

## 第四分册

### 目 录

#### 工程物理系

|                                                                                                             |     |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|
| 中能 ( $\alpha, N$ ) 反应的微观描述 .....                                                                            | 许祥源 | 4-1  |
| 钢材注氮与磨损的一些实际问题 .....                                                                                        | 余 焜 | 4-2  |
| 降压离子镀 Ti、TiN <sub>x</sub> 镀层的研究 .....                                                                       | 程青贻 | 4-3  |
| Fe—Cr、Fe—Ti 系离子束混合及其混合层电化学性能的研究 .....                                                                       | 冯嘉猷 | 4-4  |
| SLHZC: 水堆棒束流场焔场的子通道分析程序 .....                                                                               | 贾宝山 | 4-5  |
| CHAN: 水堆燃料棒束冷却剂流场、焔场稳态计算程序 .....                                                                            | 芷希年 | 4-6  |
| 用时间序列分析方法对 Borsssele 反应堆噪声进行国际基准试验及测定某<br>反应堆温度计的时间常数 .....                                                 | 施 工 | 4-7  |
| 考虑时空相关效应的脉冲中子源法测堆反应性的研究 .....                                                                               | 王国力 | 4-8  |
| 平面磁控溅射的研究 .....                                                                                             | 张化一 | 4-9  |
| 驻波加速结构微波性能的研究及束流横向动力学的计算 .....                                                                              | 徐光华 | 4-10 |
| 耦合器和盘荷波导的匹配及场分布测量的实验研究 .....                                                                                | 蔡鸿程 | 4-12 |
| 正电子湮灭技术在 OCr13Ni4MO 钢氢脆机理研究中的应用 .....                                                                       | 饶建锡 | 4-13 |
| 超离子导体 Rb <sub>4</sub> Cu <sub>18</sub> I <sub>7</sub> Cl <sub>18</sub> 中的正电子湮没及关于正电子寿命谱归一化峰<br>顶计数的研究 ..... | 江少林 | 4-14 |
| 微计算机多道分析器数据收集接口硬、软件的设计 .....                                                                                | 蔡建新 | 4-16 |
| $\gamma$ 谱分析 FORTRAN 软件包 .....                                                                              | 解苑明 | 4-17 |
| 小型多丝正比室和高密度多丝正比室的研制和性能研究 .....                                                                              | 汪忻昆 | 4-18 |
| $\alpha$ 独立粒子模型与 $^{16}\text{O}$ ( $\alpha, 2\alpha$ ) $^{12}\text{C}$ 准自由散射 .....                          | 殷 定 | 4-19 |
| $\beta$ 反散射测厚的研究 .....                                                                                      | 黄可发 | 4-20 |
| 用约化 R 矩阵计算 $E_n(\text{Lab}) < 1.7\text{MeV}$ 能区 $^6\text{Li}(n, t)\alpha$ 积分截面 .....                        | 陈振朋 | 4-21 |
| 快中子极化仪与 $\text{D}(d, n)^3\text{He}$ 反应中子极化度的测量 .....                                                        | 朱胜江 | 4-22 |
| 固氮酶钼铁辅因子模拟物 Mössbauer 谱特征的研究 .....                                                                          | 翟建才 | 4-23 |

#### 化学与化学工程系

|                                                          |     |      |
|----------------------------------------------------------|-----|------|
| 双酚 A 在环氧树脂和 CTBN 增韧环氧树脂中作用的研究 .....                      | 陶德辉 | 4-25 |
| 端羧基液体丁腈橡胶 (CTBN) 增韧环氧树脂的研究—有机液体<br>酸酐作固化剂— .....         | 李永德 | 4-26 |
| 掺 NiO 的 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 致密化工艺与机理的研究 ..... | 崔国文 | 4-26 |

|                                               |     |      |
|-----------------------------------------------|-----|------|
| 酯—正烷烃体系超额热力学函数的研究 .....                       | 高光华 | 4-28 |
| 三次型状态方程的改进及高压混合气体积数据的实验研究 .....               | 刘裕品 | 4-31 |
| 《分散—聚合》型脉冲筛板萃取柱中两相流体力学的研究 .....               | 戴猷元 | 4-33 |
| 高冰镍硫酸浸出液萃取净化流程的经济分析和最优化 .....                 | 曲德林 | 4-34 |
| 加压变换装置的流程模拟及其应用 .....                         | 高晓虹 | 4-35 |
| 肌酸激酶的变性失活和复性复活的动力学研究 .....                    | 周海梦 | 4-36 |
| 对氟苯甲酰丙基巴比吐酸的合成 .....                          | 杨增家 | 4-37 |
| 吡嗪类衍生物的合成及其结构与香度关系的研究 .....                   | 李淑贞 | 4-38 |
| 一些具有生理活性的 1,5—苯并硫氮杂萘化合物的合成 .....              | 吕九琢 | 4-39 |
| 末端烷基键长和分子骨架对产生诱导近晶相的影响 .....                  | 葛继曾 | 4-40 |
| 一种新型多色液晶显示方法的研究 .....                         | 徐寿颐 | 4-42 |
| 分子发射腔分析法 (ME、CA) 分析含磷有机物的研究 .....             | 王小芹 | 4-43 |
| 计算机辅助分子结构解析——结构发生器与亚结构检索计算程序 (SGSSP)<br>..... | 王心枢 | 4-44 |
| 量子化学理论计算方法中若干问题的研究 .....                      | 吴国是 | 4-45 |
| 四氢萘在镍钼和铁系催化剂上脱氢反应动力学的研究 .....                 | 林 洁 | 4-46 |
| 噻吩在谐振式浆化反应器中加压下催化 HDS 反应动力学的研究 .....          | 陈 希 | 4-49 |
| 铈膦络合催化剂的失活及其机理研究 .....                        | 刘金尧 | 4-50 |

