



大学物理实验讲座 >> 正电子谱学及其应用

首页

标题:

网站地图

正电子谱学及其应用

使用说明

更新日志

主讲人:

联系我们

中国科学技术大学 周先意

相关链接:

ppt原文下载 word原文下载

段落:

正电子谱学原理 正电子谱学基本实验技术

正电子谱学应用之一 Open volume defects of superconducting thin film YBa2Cu3O7-

正电子谱学应用之二 分子束外延硅薄膜的质量评价 正电子谱学应用之三 离子注入硅产生的缺陷及其退火行为

正电子谱学应用之四 界面微结构变化的慢正电子研究

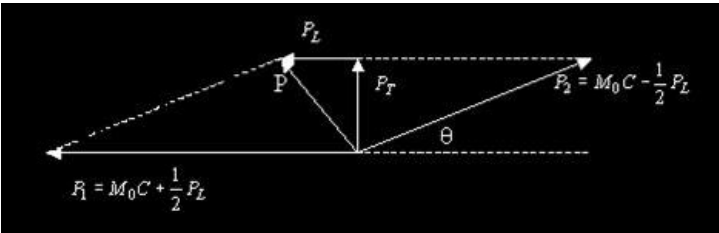
[全部折起] [全部展开]



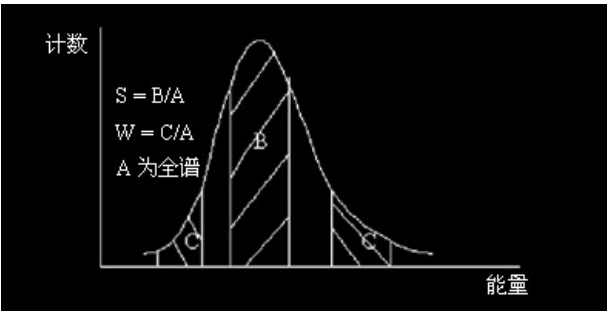
正电子谱学原理

- 正电子
- 正电子湮没
- 双光子湮没
- 正电子寿命
- 湮没光子的能量和Doppler展宽
- 湮没光子的角关联

$n = 2$

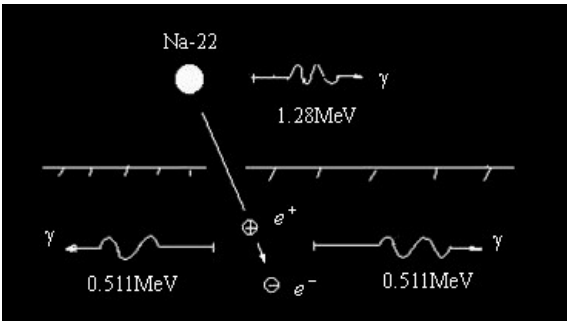


2γ湮灭过程中动量守恒的矢量图



Doppler展宽的线性参数

- 正电子源
  - 放射性同位素
  - 单能慢正电子束

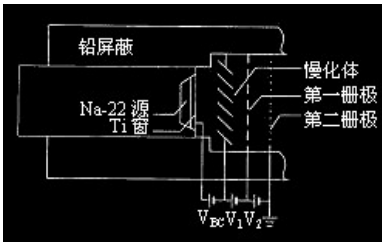


正电子实验

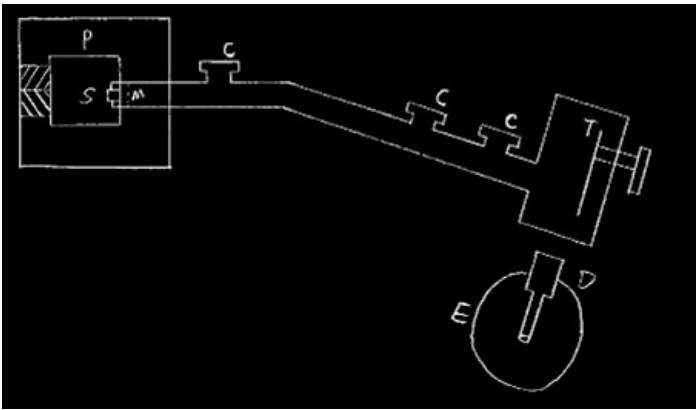
- 正电子湮没技术（70年代）
- 正电子湮没谱学（80年代）
- 正电子谱学（90年代后期）
- 正电子谱学的主要特点：
  - 对固体中原子尺度的缺陷研究和微结构变化十分敏感，是其他手段无法比拟的。
  - 对研究材料完全无损伤，可进行生产过程中的实时测量，能够满足某些特点的测量要求。
  - 理论比较完善，可以精确计算很多观测量同实验进行比较。
  - 固体内部的信息由光子毫无失真的带出，对样品要求低，不需特别制备或处理，不受半导体导电类型和载流子浓度等因素影响。
  - 作为电子的反粒子，正电子容易鉴别，又能形成电子偶素，可以替代电子探针来获得材料中更多的信息，在许多实验中能够大大降低电子本底。

