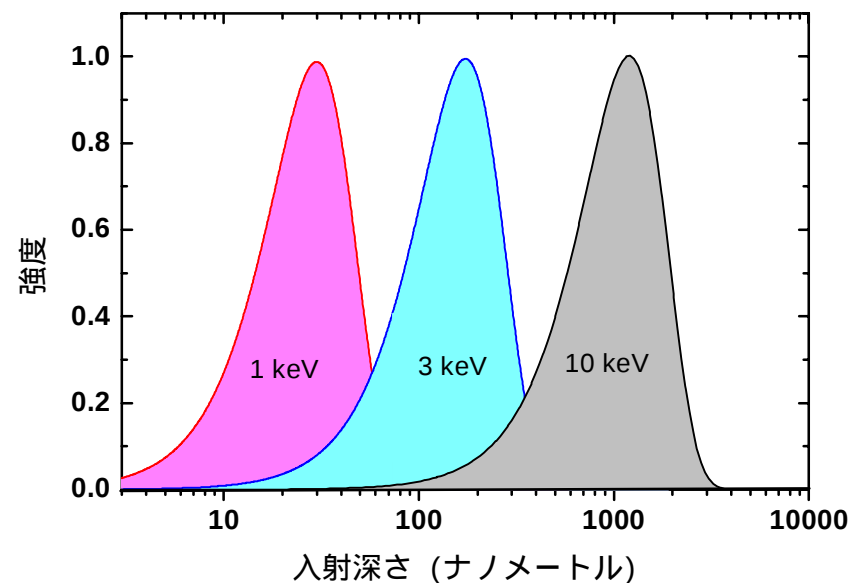
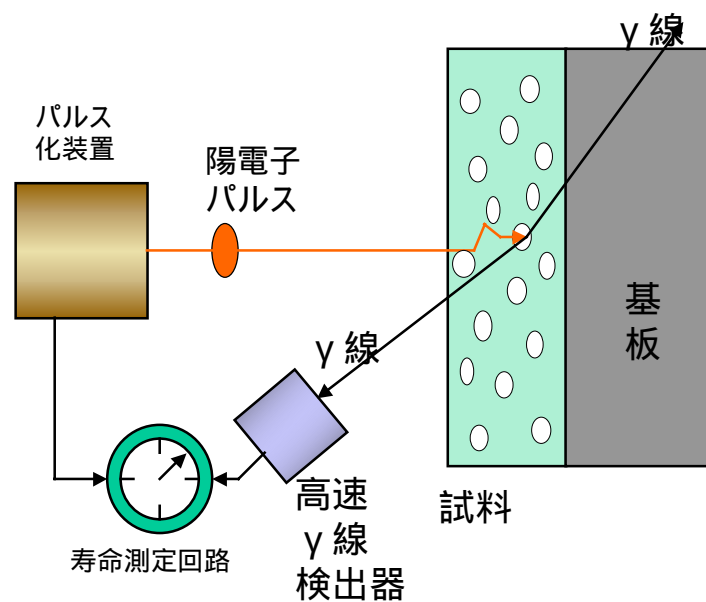
X線光電子分光法との複合化

- 各元素に対するPAESの検出感度を決定する
- 検出深さの異なるPAESとXPSの比較から、最表面と表面下の情報を区別できるようになる



真空度 2×10^{-11} Torr
試料導入チャンバー
パルス化効率の改善





時間分解能 <200 ps (min), ~250ps (normal)