## 工 程 力 学 系

### 时间相关有限面积流线迭代法及其在平面跨音速叶栅绕流计算中的应用

|                                                |     |      |
|------------------------------------------------|-----|------|
| .....                                          | 陈细梯 | 4-52 |
| 同轴射流初始段湍流混合过程的数值分析 .....                       | 伍 超 | 4-54 |
| 管内声传播问题计算的一种有限差分方法 .....                       | 徐嵩龄 | 4-55 |
| 人工心脏瓣膜脉动流模拟实验装置及实验研究 .....                     | 陈 欣 | 4-56 |
| 轴对称分离流动中对流——扩散问题的数值模拟——对一种新型超净场<br>设施的研究 ..... | 崔桂香 | 4-57 |
| 半球封头园柱壳结构的塑性分析 .....                           | 程 莉 | 4-57 |
| 用边界积分方程——边界元法解复杂形状回转体扭转应力集中问题 .....            | 单文文 | 4-59 |
| 带横孔园轴三维应力分析的边界积分方程——边界元法 .....                 | 卢习林 | 4-60 |
| 白光散斑法实验的基本研究与若干力学上的应用 .....                    | 王明贵 | 4-61 |
| 用模态综合法对大型转子——轴承——基础系统进行动力计算的研究 .....           | 张若京 | 4-62 |
| 塑性应变测量研究 .....                                 | 廖兼武 | 4-63 |
| 在轴对称任意荷载作用下正交异性园环壳的应力状态渐近分析 .....              | 王安稳 | 4-64 |
| 具有加强管的多孔厚板应力分析 .....                           | 文小凡 | 4-64 |
| 用硅橡胶复型法对弹塑性断裂参量的实验研究 .....                     | 陈志远 | 4-65 |
| 用模态综合法对汽轮机叶片组振动特性的研究 .....                     | 王福荣 | 4-66 |

|                                      |     |      |
|--------------------------------------|-----|------|
| 幂硬化材料各向异性硬化Ⅱ型稳恒扩展裂纹尖端的弹塑性场 .....     | 谢慧才 | 4-67 |
| 弹塑性有限元分析数值方法的若干问题 .....              | 常亮明 | 4-68 |
| 双线性材料的各向异性强化稳恒扩展裂纹尖端场 .....          | 张润甫 | 4-69 |
| 投影云纹测振技术的研究 .....                    | 杨锡芬 | 4-70 |
| 气冷叶片表面局部对流换热系数的数值计算 .....            | 凌均效 | 4-71 |
| 超音速氩等离子体发生器喷嘴中流动的数值计算及其出口参数的检测 ..... | 沈湘林 | 4-72 |
| 等离子点火器前室混合过程的研究及煤粉燃烧的数值计算 .....      | 杨泽亮 | 4-73 |
| 舰船机动航行快速控制问题初探 .....                 | 郭乐之 | 4-73 |
| 挠性悬臂梁平稳随机振动的最优控制 .....               | 俞文伯 | 4-74 |
| 加热炉的最速升温控制规律 .....                   | 杨新华 | 4-75 |

### 基础课教学研究部

|                                      |     |      |
|--------------------------------------|-----|------|
| S 型波纹管的计算——园环壳一般解的应用 .....           | 冯思慎 | 4-76 |
| 承重予制墙板的应力分析——用边框加固的弹性薄板的应力分析 .....   | 燕公溥 | 4-77 |
| 内燃机配气机构的瞬态振动 .....                   | 刘树功 | 4-78 |
| 阻尼消振器对轴承油膜引起转子振动的影响 .....            | 朱建国 | 4-79 |
| 支承特性对内阻引起的多园盘转子的稳定性的影响 .....         | 高奇华 | 4-80 |
| 集中力作用下墙板的应力分析——用边框加固的弹性薄板的应力分析 ..... | 张音翼 | 4-81 |
| 用脉冲氢闸流管作开关的氮分子激光器的实验研究 .....         | 宋占侠 | 4-82 |
| CW 选频 CO <sub>2</sub> 激光器谱线的研究 ..... | 谢占武 | 4-83 |
| 气体的激光光声光谱实验研究 .....                  | 曾 明 | 4-84 |
| 三能级量子力学系统在二近共振强激光场下行为的讨论 .....       | 安嘉玫 | 4-85 |
| 数据流方程组的逐级显示化解法 .....                 | 吴素华 | 4-86 |
| 几种二阶非线性常微分方程解的有界性 .....              | 陈宝根 | 4-87 |
| 汽车发动机支承参数的优化 .....                   | 钱仲范 | 4-88 |
| 一类非线性拟稳态场的有限元分析 .....                | 王 哲 | 4-89 |

## 中能 ( $\pi, N$ ) 反应的微观描述

理论物理专业研究生 许祥源    指导教师 陈学俊

中能 ( $\pi, N$ ) 反应对核结构、核反应机制的研究具有重要意义, 现有理论如单核子模型和双核子模型都未能满意地解释实验结果, 本文将 Brown 和 Weise 在研究  $\pi$ -核散射中所提出的 Isobar 模型推广应用到中能 ( $\pi, N$ ) 反应的描述上, 把单核子吸收过程和多核子吸收过程结合起来, 进一步研究了各种因素对 ( $\pi, N$ ) 反应的影响。根据 (3, 3) 共振能区的特点, 略去核子-空穴对的激发和  $\Delta$ -h 对的向后传播过程, 只考虑  $\Delta$ -h 的向前传播过程, 并只涉及单  $\pi$  交换, 应用 Lippmann-Schwinger 方程, 通过引进描述自旋-同位旋波传播的格林函数  $G$ , 实现了对无穷多个图的求和。在这个基础上, 本文不通过一般 TDA 求解本征方程的方法, 而是采用唯象近似处理多体作用, 即假定  $\Delta$ -Isobar 在一个复谐振子位阱中运动,  $1\psi_n\rangle$  取谐振子位阱中简单的  $\Delta$ -h 波函数, 相应的本征能量参数化, 借助于  $\mu\Delta$ 、 $P\Delta$  反映多体效应对 Isobar 位置及宽度的影响。作者根据唯象近似方法, 详细推导了  ${}^3\text{He}(\pi^-, n){}^2\text{H}$  反应微分截面计算公式, 并具体计算了下述三个方面的问题: (i) 计算了  $T_\pi=100, 200, 295$  Mev  $\pi^-$ - ${}^3\text{He}$  弹性散射微分截面, 对唯象近似方法中所选取的参数, 包括  $\Delta$ -h 组态空间的大小,  $\mu\Delta$ 、 $P\Delta$  以及它们随能量的变化和  $\Delta$  的自旋-轨道耦合强度等进行了讨论; (ii) 计算了平面波出射下的  ${}^3\text{He}(\pi^-, n){}^2\text{H}$  反应微分截面, 探讨了相互作用哈密顿量的非静态修正对角分布的影响, 同时还研究了离壳和在壳部分对反应微分截面的贡献以及出射顶点不同的核内单核子波函数对角分布的影响, 并计算了  $T_\pi=100\sim 300$  Mev 的  $\theta_{\text{cm}}=35^\circ$  的微分截面与能量的关系, 所得结果与实验趋势基本一致; (iii) 计算了出射波扭曲下的  $T_\pi=100, 150, 200, 285$  Mev  ${}^3\text{He}(\pi^-, n){}^2\text{H}$  反应微分截面, 扭曲位阱取实方位阱形式, 分别研究了单核子吸收过程和多核子吸收过程, 发现单核子吸收过程所得形状与实验不符合, 多核子过程整个趋势与实验角分布基本一致, 两个过程互相干涉的结果, 可以获得与实验基本一致的形状, 在  $T_\pi=100, 285$  Mev, 本文比 Fearing 按 Ruderman 模型计算所得结果有明显改进。上述计算结果表明: Isobar 模型作为中能 ( $\pi, N$ ) 反应机制的一种描述基本上是成功的; 本文所取的唯象近似方法能够与实验符合, 因而是合理的; 中能 ( $\pi, N$ ) 反应主要是多核子吸收机制; 终态出射核子的扭曲能对 ( $\pi, N$ ) 反应角分布产生很大影响, 尤其是对大角散射截面有明显影响, 包括非静态修正能对 ( $\pi, N$ ) 反应角分布的计算产生好的影响, BGGS 形的非静态修正比较适宜。