正电子谱学基本实验技术

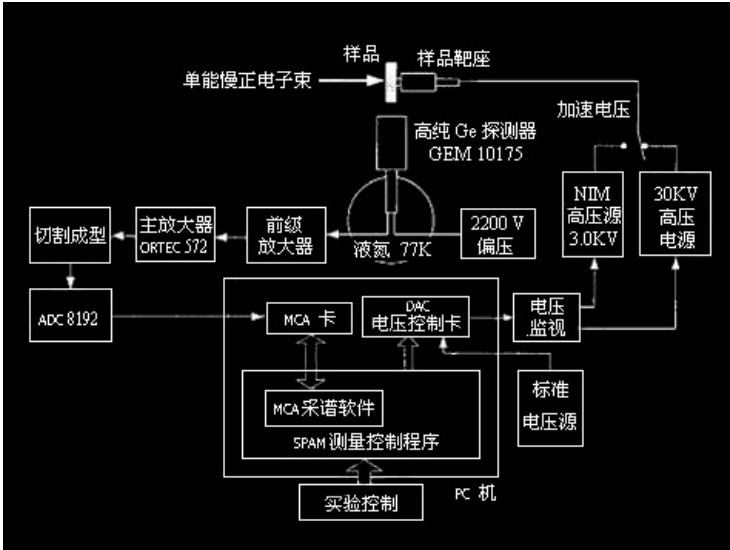
- 正电子寿命谱
- 湮灭能谱的Doppler展宽及其S参数
- 湮没辐射的角关联
- 慢正电子束
  - 慢正电子束装置
  - 单能正电子的注入深度
  - 正电子扩散



慢正电子束流的慢化体结构



其中，S: 22Na源    P: 铅屏蔽    M: 钨慢化体    T: 靶材料  
C: 有补偿线圈    D: 高纯锗探测器    E: 液氮冷却装置  
Slowpos-USTC: 慢电子束流装置示意图



Slowpos-USTC: 慢电子束的数据测量和控制系统

- 慢正电子束特点：
  - ◆ 可探测真实表面（几个原子层）的物理化学信息
  - ◆ 探测物体内部局域电子密度及动量分布
  - ◆ 可获得缺陷沿样品深度的分布
- 单能正电子平均注入深度的经验公式：

正电子谱学应用之一

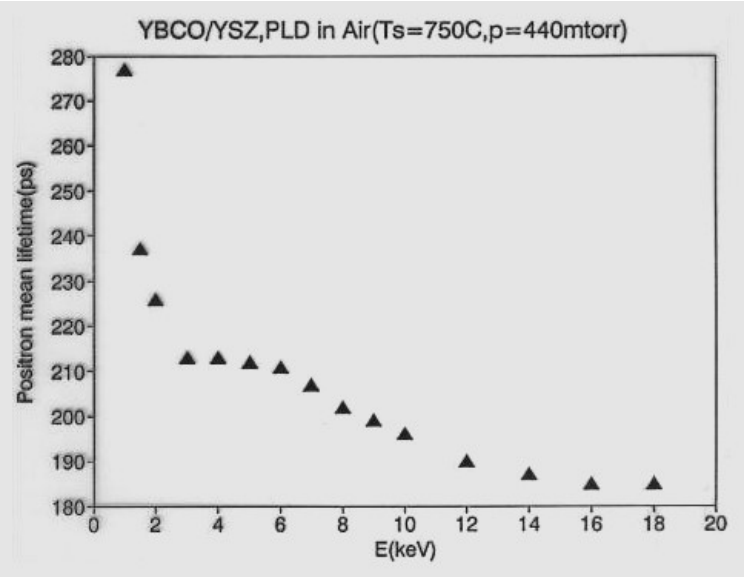
Open volume defects of superconducting thin film YBa2Cu3O7-δ