計数率 5k – 10k cps

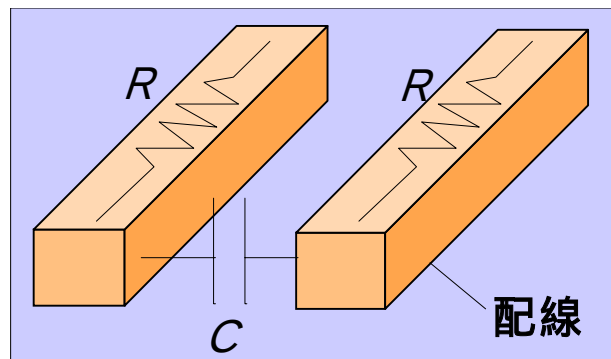
パルス間隔 24 ns の整数倍で可変

入射エネルギー 0.3 keV ~ 25 keV

Peak/B.G. 10^4 以上

応用例

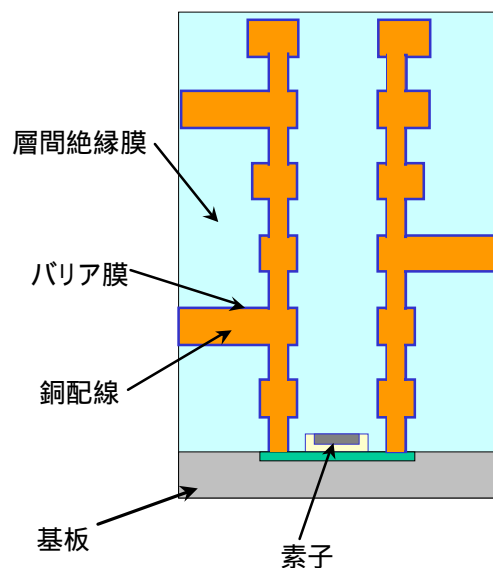
次世代半導体LSI用低誘電率絶縁膜 (Low-k膜)



LSIの高集積化

配線寸法縮小による配線抵抗(R)と配線間容量(C)の増大

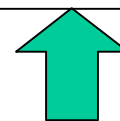
→ **配線遅延 ($\tau = RC$) の増大**



**配線プロセスがLSI製造
プロセスの8割以上**

高速化のためには、配線抵抗および配線間容量の低減が必要

- 銅配線の採用
- 低誘電率・層間絶縁膜(Low-k膜)