答辩日期 1982 年 6 月 29 日

# 钢材注氮与磨损的一些实际问题

核材料专业研究生 余 焜 指导教师 张效忠

关于注入氮离子改善钢的滑动磨损性能,已经进行了许多试验研究。由于工业上很多另件是淬火回火态的,故有必要研究不同热处理状态钢的注  $N^+$  效应,并考虑磨损应用中的一些实际问题。

磨损试验采用交叉园柱式磨损机,下付固定,下付旋转。为了了解上下付磨损行为的相互关系,本文主张分别测定上下付磨损量。

上付体积磨损量可由下式计算,

$$V_u = \frac{\pi}{64R} W^3 X$$

式中,  $W$ 、 $X$  表示上付椭圆磨痕长、短直径;

$R$  表示下付半径。

下付体积磨损量由测定磨损失重计算。

选择 20,45,T8, 18Cr2Ni4WA, 38CrMoA1A, GCr15, 1Cr18Ni9Ti 七种钢材;经过热处理,得到各种不同硬度的样品。只对下付外园表面注  $N^+$ , 注入离子能量 100 Kev, 束流密度  $10 \sim 40 \mu A/cm^2$ , 剂量  $2 \sim 5 \times 10^{17}/cm^2$ 。有如下试验结果。

1. 注  $N^+$  可以提高各种热处理状态钢的耐划伤性,提高它们的滑动磨损性能。
2. 利用注  $N^+$  改善钢的耐磨性,基体成分和显微结构的选择是重要的。氮化钢和奥氏体不锈钢的注  $N^+$  效果最为显著。一般说来,含铬的钢,片状组织的钢注  $N^+$  后收益较大。
3. 热处理可以提高钢的硬度和耐磨性,硬度愈高,磨损率愈小,上下付磨损率之比值也愈小。在热处理强化提高了耐磨性的基础上,注  $N^+$  能进一步使磨损率下降,并依然保持硬度与磨损率关系的总的倾向,即基础硬度愈高,磨损率愈小,上下付磨损率的比值愈小。
4. 负荷愈重,基体硬度对磨损率的影响愈大。对于重负荷,只有在高硬度的基体上,注  $N^+$  层才能有效地发挥其作用;负荷愈重,注  $N^+$  效果愈明显。对于轻负荷,软基体可以作为支承;负荷愈轻,注  $N^+$  效果愈明显。
5. 注入引起的热效应是不可忽视的,可以通过淬火钢的硬度变化得到注入条件下的等效回火温度。为了减轻回火效应,束流密度和剂量应该适当,也可采取继续注入方式。
6. 离子注入可以改善跑合性能。
7. 对退火态钢,下付注  $N^+$  可以使上下付的磨损率有不同程度的下降,且下付相对磨损率是低于上付相对磨损率。对淬火态钢,注  $N^+$  下付的磨损率都有下降,但上付磨损率只是在小束流密度或在重负荷条件下才有所下降。

基体性质,注入工艺、磨损条件以及磨损行为之间的相互作用使得离子注入改善钢的耐磨性的问题十分复杂。因此,在离子注入的实际磨损应用中,必须考虑多方面的因素,以便得到正确的匹配。为了解释上述试验现象,本文提出离子注入表层模型,即在基体与表面注  $N^+$  层之间有亚表面回火软化层,它们本身的性能以及在不同磨损条件下它们之间的相互作用表现了不同的表面性能和磨损性能。

本文对注  $N^+$  表面进行了金相分析、离子探针显微分析、穆斯堡尔谱分析,并对注  $N^+$  前后的磨痕进行了对比观察。

答辩日期 1982 年 6 月 5 日

## 降压离子镀 $Ti$ 、 $TiN_x$ 镀层的研究

核材料专业研究生 程青蟾 指导教师 李恒德

本文通过理论分析和实验,证实了利用气体起辉后电场的畸变,可以在高真空下实现降压离子镀和降压反应离子镀(分别简称为 RPIP 和反应 RPIP)。

在真空室极限真空度  $10^{-8}$  Torr 条件下用 RPIP 法镀制的  $Ti$  镀层兼有活性蒸镀法和真空镀的优点。在电子束功率为 1.1KW 时, RPIP 的  $Ti$  镀层的沉积速率约为  $0.11\mu m/min$ , 是活性蒸镀法的 1.3 倍。在基板无偏压时 RPIP 镀层的表面针孔比活性蒸镀的少; 基板偏压负 1KV 时, RPIP 和活性蒸镀的镀层表面基本无针孔; 而真空镀镀层表面有少量针孔。RPIP 镀层的附着力比真空镀的强; 杂质含量比活性蒸镀的少。分别采用不同的起辉气体  $A_r$  和  $N_2$  进行 RPIP, 发现用反应气体  $N_2$  起辉的镀层表面针孔少, 而点阵常数增大。说明有一定数量的  $N$  固溶于  $Ti$  镀层; 也说明了起辉气体对镀层结构是有影响的。

反应 RPIP 的反应气体可以不受其他限制, 独立进行调节。用电子束功率 1.1KW 蒸发  $Ti$ , 进行了  $TiN_x$  反应 RPIP。由  $x$  光衍射相鉴定得出, 随着氮气压力增大, 镀制的  $TiN_x$  的系数  $x$  也增大, 由  $Ti \rightarrow Ti + Ti_2N \rightarrow Ti_2N \rightarrow Ti_2N + TiN \rightarrow TiN$ 。经显微硬度的测定指出  $Ti_2N$  镀层具有最高的硬度。

对高硬度的  $Ti_2N$  镀层进行了研究。 $Ti_2N$  镀层结构致密; 平均沉积速率是  $0.14\mu m/min$ ; 平均显微硬度是  $KHN = 3100 \pm 600 kg/mm^2$ 。用氮化硅刀头对  $Ti_2N$  镀层进行划痕试验, 划痕的痕迹边缘光滑, 无膜层剥离现象, 定性说明镀层附着良好。