高温超导体中空位型缺陷不仅是不可避免的，而且也是必须的。

外延薄膜的临界电流密度比相应的块材单晶高约三个量级。

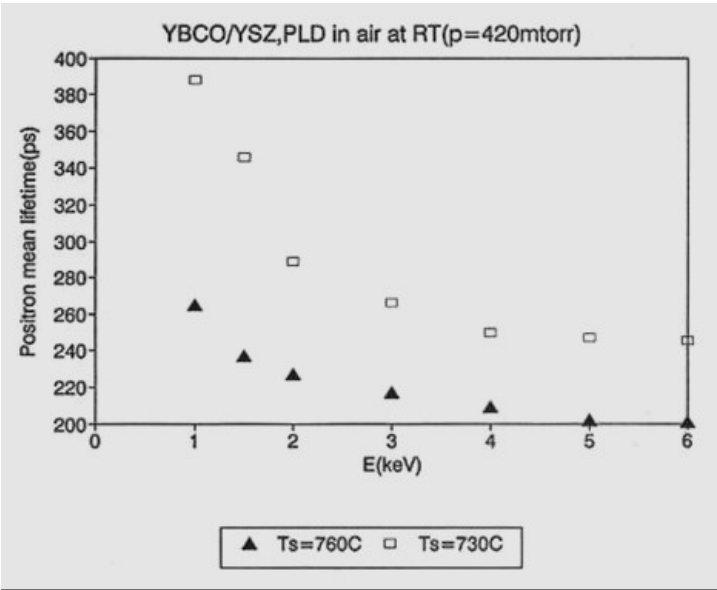
单能慢正电子束是研究薄膜空位型缺陷的有效方法。

- Open volume defects of superconducting thin film YBa2Cu3O7- $\delta$
- 空位型缺陷与沉积条件的关系

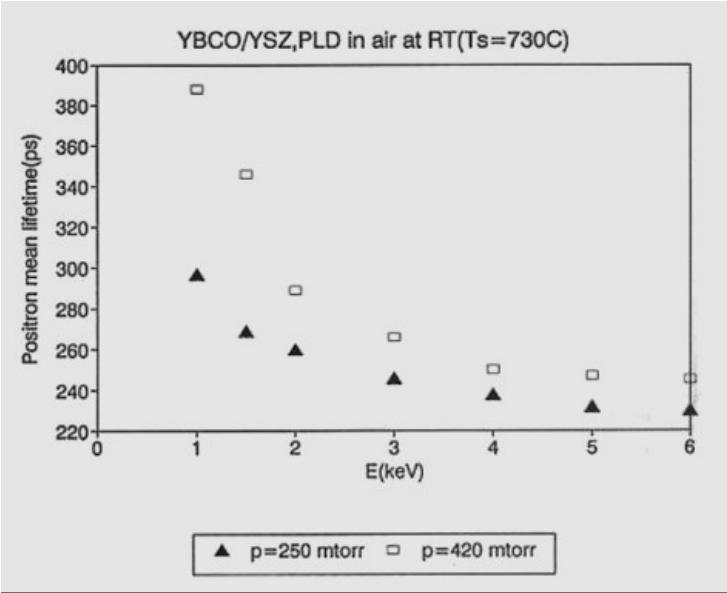


X Y Zhou et al ,  
J Phys. CM 9, L61  
Phys.Rev. B54, 1398  
Phys.Lett. A225, 143  
Physica C 281, 335