Non porous SiO_2 $k = 4.1$

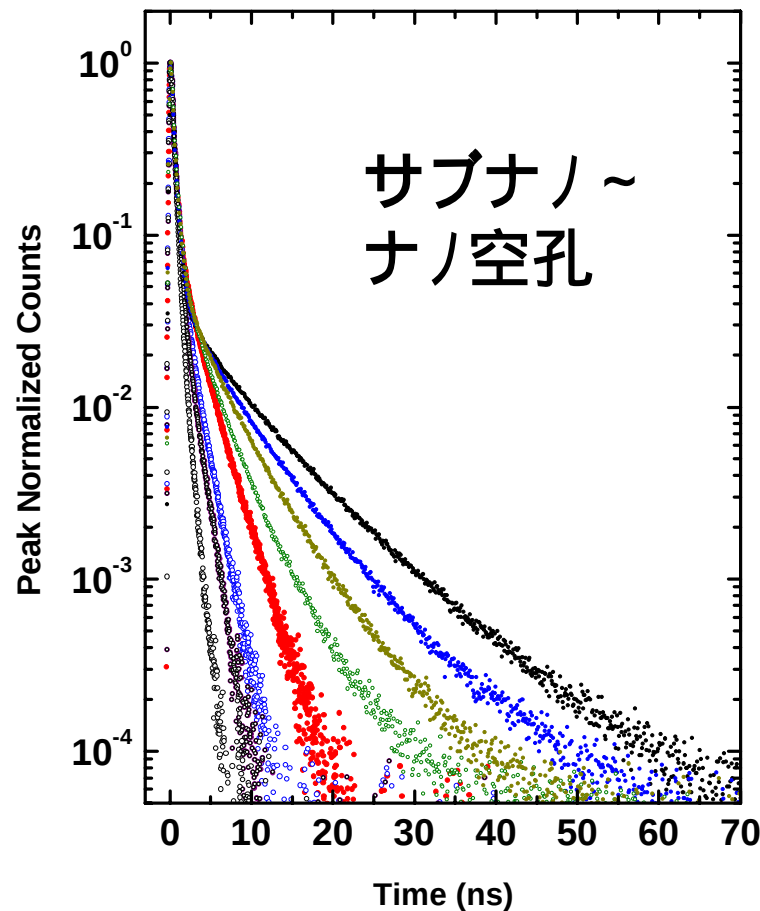


Porous SiO_2 $k < 2.0$

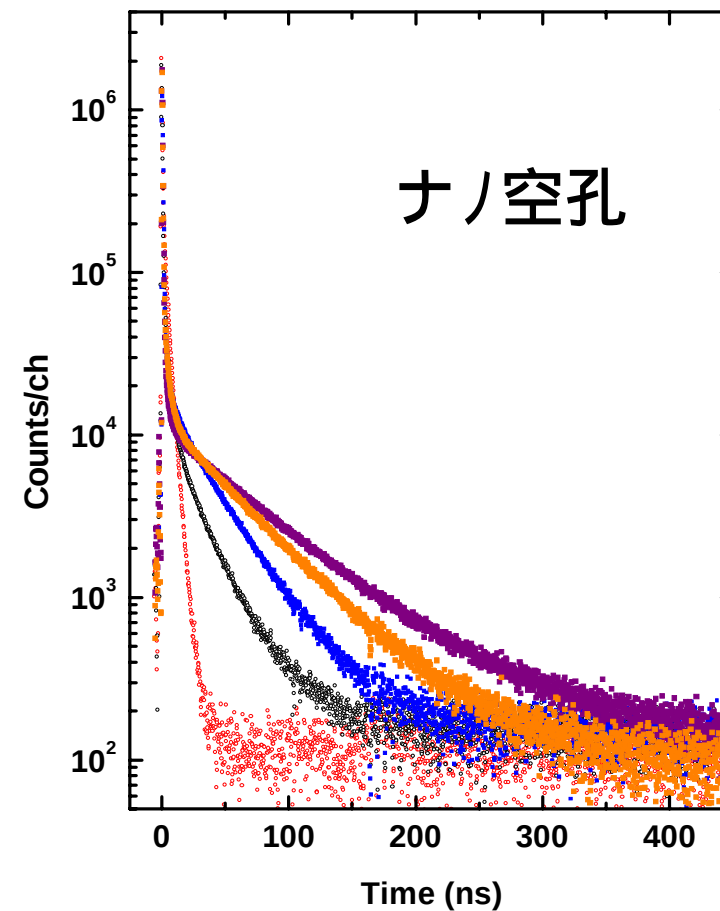
空孔の導入

ポラスLow-k膜の陽電子寿命スペクトル