降压离子镀的特点是把离子镀的起辉气压和镀膜气压这两个因素分离开来。实验表明了由于能够独立调节镀膜气压, 在镀制纯物质和化合物镀层中都更好地控制了镀层质量。

答辩日期 1982 年 6 月 5 日

# Fe-Cr、Fe-Ti 系离子束混合及其混合层 电化学性能的研究

核材料专业研究生 冯嘉猷 指导教师 李恒德 汪泓宏 陈鹤鸣

本文通过 Cu—Ag 及 Fe—Ti 系多层膜和 Fe—Cr 及 Fe—Ti 系单层膜低温离子束混合, 研究合金膜的结构和混合后金属表面的电化学性能。

Cu—Ag 系  $\text{Cu}_{88}\text{Ag}_{12}$ 、 $\text{Cu}_{77}\text{Ag}_{23}$ 、 $\text{Cu}_{59}\text{Ag}_{41}$ 、 $\text{Cu}_{27}\text{Ag}_{73}$  等 4 种成分多层膜样品经 300 keV、 $2 \times 10^{15} \times e^+/e^2\text{m}$  低温 ( $\text{LN}_2$ ) 离子束混合, 由掠射  $x$  线衍射表明, 混合膜都是单相亚稳面心立方固溶体, 其点阵常数落在连接 Cu 和 Ag 的平滑曲线上, 和遵守 Vegard 定律的理想固溶体相比稍有正偏差。透射电镜观察表明, 亚稳固溶体加热至  $180^\circ\text{C}$  转化为 Cu 和 Ag 平衡相。

Fe—Ti 系  $\text{Fe}_{89}\text{Ti}_{11}$ 、 $\text{Fe}_{78}\text{Ti}_{22}$ 、 $\text{Fe}_{55}\text{Ti}_{45}$ 、 $\text{Fe}_{27}\text{Ti}_{73}$  等 4 种成分多层膜样品经 300 keV、 $2 \times 10^{15} \times e^+/e^2\text{m}$  低温 ( $\text{LN}_2$ ) 离子束混合,  $\text{Fe}_{89}\text{Ti}_{11}$ 、 $\text{Fe}_{78}\text{Ti}_{22}$ 、 $\text{Fe}_{27}\text{Ti}_{73}$  形成单相亚稳体心立方固溶体,  $\text{Fe}_{55}\text{Ti}_{45}$  形成非晶态。非晶态衍射峰位置  $S_1 = 3.15(\text{\AA}^{-1})$ ,  $S_2/S_1 = 1.66$ 、 $S_3/S_1 = 2.02$ 。非晶态的晶化过程由两个阶段完成: 在  $210^\circ\text{C}$ , 非晶态转化为单相体心立方固溶体, 在  $350^\circ\text{C}$ , 单相体心立方固溶体转化为多相组织。4 个体心立方固溶体的点阵常数落在连接  $\alpha\text{-Fe}$  和  $\beta\text{-Ti}$  的平滑曲线上, 并稍有正偏差。

$\text{Cr}(300\text{\AA})/\text{Fe}$  和  $\text{Ti}(350\text{\AA})/\text{Fe}$  样品在 300keV、 $5 \times 10^{15}$ 、 $1 \times 10^{16}$ 、 $5 \times 10^{16} \times e^+/e^2\text{m}$  低温 ( $\text{LN}_2$ ) 离子束混合, 由三扫描法阳极极化曲线测定表明, 抗腐性能和纯 Fe 相比有显著改善, 主要表明为钝化电流密度 ( $i_c$ ) 和维钝电流密度 ( $i_p$ ) 减小, 尤其在剂量为  $1 \times 10^{16} \times e^+/e^2\text{m}$  混合下,  $i_c$  和  $i_p$  都减小约 100 倍。 $\text{Ti}(350\text{\AA})/\text{Fe}$  样品在 300Kev、 $1 \times 10^{16} \times e^+/e^2\text{m}$  混合下得到非晶态结构, 用多次极化法研究了非晶态混合层的腐蚀行为, 用 SIMS 分析方法, 得到  $\text{Cr}(300\text{\AA})/\text{Fe}$  样品在 300keV, 不同剂量的  $xe$  离子低温混合下, 混合量和剂量成正比的关系。

在实验结果的基础上, 讨论了离子束混合的原子过程和亚稳固溶体及非晶态的形成原理。离子束混合是非平衡过程, 它扩大固体固溶度的能力比熔体急冷法大, 并能形成常规工艺所不能得到的非晶态。本文还收集了国外离子束混合的实验结果, 提出键参数函数判据对二元系离子束混合能否形成非晶态具有一定的指导意义。

答辩日期 1982 年 9 月 25 日

# SLHZC: 水堆棒束流场焔场的子通道分析程序

反应堆物理专业研究生 贾宝山 指导教师 曹栋兴

本论文介绍了作者编制的一个用于水堆棒束流场焔场分析的计算程序——SLHZC 程序。它使用国际上近十几年发展起来的子通道分析法,而该方法广泛应用于反应堆的热工水力设计和安全分析中。

子通道分析法采用开式通道模型,在几个基本方程中定量地考虑了冷却剂通道间所发生的湍流质量交混和转向横流质量交混以及拌随发生的能量交混和动量交混,因而用这种方法所计算出的活性区热工状况更接近实际。采用这种方法对反应堆的经济性和安全性都是有益的,尤其是对于有流道阻塞和强迫横流的实际问题,采用子通道分析法更是必要的。

SLHZC 程序的特点包括:

一、除可以进行水堆棒束的稳态流场焔场分析外,还可以进行瞬态分析。

二、除可以求解以堆芯入口流量分布为边界条件的实际问题外,还可以求解以入口压力分布为边界条件的实际问题。

三、采用考虑了轴向惯性影响的横向动量方程,因而不仅增加了横流数值解的稳定性,而且可以处理由定位格架转向片所造成的强迫转向横流问题。

四、采用多次通过的步进解法求解边值问题,不仅使轴向节段长度和时间步长的取值没有稳定性限制,而且使程序可以处理带有流道阻塞的实际问题。

该程序的局限性包括:必须有正的轴向流速而不能有反向流或环流;轴向流速要大于横流速度;不能处理以声速传播的快速瞬态问题。

SLHZC 程序主要是在参考美国 COBRA-III C 程序模型的基础上编制出来的,但为了节省计算机内存和减少运算工作量,作者对 COBRA-III C 模型的下述几个方面进行了改造:

一、用轴向动量方程和连续性方程结合的关系式代替 COBRA-III C 用轴向动量方程去求解压力场,在减少运算量上收到了显著效果。

二、用高斯-赛德尔迭代法取代 COBRA-III C 程序使用的高斯消去法求解横流矩阵方程,收到了节省内存和具有机动灵活性的益处。

三、提出了短路已收敛截面上所有计算的设想和压缩横流系数矩阵储存的设想。

为了满足反应堆热工设计和安全分析的实际需要,SLHZC 程序增加了处理以入口压力分布为边界条件的实际问题的功能。在借鉴国外成果的同时,作者有分析地提出了改造原来关系式的意见,引入了倍增因子的概念,并给出了确定倍增因子的函数关系。运算的实践证明,改造的效果是好的。