- 相同空气分压，衬底温度越高，正电子平均寿命越小



- 相同衬底温度，空气分压越高，正电子平均寿命越大



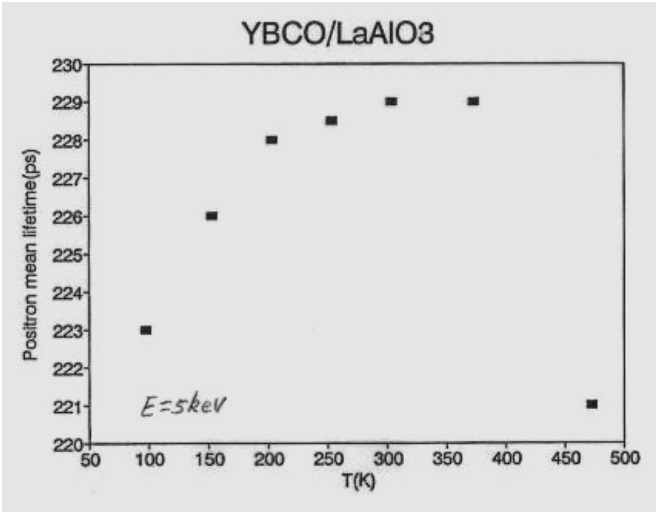
- 空位型缺陷的正电子寿命(360ps)不变

Ts(C)	Pa(mtorr)	Tau2(ps)	I2(%)	Tc(K)	
760	420	326	16.9	84	
730	420	327	46.9	88	
730	250	325	36.6	<77	
740	580	325	26.5	90.8	
740	530	326	18.6	91	

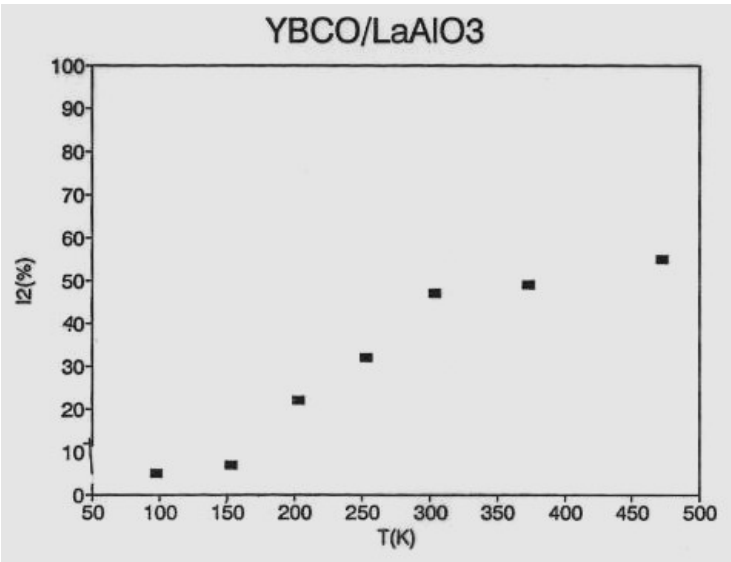
- 结论
  - ◆ 空位型缺陷的类型与沉积条件无关
  - ◆ 相同空气分压，衬底温度越高，缺陷越少；相同衬底温度，空气分压越高，缺陷越多
  - ◆ 空位型缺陷对应的是阳离子空位及其复合体