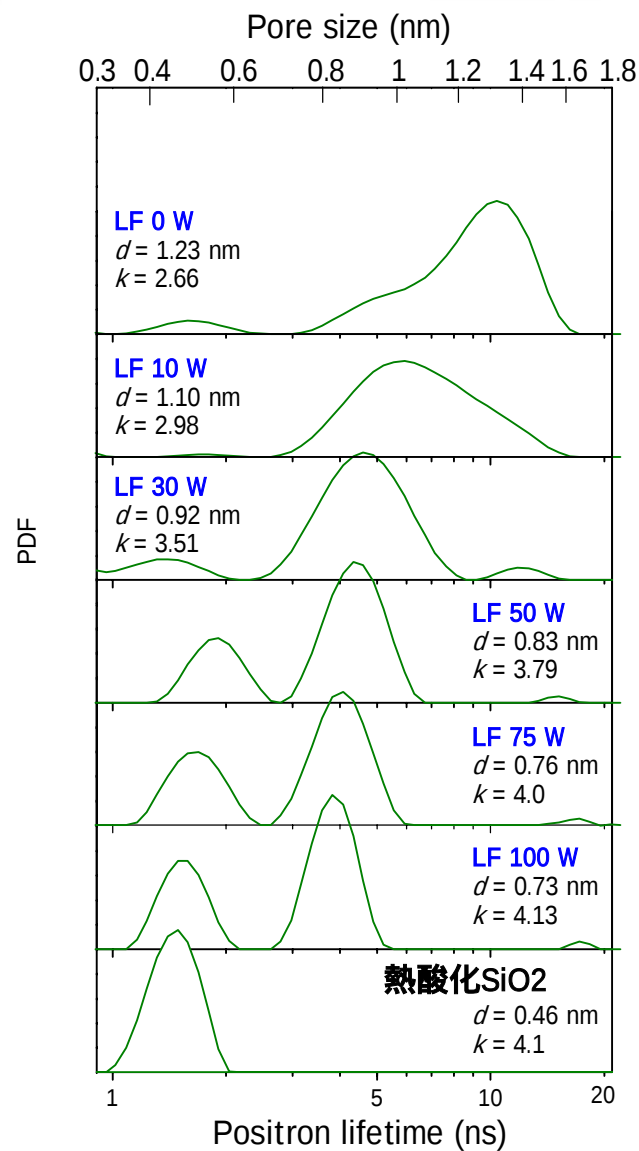
PECVD 成長膜



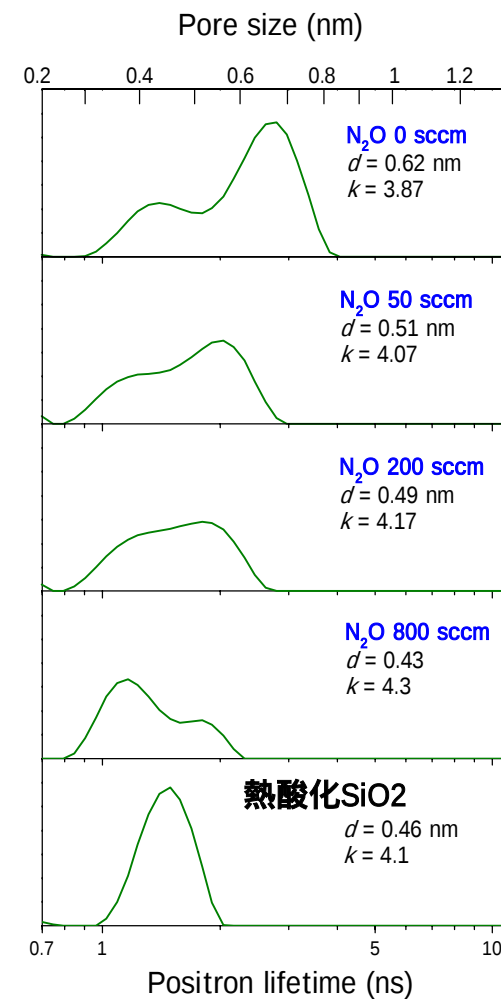
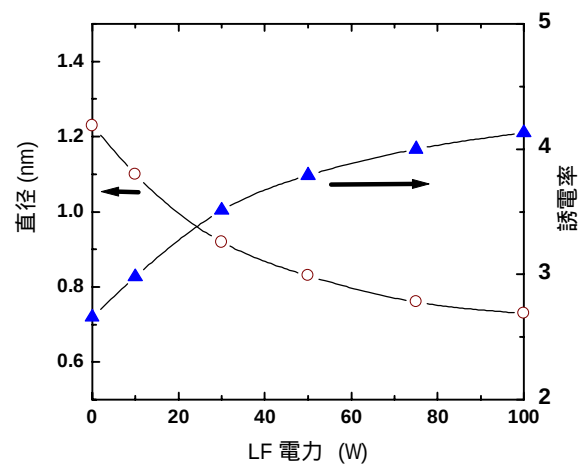
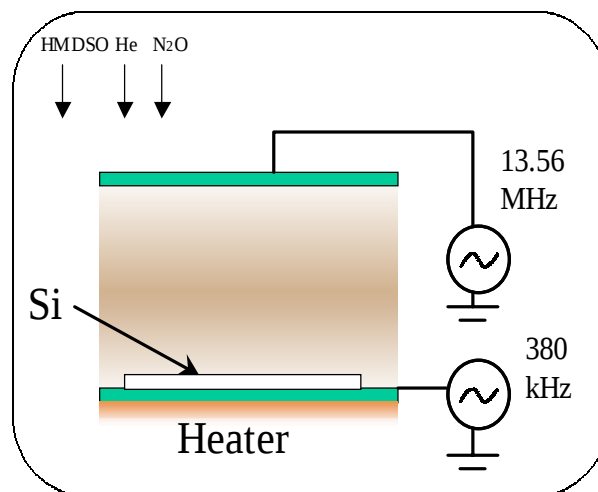
スピン塗布膜