本论文还报告了利用 SLHZC 程序对一个沸水堆组件进行计算的结果,它们包括没有阻塞的稳态工况计算,有阻塞的稳态工况计算以及沸水堆甩负荷时的瞬态工况计算

等, 并与得到实验验证因而广泛用于反应堆热工设计和安全分析中的 COBRA—ⅢC 程序的计算结果进行了比较。比较说明, 两个程序的偏差是微不足道的。

答辨日期 1981 年 11 月 9 日

## CHAN: 水堆燃料棒束冷却剂流场、焓场稳态计算程序

反应堆物理专业研究生 藏希年 指导教师 曹栋兴 赵兆颐

子通道分析方法在解决象压水堆那样的开式栅格问题时, 遇到了通道数目多所带来的占用计算机内存大和花费机时长的困难。本文介绍的 CHAN 程序, 采用了子通道计算中较新的压力—横流解法。该解法从数值计算观点看来非常有效, 因而, 能在有限的计算机内存和计算时间内解决多通道的问题。

压力—横流解法是七十年代后期提出的, 美国 COBRA—ⅢP 程序采用了这一解法。在参考该程序模型的基础上, 作者做了如下的工作:

一、分析了压力方程的特点, 结合实际已知的各通道出口等压边界条件, 构造了类似于“追赶法”的轴向迭代格式。计算表明, 这个改进了的轴向迭代格式有利于压力场收敛。

二、国外发表的关于 COBRA—ⅢP 的文章认为, 附加的内迭代是为了节省计算时间, 且在其流程图里没有附加的内迭代。作者从数值稳定性考虑, 证明了压力方程在  $\theta \leq 5$  时无条件稳定, 而横流方程不能保证稳定。作者认为, 附加的内迭代是用压力方程的稳定抑制横流方程可能的不稳定, 因而, 附加内迭代是保证数值稳定所必需的。计算实践证实了这一点。

三、本文从方程组维数、系数矩阵收敛行为、带状结构及迭代法解方程组的初值估计四个方面, 结合计算实践系统地比较了 CHAN 程序与 COBRA—ⅢC 程序的差异, 证明了压力方程系数矩阵的严格对角占优性质, 它是高效率迭代求解的基础, 从而有力地说明了为什么 CHAN 程序解决多通道问题的效率较高。

CHAN 程序运用的横向动量方程包括了横流的空间加速项, 改善了横流数值解的稳定性, 它通过轴向迭代求得边值解, 对计算步长没有数值稳定性限制。它可以处理通道入口流量分布和入口压力分布两种边界条件问题; 可以解决反应堆正常工况 (包括局部阻塞) 下的流场、焓场稳态计算问题。但是, 它不能处理反向流和环流的问题。

用 CHAN 程序对一沸水堆组件在正常工况和局部阻塞工况下进行了计算, 其结果与 COBRA—ⅢC 计算的结果符合很好。对重水堆十九棒束的计算结果与 COBRA—ⅢC 的计算结果也较好地符合。

本文还分析讨论了部分参数及不同入口条件对计算结果的影响。

答辨日期 1981 年 11 月 21 日

# 用时间序列分析方法对 Borssele 反应堆噪声 进行国际基准试验及测定某反应堆温度计的时间常数

反应堆物理专业研究生 施 工      指导教师 胡大璞

常规的反应堆噪声分析方法在研究高功率反应堆（主要是动力堆）的动态时，遇到了一些困难：采用常规方法，在有反馈和干扰的情况下，常得不出正确的传递函数；不能识别动力堆的中子链的动态；常规方法中常用的 FFT 谱具有统计上的局限性等。从七十年代后期起，时间序列分析方法被引入反应堆噪声分析领域，在一定程度上克服了上述困难，使动力堆的噪声分析取得了进展。

本文论述了常规的堆噪声分析方法的局限性，以及为什么时间序列分析方法有助于克服这些局限性，详细介绍了时间序列分析中的动态数据系统方法，探讨了它在堆噪声分析和堆工程中的用途。作者主要做了以下工作：

一、按照动态数据系统方法的建模策略，编制了 ARMA 模型的建模程序，在一些计算方法上作了改进，显著地减少了所需的计算量和存贮量。

在用非线性最小二乘法求 ARMA 模型参数时，需要计算向量函数的雅可比矩阵，一般采用差分方法来近似计算，所需的计算量和存贮量都比较大。作者推导出了计算雅可比矩阵的解析递推关系式，提出了在计算雅可比矩阵的同时直接生成最小二乘问题的法方程的计算格式，使计算雅可比矩阵所需的乘法和加法次数从  $N(2p^2 + pn + p - 1)$  下降为  $N(3n + 8m - 6)$ ；所需的存贮量从  $NP$  下降为  $3m$ ，其中  $N$  为时间序列样本长度， $n$  和  $m$  是 ARMA( $n, m$ ) 模型的阶数， $p = n + m + 1$ 。

例如，当  $N = 1024$ ，模型阶数为 ARMA(14, 13) 时，计算量可减少十倍以上，存贮量可节省 100K 字节以上。

二、用 ARMA 模型对 Borssele 反应堆噪声成功地进行了分析，与国际基准试验的结果符合得很好。

在 1981 年 10 月进行的反应堆噪声分析方法的国际基准试验中，采用 ARMA 方法的参加者未能取得较好的结果。本文的工作说明，这并不是由于 ARMA 方法本身的缺陷造成的，只要按照具体情况合理地选择模型的阶数，完全可以获得正确的结果，ARMA 分析方法用于反应堆噪声分析是可行的，有效的。

三、用 ARMA 方法对某反应堆工艺管出口的电阻温度计的日常运行数据进行了分析，在原始数据精度差、取样间隔大的不利条件下，得出了该温度计的时间常数。

答辩日期 1982 年 8 月 27 日

# 考虑时空相关效应的脉冲中子 源法测堆反应性的研究

反应堆物理专业研究生 王国力 指导教师 胡大璞

脉冲中子源技术可用于测量反应堆的反应性。在次临界状态下向堆内注入脉冲中子,然后测量堆内中子的时间响应曲线,利用所获得的实验数据计算出堆的反应性。

由脉冲中子源方法测出的数据一般可用四种方法计算给出反应性的值。这就是 Simmos—King 方法, Gozani 方法, Sjöstrand 方法, Garelis—Russel 方法。