■ 正电子寿命的温度依赖关系

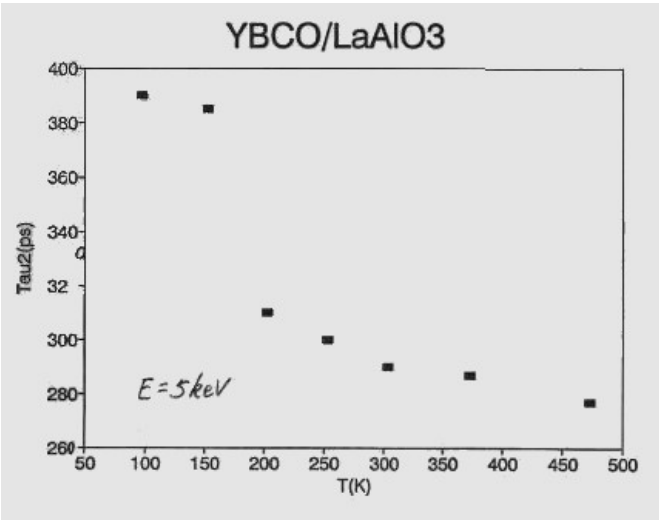
- 平均寿命随温度的降低而降低



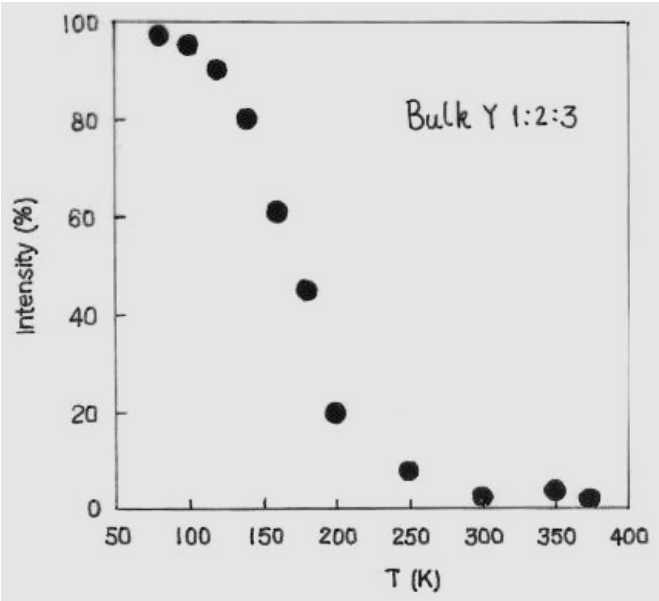
- I2 随温度的降低而降低



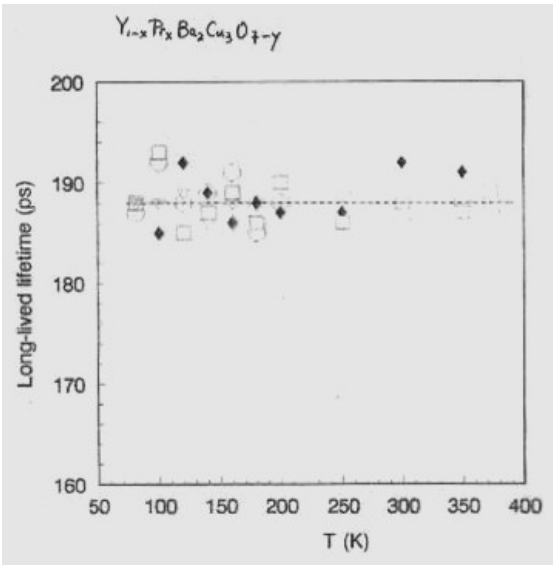
- Tau2随着温度的降低而升高



- （块材）平均寿命随温度的降低而升高



- （块材）Tau2 与和掺杂量温度无关



- Summary
  - ◆ 深浅捕获中心共存
  - ◆ 深捕获中心（缺陷）在低温下有长大的趋势，可能形成心的磁通钉扎中心

■ 结论

- 高温超导薄膜中存在两类缺陷
  - ◆ 浅捕获中心——位错、孪生晶界等
  - ◆ 深捕获中心——阳离子空位及其复合体
- 阳离子空位及其复合体的尺度与沉积条件无关
- 低温下，缺陷有长大的趋势

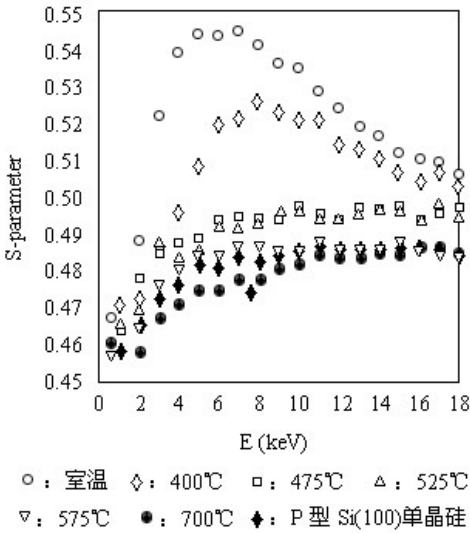
正电子谱学应用之二  
分子束外延硅薄膜的质量评价

分子束外延生长半导体薄膜  
衬底温度的重要性—最佳生长温度LT—MBE  
慢正电子束技术—无损检测外延膜质量

■ 实验结果

样品号	1080	1079	1087	1086	1003	1078
外延层厚（nm）	920	920	670	680	740	1130
生长温度（℃）	RT	400	475	525	575	700
S <sub>d</sub> /S <sub>b</sub>	1.136	1.107	1.023	1.022	1.003	1.002

S <sub>d</sub> /S <sub>b</sub>	空位型缺陷类型
1.02~1.03	单空位
1.03~1.04	双空位
>1.5	大的空位或空位团



不同生长温度下分子束外延样品S参数

X Y Zhou et al, Materials Science Forum 363-365 (2001), 475 ;