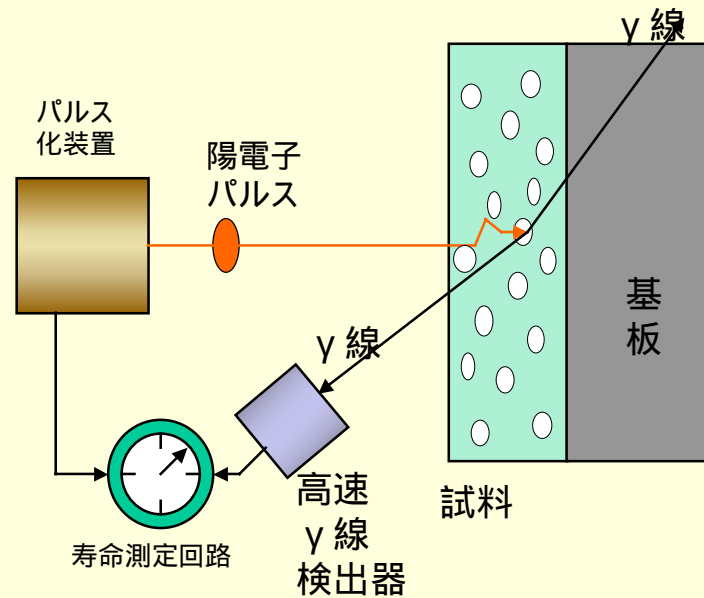
成長条件によって寿命が異なる ➡ 空孔サイズを制御できる
PECVD膜の空孔はスピン塗布膜の空孔に比べて一般的に小さい