以上四种方法均是以点堆动力学模型为基础而推导出来的,即假定时空可以分离,在这种假定下瞬发中子密度基波的空间分布和缓发中子密度基波的空间分布是没有区别的。这种假定在裸堆的情况下,或在次临界度比较浅的情况下是成立的。但在带有反射层的堆内,或在次临界度比较深的情况下,这种假定并不成立。这就使得在这些情况下应用以上方法测出的反应性表现出与探测器空间位置明显的相关性,并且明显地偏离堆的稳态反应性的值。

在本报告的第一部分中,从时空相关的中子动力学的理论出发推导给出了用脉冲中子源法测出的  $(\rho/\beta)$  值和堆的真正的稳态反应性值  $(\rho/\beta)_{ST}$  之间的理论关系。从推导出的理论关系式可以清楚地看出造成实验测出的反应性与探测器空间位置相关性的根本原因是瞬发中子密度基波的空间分布和缓发中子密度基波的空间分布之间的差别,我们称这种差别对反应性测量值的影响为“动态扰动效应”。另一个原因是“高次谐波效应”,这个效应可用 Gozani 方法和 Garelis—Russel 方法消除,但“动态扰动效应”在以上的四种方法中都是存在的。要想使用以上的方法测出堆的稳态反应性的值,就必须消除“动态扰动效应”造成的干扰,一种途径就是求出“动态扰动修正因子”。

在本报告的第二部分中给出了我们在两种堆装置上进行的四组实验的结果,实验地研究了深度次临界下带有水反射层的堆的“动态扰动效应”和“高次谐波效应”。

在本报告的第三部分中提出了一种计算“动态扰动修正因子”的解析方法。以往有两种求“动态扰动修正因子”的方法:一种是利用单纯的理论计算手段求出堆内的瞬发中子密度基波的空间分布和缓发中子密度基波的空间分布,然后求出“动态扰动修正因子”。但这种方法损害了用实验手段测量反应性的简便性。另一种方法是用单纯的实验手段测出“动态扰动修正因子”。这种方法要求在堆芯内做逐点的测量以便求出瞬发和缓发中子密度基波的空间分布。这样尽管单纯使用实验手段,但却大大地增加了实验的工作量。在本报告中我们提出的方法的基本点是:用堆内少数几点的中子密度基波分布的测量值和双组扩散理论的解析计算相结合求出堆内整个的瞬发中子和缓发中子密度基波分布形状,进而求出“动态扰动修正因子”。

答辩日期 1982 年 9 月

# 平面磁控溅射的研究

加速器物理专业研究生 张化一 指导教师 王克礼

自七十年代以来,磁控溅射技术由于它的“高速、低温”二大显著特点,在国外,已被广泛地应用于生产、科研的各个领域。目前,国内也正在积极地研制磁控溅射装置。作者在北京仪器厂的平面磁控溅射实验台上,对平面磁控溅射的机理、运行参数之间的关系等方面进行了研究,并着重对它的“高速、低温”特性进行了实验测定,给出了定量的关系。

为了研究磁场对磁控溅射的影响,实验中设计了一个磁场在  $0 \sim 700$  高斯范围内连续可调的电磁铁。由于较为合理地解决了它的冷却、绝缘等问题,所以使得它的体积大为减少,从而,使电磁铁取代永磁铁应用到工业产品中成为可能,而不太增加装置的复杂性。这样,在运行中,为适合不同运行参数和不同靶材的需要,可灵活地、迅速地调节磁场强度,尤其在反应溅射中。并提出了电磁铁的二个优点:一是有利于实现稳定运行参数的自动控制;二是有利于铁磁物质的沉积;加大了靶厚并能够得到高的沉积速率。

较为详细地测定了铝、铜、钛、碳和铁靶在不同的磁场强度、不同压强下的  $I-V$  放电特性曲线,根据  $I = KV^n$ ,计算了每条曲线各自的  $n$ 、 $k$  值,说明了表征电子阱对电子捕集效率的  $n$  值与磁场、压强和靶材的关系。这样,对于不同的靶材,可通过

合适的  $n$  值来选择适当的运行参数:电压、电流、磁场和压强等。

实验中,设计了简单的圆柱型静电探针,对辉光放电等离子体参数进行了测量。得到了在平面磁控溅射中,等离子体的电子温度  $T_e$  在  $1\text{eV}$  左右,电子密度在  $10^9 \sim 10^{10}$  个/(厘米)<sup>3</sup> 的范围,从而介释了磁控溅射“低温”特性的根本原因—消除了高能电子对基片的直接轰击。

使用了石英晶体膜厚仪快速地、较为精确地测定了以上靶材的沉积速率  $R$ ,并计算了相应的功率效率  $\eta$ ,测定了压强、磁场、靶—片距与功率效率的关系曲线。

实验中,设计的用热传导法测量溅射粒子流的热流密度测量装置成功地测量了铝、铜、钛靶的热流密度。热流密度的测量定量地说明了磁控溅射的“低温”特性。一般对轻金属,如铝、铜、钛等溅射中到达基片的热流密度仅为靶平均功率密度的  $3\%$  左右。测量了热流密度与功率、靶—片距的关系曲线。并分析了热流的来源,从而估算出溅射原子的平均动能—— $10 \sim 30\text{eV}$  (对轻金属来说)。

本论文所测试的数据为北京仪器厂于 1981 年 11 月通过鉴定的“Jck—500 磁控溅射台”提供了运行的技术资料。同时,也为国内设计制造磁控溅射装置和使用推广磁控溅射这一先进的镀膜技术提供了有价值的参考资料。

答辩日期 1982 年 1 月 9 日

# 驻波加速结构微波性能的研究

## 及束流横向动力学的计算

加速器物理专业研究生 徐光华 指导教师 刘乃泉 童德春 林郁正

本文在北京医疗器械研究所和清华大学共同研制小型医用电子驻波直线加速器所做工作的基础上,就下面两个方面的问题进行了研究。

### 一、驻波加速结构端面条件对微波性能的影响

在分析驻波加速结构的微波性能和腔链初步调谐时,一般都用半腔结尾的谐振腔链,两端面为金属短路板。这种腔链的微波特性已有详细的分析。实际运用的加速结构大多是以整腔结尾的,一些作者分别用不同方法分析了整腔结尾的腔链,所得结论并不一致。等效回路法认为整腔结尾的腔链没有 0 模和  $\pi$  模,奇数个整腔具有  $\frac{\pi}{2}$  模;行波合成法则认为有 0 模没有  $\pi$  模,偶数个整腔有  $\frac{\pi}{2}$  模,且  $\frac{\pi}{2}$  模的场强分布也和等效回路法所得结果不同。