■ 结论 生长温度与薄膜质量

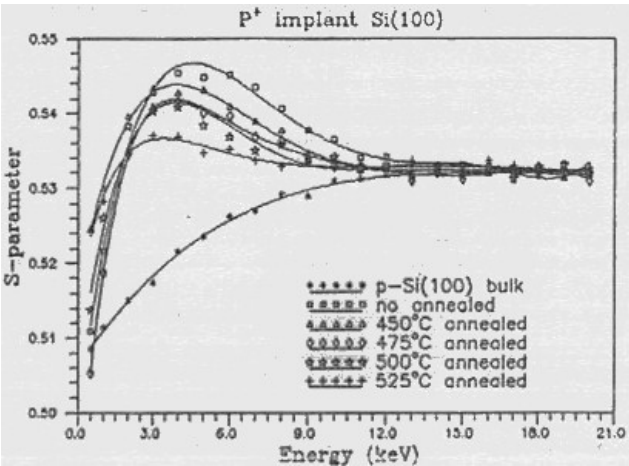
室温		小空位团
500℃左右		单空位
575℃		空位型缺陷基本消失
700℃		锑扩散的影响

正电子谱学应用之三  
离子注入硅产生的缺陷及其退火行为

注入及退火条件

	E(keV)	I(μA)	D(ions/cm <sup>2</sup> )	t <sub>2</sub> (min)
P <sup>+</sup>	90	0.5	2×10 <sup>14</sup>	20
P <sub>2</sub> <sup>+</sup>	180	0.25	1×10 <sup>14</sup>	20

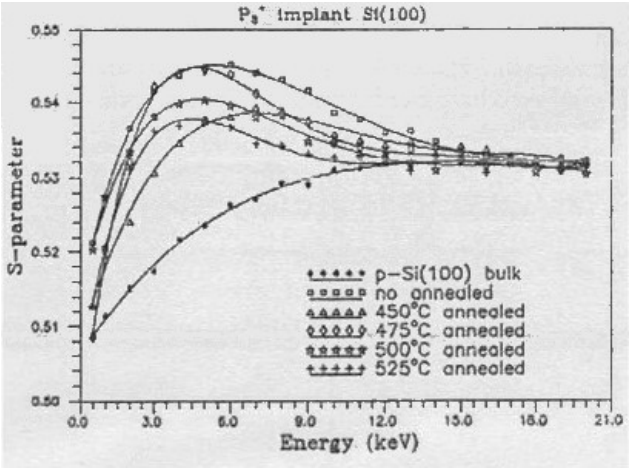




P<sup>+</sup>注入样品的实验S参数

P<sup>+</sup>注入硅引起的缺陷及其退火行为

退火温度	未退火	450 (°C)	475 (°C)	500 (°C)	525 (°C)
$x_1(\text{nm})$	94.3	87.4	74.8	69.2	63.7
$x_2(\text{nm})$	250.1	240.1	200.7	194.7	186.8
$S_d/S_b$	1.026	1.019	1.022	1.017	1.008
$K(\lambda_b)$	32	28	26	25	23
$\Delta x(\text{nm})$	155.8	152.7	125.9	125.5	123.1



P<sub>2</sub><sup>+</sup>注入样品的实验S参数

P<sub>2</sub><sup>+</sup>注入硅引起的缺陷及其退火行为

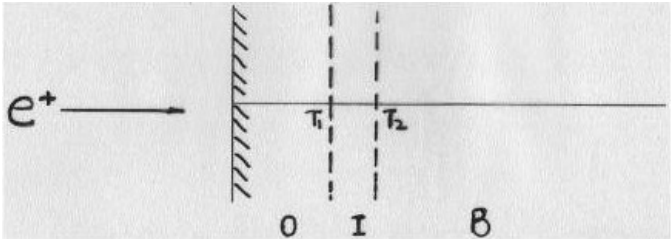
退火温度	未退火	450 (°C)	475 (°C)	500 (°C)	525 (°C)
$x_1(\text{nm})$	71.3	67.5	77.1	64.8	57.4
$x_2(\text{nm})$	248.1	234.1	201.7	214.8	201.0
$S_d/S_b$	1.025	1.020	1.022	1.031	1.011

$K(\lambda_b)$	34	27	30	27	24
$\Delta x(\text{nm})$	176.8	166.6	124.6	150.0	143.0

- 结论（方势阱拟合）
  - 注入引起的缺陷类型
  - 损伤区域随退火温度增加而变窄；即前沿、后沿均向注入面移动
  - 退火不改变缺陷类型，只引起缺陷浓度的变化
  - P分子离子注入的缺陷层厚一些