層間絶縁膜

Cu拡散を抑制
するバリアー膜

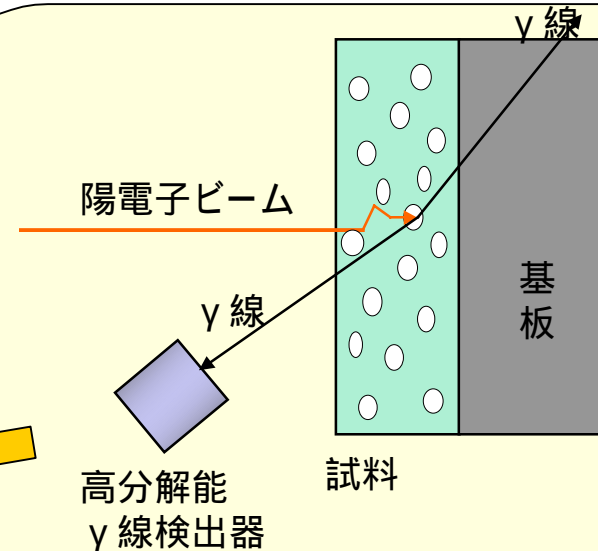
エネルギー可変陽電子ビームを用いたAMOC測定



陽電子寿命測定 空孔サイズを反映

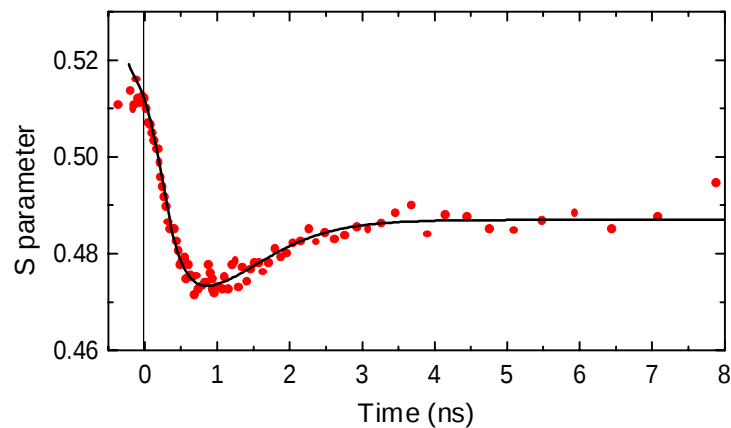
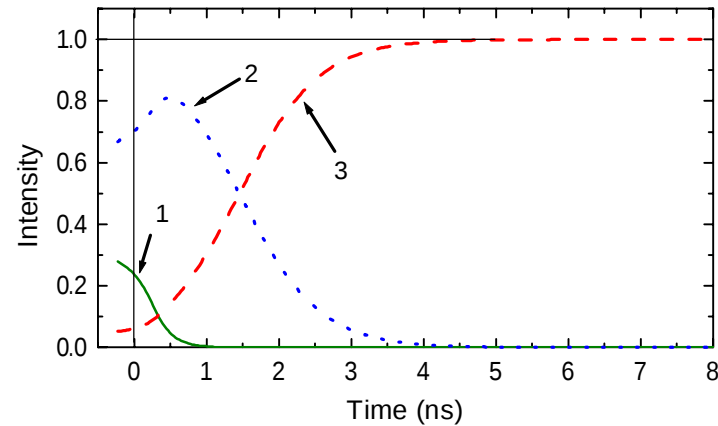
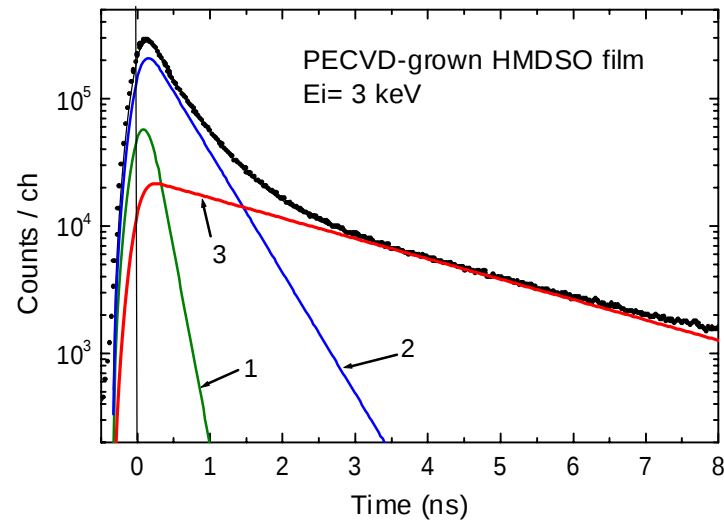
寿命・運動量相関測定
AMOC (2光子の同時測定)

複数の消滅過程のある系
に特に有効

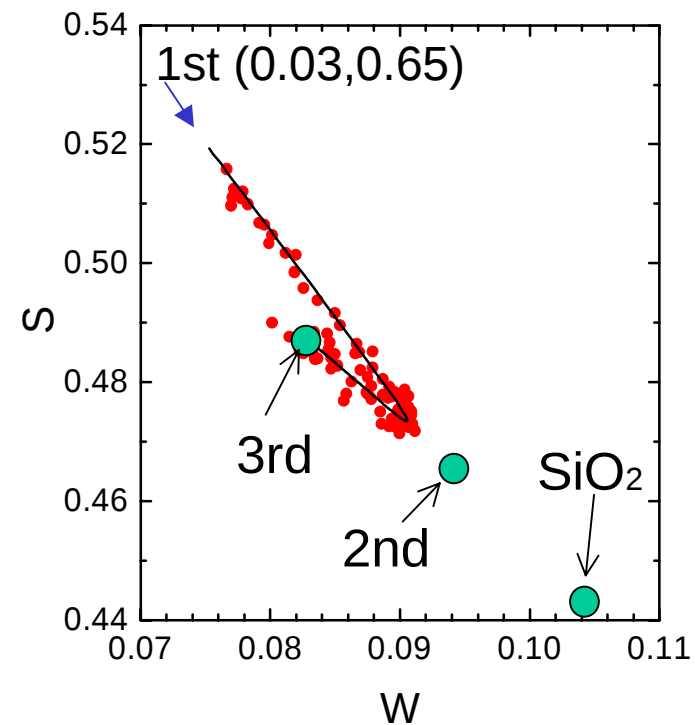


消滅γ線ドップラー拡がり測定
電子の運動量を反映

PECVD grown SiCOH film



	1 st	2 nd	3 rd
τ (ps)	140	458	2717
I (%)	9.2	63.1	27.7
S	0.65	0.467	0.487
W	0.030	0.094	0.083