我们对此问题作了进一步的研究,发现对于整腔结尾链之所以有不同结论,是由于没有注意结构的端面条件。根据电磁场理论,存在两种典型的端面条件:电短路面与磁短路面。在驻波加速结构中,电短路面可以通过设置金属短路板实现,磁短路面可以通过一段截止波导来实现。

根据端面条件的不同,可以把谐振腔链分为三类:

(1) HE 型腔链:半腔结尾,两端面的金属平板是电短路面,位于腔的中央。

(2) FE 型腔链:整腔结尾,两端面的金属平板是电短路面,位于膜片正中。Alvarez 结构的端面是金属平板,其上的束流孔相比之下很小,可看成这种类型。

(3) FM 型腔链:整腔结尾,两端面的束流孔把端腔场的大部分都截止了,因此,在端腔外  $\frac{1}{2}$  腔长处形成磁短路面。用于电子直线加速器的双周期结构,由于加了鼻锥,电场主要集中在束流孔道附近,因此属于这种类型。

对于上述三种结构,我们分析了不同端面条件所能激励的谐振模式的场结构。通过分析,我们认为,HE、FE、FM 三种腔链相当于在无限长周期慢波系统驻波场中设置电短路面或磁短路面,驻波分布不受扰动,色散关系不变。因此,对于三种腔链,弗洛克定理都是适用的,只要根据不同端面设立合适的边界条件,对于不同类型的单周期或双周期结构都可以用同一等效回路方程求解或用行波合成法求解。表 1 比较了三类腔链的色散方程与场幅值解。

应用端面条件和谐振模式的关系,我们还分析了两种一端为半腔一端为整腔的腔链的微波性能;比较了 HE 型和 FM 型的  $\frac{\pi}{2}$  模特性;修正了日本一篇文章关于  $\pi$  模加速器谐振模式的错误,该加速器工作在  $\frac{3\pi}{4}$  模,而不是  $\pi$  模;同时还对电短路面转变

表1 单周期 HE、FE、FM 型腔链微波性能比较表

| 结构     | HE 型                                                                              | FE 型                                                                                | FM 型                                                                             |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 回路个数   | $N+1$<br>( $N-1$ 个整腔, 两个半腔)                                                       | $N$<br>( $N$ 个整腔)                                                                   | $N-1$<br>( $N-1$ 个整腔)                                                            |
| 机械结构总长 | $NL$                                                                              | $NL$                                                                                | $(N-1)L$                                                                         |
| 场结构总长  | $NL$                                                                              | $NL$                                                                                | $NL$                                                                             |
| 色散方程   | $\omega^2 = \frac{\omega_0^2}{1 + k \cos \frac{q\pi}{N}}$<br>$q = 0, 1, \dots, N$ | $\omega^2 = \frac{\omega_0^2}{1 + k \cos \frac{q\pi}{N}}$<br>$q = 0, 1, \dots, N-1$ | $\omega^2 = \frac{\omega_0^2}{1 + k \cos \frac{q\pi}{N}}$<br>$q = 1, \dots, N-1$ |
| 场幅值解   | $X_n = A \cos \frac{nq\pi}{N}$<br>$n = 0, 1, \dots, N$                            | $X_n = A \cos \left( n - \frac{1}{2} \right) \frac{nq\pi}{N}$<br>$n = 1, \dots, N$  | $X_n = A \sin \frac{nq\pi}{N}$<br>$n = 1, \dots, N-1$                            |
| 腔间平均相移 | $\frac{q\pi}{N}$                                                                  | $\frac{q\pi}{N}$                                                                    | $\frac{q\pi}{N}$                                                                 |

为磁短路面的过渡过程作了初步的实验。

通过上述分析和实验, 加深了对整腔结尾的腔链的认识, 澄清了一些文献的含混结论, 为加速结构所能激励的谐振模式和加速结构的进一步调谐提供了理论依据。

## 二、驻波加速结构中束流的横向运动

原子能所谢羲等人推导了行波加速结构的包络线方程:

$$\frac{d^2 R}{dz^2} + \frac{(\beta v)'}{\beta v} \frac{dR}{dz} + \frac{N(z)}{\beta v} R - \frac{e^2}{(\beta v)^2 R^3} = 0 \quad (2-1)$$

其中  $N(z)$  是考虑基波的影响和对  $E_r$ 、 $H_\phi$  线性化的结果。为了把 (2-1) 式用到驻波结构中, 我们作了下面几点处理。

(1) 考虑驻波场对横向运动的总效果。在行波结构中, 由于只考虑基波的作用, 当基波的相速和电子的速度都趋于光速时, 基波对横向的作用趋于零。在驻波结构中, 粒子经过聚束腔后就进入光速段, 因此不能只考虑基波的作用, 必须考虑驻波场的总效果。

(2)  $E_r$  和  $H_\phi$  的线性化。

电子在谐振腔中感受到的电磁场为:

$$\begin{aligned}
 H_{\phi}(r, z, t) &= H_{\phi}(r, z) \cos(\phi + \phi_0) \\
 E_r(r, z, t) &= -E_r(r, z) \sin(\phi + \phi_0) \\
 E_z(r, z, t) &= E_z(r, z) \sin(\phi + \phi_0)
 \end{aligned}
 \tag{2-2}$$

根据波谐振腔内电磁场的特点,在近轴范围内、 $E_r$  和  $H_{\phi}$  可以线性化,取  $r=1mm$  处的值作为线性化系数,即:

$$\begin{aligned}
 E_r(r, z) &= E_r(1, z) \cdot r \\
 H_{\phi}(r, z) &= H_{\phi}(1, z) \cdot r
 \end{aligned}
 \tag{2-3}$$

(3) 在驻波加速结构中,电子束经过聚束腔的相聚作用,成为一个个不连续的束团,因此,采用椭球空间电荷模型。

经过上述处理,就可以使(2-1)式适用于驻波结构,其中

$$N(z) = \frac{1}{\beta} e_r(z) \sin(\phi + \phi_0) + B_{\phi}(z) \cos(\phi + \phi_0) - \frac{3eIT\mu_r}{4\pi e_0 m_0 c^2 \beta v^2 R_s^2 a_z}$$

我们用 FORTRAN 语言编制了两个同时计算纵向和横向的计算程序:

(1) TPDC 驻波加速结构横向包络线方程程序。

(2) TPTM 驻波加速结构二阶传输矩阵程序,并以一个 4MeV 驻波加速结构为例,计算和分析了各种不同入射条件的聚焦性能。计算结果表明,对于较短的驻波加速结构,采用合适的负注入角度,无需外加聚焦磁场,就可以得到良好的聚焦。对较长的加速结构,可通过一个短磁透镜实现束的聚焦。横向动力学的计算为调谐出束提供了理论依据及参考数据。