正电子谱学应用之四  
界面微结构变化的慢正电子研究

- 描述界面的模型

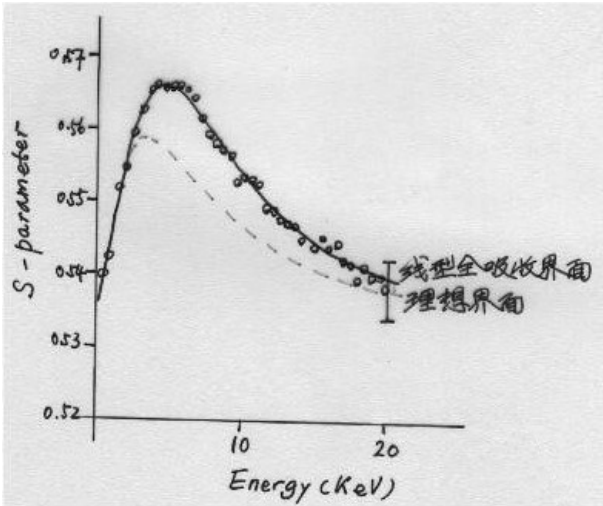


$$S = F_S S_S + F_O S_O + F_I S_I + F_B S_B$$

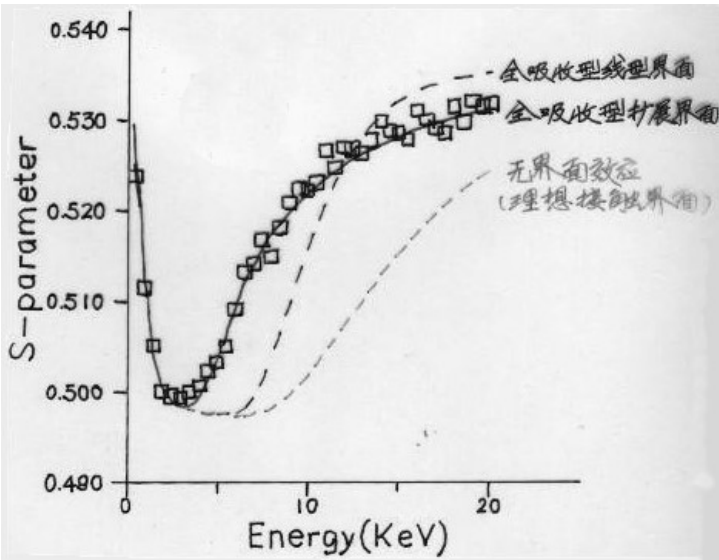
$$F_S + F_O + F_I + F_B = 1$$

- 界面的五种物理模型
  - 均匀介质模型：块材衬底
  - 理想线形接触模型
  - 线形全吸收模型
  - 有限厚度全吸收模型
  - 有限厚度模型

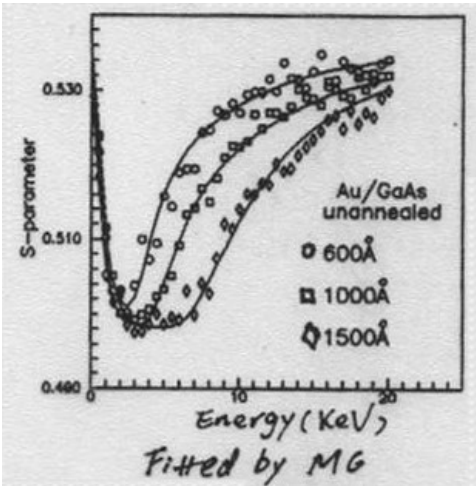
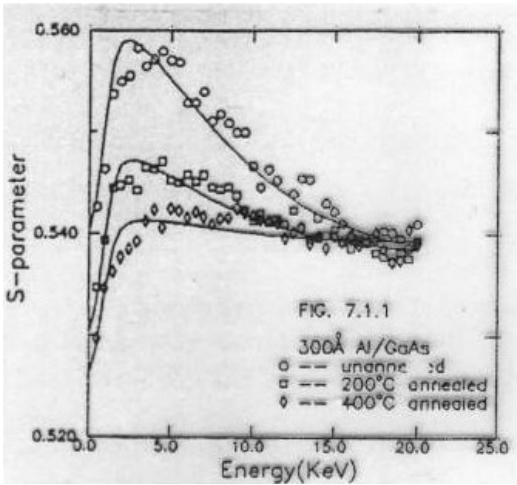
- Al/GaAs



- Au/GaAs



■ Al/GaAs 的退火效应



<完>