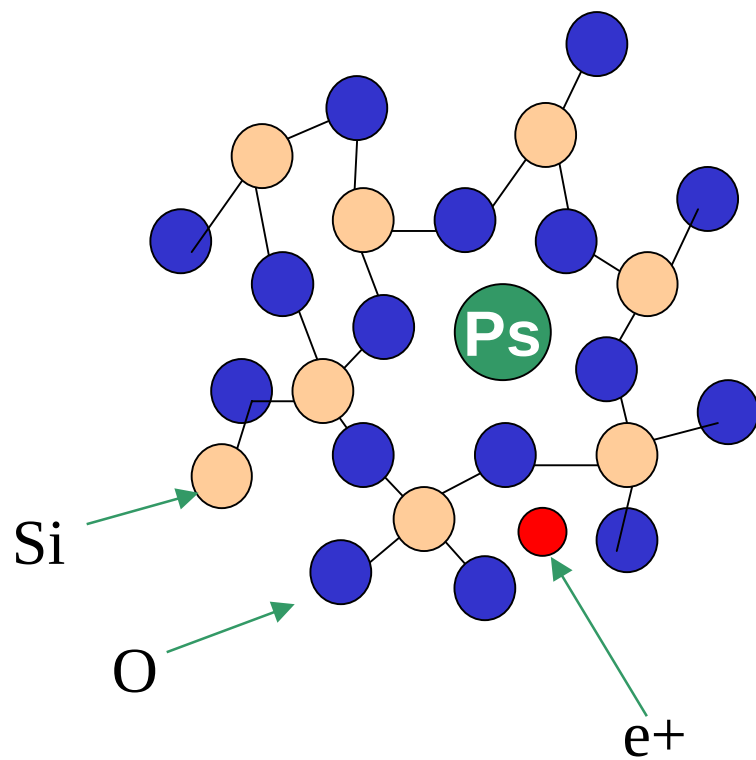


a-SiO₂

S_{p-Ps} 0.605

S_{e+} 0.444

S_{o-Ps} 0.442



S_{o-Ps}

S_{e+}

<

S_{p-Ps}

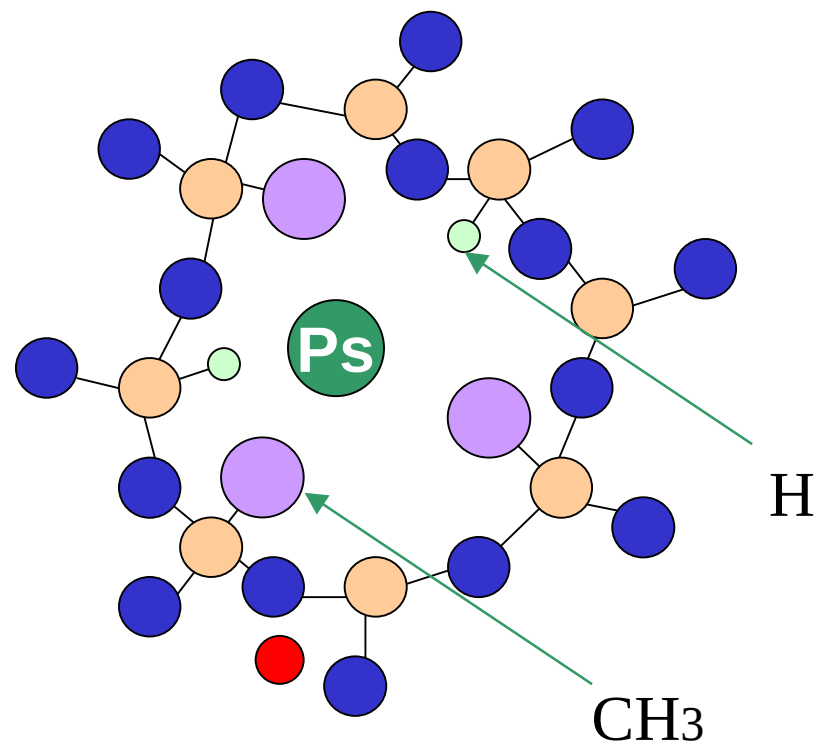
<

SiCOH

S_{p-Ps} 0.620

S_{e+} 0.465

S_{o-Ps} 0.487



S_{o-Ps}

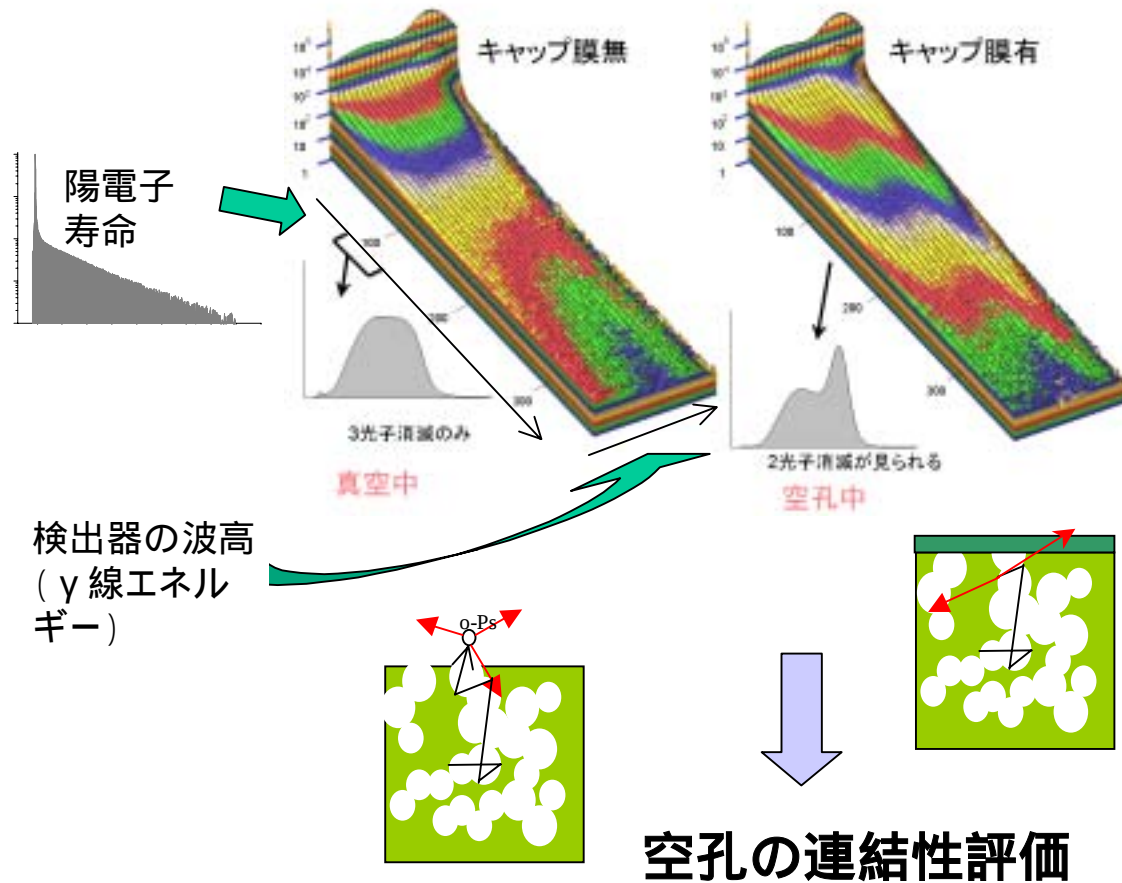
>

S_{e+}

S_{p-Ps}

ナノ空孔の連結性評価

陽電子寿命・ γ 線エネルギー 2次元測定



Low-k材料や高機能ナノポーラス材料では、その機能を最大限にするために空孔のサイズだけでなく連結性等の構造を詳しく知る必要が有る。

陽電子寿命測定と γ 線のエネルギーを同時に測定することにより、空孔のサイズに加えて連結性も同時に評価できる。

まとめ

- 電子加速器による高強度低速陽電子ビームの発生
減速材が重要
- 高強度低速陽電子ビームを用いた計測法
PALS, AMOC, TOF-PAES, TOF-RPS,
TOF-Ps, ...
低いバックグラウンドが重要
- その他（産総研の蓄積リングTERAS）
光子励起陽電子消滅法 (PIPA)