答辩日期 1982 年 2 月 5 日

## 耦合器和盘荷波导的匹配 及场分布测量的实验研究

加速器物理专业研究生 蔡鸿程    指导教师 胡玉民 童德春 林希正

耦合器是行波电子直线加速器的重要部件,必须和盘荷波导加速管良好地匹配才能将微波功率顺利地馈入加速波导,并实现从  $TE_{10}$  型波到  $TM_{01}$  型波的模式转换。由于耦合器中的场结构比较复杂,目前对它的设计和匹配尚无完善的理论计算方法,主要依靠实验来确定其有关尺寸,耦合器位于加速波导之首,其中的场分布必然影响到粒子

的聚束。因此对耦合器和盘荷波导的匹配及场分布测量的实验研究是很有意义的。作者主要做了以下几方面的工作:

对国内外现有的测量耦合器反射系数的方法进行了分析,在逐步逼近法和移动负载三点法等方法的基础上,提出了利用盘荷波导的色散来移相从而测得耦合器反射系数的交频三点法。此法不需要制作同轴匹配负载,也不要插入可移动负载,依靠变频三次的测量数据就可以同时知道前、后两个耦合器的匹配程度。特别是变频三点法可应用于包括模在内的各种模式的加速结构,使得模的加速结构也有了比较方便的测量耦合器反射系数的方法。

运用耦合谐振腔等效导纳的分析方法研究了耦合腔有关尺寸变化与等效导纳的关系,给出了实验结果,在此基础上提出了调配盘荷波导腔式耦合器的最佳匹配方法,使得耦合器的调配工作较前方便迅速。我们采用变频三点法和最佳匹配方法对三均匀段盘荷波导加速管成功地进行了匹配,从输入端测量整个加速系统在中心工作频率上的驻波比小于 1.05,驻波比 1.2 以下的带宽 4.4 兆周。

在调配好耦合器的基础上,对耦合器及盘荷波导内场分布的测量进行了实验研究。对非谐振扰动技术的不同测量方法作了比较,设计了非谐振扰动测量用的“两魔 T 指零电桥”,并作了误差分析,比用测量线测量提高了精度。根据不同截止筒孔径的输入耦合器中场分布的测量结果,对 Haimson 提出的求取腔外截止点位置坐标的经验公式以及耦合器前半腔驻波场的经验公式作了必要的补充。考虑到加速管的衰减对非谐振扰动理论推导的有关公式作了修正,根据修正后的公式所计算得的电压衰减系数与理论计算结果相符。作者还对盘荷波导内存在反射时对场分布测量结果的影响作了一些实验探讨。

答辩日期 1982 年 9 月 9 日

## 正电子湮灭技术在 $\text{OCr}_{13}\text{Ni}_4\text{Mo}$ 钢氢脆机理研究中的应用

固体物理专业研究生 饶建锡 指导教师 熊家炯

正电子作为研究物质微观过程的一种独特的探针,已被广泛应用于固体物理、材料科学、化学、医学、生物物理学等领域。用正电子湮灭技术研究钢的氢脆问题,在国内都还只是开始。本文分析了这一课题的现有工作,认为其中一个关键问题是弄清氢与位错的作用,而用正电子湮灭的平均寿命分析难以解决这个问题。因此,本文提出用加权平均的方法获取位错信息。并且改进了实验方案,增设了驱氢、时效和充氢加载等多组实验样品,使得寿命分析可有不同状态下的结果互相印证,以增加分析的可靠性。

实验对象选择了高位错密度的 OCr13Ni4Mo 钢,可以减少复杂的其它因素的干扰。所用正电子谱仪为 ORTEC583 成套设备,仪器时间分辨率  $\text{FWHM} = 0.280\text{ns}$ 。正电子源为滴在镍箔上的  $^{22}\text{NaCl}$ ,源和样品为“夹馅”式组合,测试温度为  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 。每个谱的总计数为  $5 \times 10^6$ 。充氢方法均为阴极充氢法,充氢时间均为 60 分钟,充氢电流密度分别为 10、30、50、70、90、110  $\text{mA}/\text{cm}^2$ ,充氢温度亦为  $25^\circ\text{C}$ 。

对实验结果用程序 POSITRONFIT 进行强制  $\tau_2$  的三分量拟合,然后用捕获模型分析,并对第二分量采用加权平均方法计算出位错对正电子的捕获率  $k_d$ 。计算公式为:  $k_d = I_d(\Gamma - \lambda_d)$ 。其中,  $\Gamma = 1/\tau_1$ ,  $I_d = I_2(\tau_v - \tau_2)/(\tau_v - \tau_d)$ ,  $\tau_d$ 、 $\tau_v$  分别是位错和空位团寿命。根据实验结果和文献记载,取  $\tau_d = 206\text{ps}$ ,  $\tau_v = 371\text{ps}$ 。根据  $\kappa = \nu c$  可由  $\kappa d$  的变化反映位错密度的变化。各态  $\kappa_d$  与充氢电流密度的关系如图 1、2 所示。

经过分析讨论本文得出以下结论:

看来,氢以正离子形式存在于钢中;氢与位错的相互作用导致位错增殖;充氢增加时,位错增殖也增加;在本文充氢规范下,氢致位错增殖的作用超过了氢对位错的“填充”作用;在有外加应力场时,氢致位错增殖要比无外加应力场时大得多;充氢钢的时效过程可分为氢较快逸出与缓慢逸出这样二个阶段;OCr13Ni4Mo 钢中位错对正电子的比捕获率  $\nu_d$  可能在  $0.09 \sim 0.9\text{cm}^2/\text{s}$  间。

本文结论可以从微观角度支持氢脆机理的位错理论。

答辩日期 1981 年 11 月 26 日

## 超离子导体 $\text{Rb}_4\text{Cu}_{16}\text{I}_7\text{Cl}_{13}$ 中的正电子湮没及 关于正电子寿命谱归一化峰顶计数的研究

固体物理专业研究生 江少林 指导教师 熊家炯

本工作分为两个部分,其一是关于超离子导体  $\text{Rb}_4\text{Cu}_{16}\text{I}_7\text{Cl}_{13}$  中的正电子湮没,其二是关于正电子寿命谱的归一化峰顶计数。

超离子导体  $\text{Rb}_4\text{Cu}_{16}\text{I}_7\text{Cl}_{13}$  是 1979 年以后国际上才出现的一种新的铜离子导体,也是目前室温下离子电导率最高的一种超离子导体材料。研究它的相变特点,对于了解其导电机理和离子运动规律具有重要意义。

我们用 ORTEC583 型快-快符合正电子寿命谱仪和自制的变温装置,在  $-131 \sim +28^\circ\text{C}$  的温度范围内测量了  $\text{Rb}_4\text{Cu}_{16}\text{I}_7\text{Cl}_{13}$  的正电子寿命谱。谱仪系统的时间分辨率为