

志的大力协助表示感谢。

五、应用实例

我们利用该装置测量了 $(Pd_{0.94}Ag_{0.06})_{87-x}Si_{13}Fe_x$ 非晶态薄带的低温磁化率(见图7)。在 $x = 1$ 和 3 时表现了典型的自旋玻璃特性,即磁化率随温度的变化出现极大的尖峰。在 $5 \leq x < 10$ 是典型的混磁特性,即在该成份范围内出现顺磁到铁磁再到自旋玻璃态的转变。在 $x > 10$ 时表现为典型的铁磁性,即顺磁到铁磁的转变。

在设备制作和调试过程中得到孙树伟和沈保根同

参 考 文 献

- [1] F. R. Mckim and W. P. Wolf, *J. Sci. Instrum.*, **34** (1957), 64.
- [2] E. Maxwell, *Rev. Sci. Instrum.*, **36** (1965), 553.
- [3] J. P. Burger and D. S. McLachlan, *Solid state Commun.*, **13** (1973), 1563.
- [4] J. S. Philo and W. M. Fairbank, *Rev. Sci. Instrum.*, **48** (1977), 1529.
- [5] 小林はなふ, 田沼静一, 低温(实验物理学讲座15), 田沼静一编集, 共立出版株式会社, 东京, (1974), 342.
- [6] 应用物理实验技术ハンドブック, 日本应用物理学会编, オーム社, (1971), 362.

等离子体谱线时间-空间特性测量

张 广 秋

(中国科学院等离子体物理研究所)

一、序 言

测量等离子体中工作气体及杂质谱线的时间-空间特性,对研究聚变等离子体中的杂质行为及其控制是非常重要的^[1,2]。近年来,不少装置在这方面作了许多工作并取得了一些重要结果^[1,3-6]。然而在大部分装置中,每一条谱线的空间分布剖面是通过数十次放电获得的。每次放电只能提供面发光度与弦高关系图(即空间分布剖面)中的一个点。还有少数装置可以在一次放电中得到谱线时间-空间分布剖面,但是空间分辨能力差。一般为2—5cm。在这个范围内不同部位等离子体面发光度可以相差2—10倍。

为了在同一次放电中精确得到等离子体谱线的时间-空间特性,我们研制了一个等离子体谱线快速扫描系统。将本系统用于直管脉冲放电装置,得到了满意的结果;用于HT-6 TOKAMAK装置,也得到了初步的结果。

二、仪器描述

1. 物理要求

假设等离子体中发光离子约束时间为 τ_z , 扫描系统每扫过等离子体柱面一次的时间为 τ_s , 光电倍增管响应时间为 τ_p , 扫描系统在扫描速度方面应满足

$$\tau_p \ll \tau_s < \tau_z, \quad (1)$$

对一般中小型 TOKAMAK 装置的等离子体而言, τ_z 约为几个毫秒^[7], 通常 $\tau_p < 100\text{ns}$ 。这样在设计时只需考虑 $\tau_s < \tau_z$ 就可以了。本扫描系统的目的是用于测量 TOKAMAK 等离子体中的光谱现象, 因此取 $\tau_s < 1.5\text{ms}$ 就可以了。

扫描系统的空间分辨能力取决于单色仪入射狭缝宽度和信号的时间积分效应。在满足(1)式的条件下, 后者的影响可以忽略不计。假设扫描系统中单色仪入射狭缝宽度为 H , 所对应等离子体柱弦长为 η , 则光电接收系统中收到的信号反应了长度为 η 的一段弦上面发光度

的特性。为了保证测量精度，就要求 η 足够地小，以致在 η 范围内各点上等离子体面发光度接近同一值。根据一些装置上测得的结果^[1]，取 $\eta < 5\text{mm}$ 即可满足要求。

鉴于上述讨论，本扫描系统设计时取 $\tau_s < 1.5\text{ms}$, $\eta < 5\text{mm}$ 。

2. 光学系统

原理如图 1 所示。来自等离子体柱的光线经过转镜 RM, 反射镜 M_1, M_2 , 透镜 L, 使等离子体柱 P 成象于单色仪入射狭缝处。转镜 RM 沿 x 方向自上而下地扫过等离子体柱。假设等离子体柱上下边界为 x_1 和 x_2 , 则被扫过的等离子体柱长度为 Δl 。调节光栏使得 $\Delta l \ll \overline{x_1 x_2}$ 。适当安排 RM, M_1, M_2 的布局, 使得 $\overline{x_1 x_2}$ 在单色仪入射狭缝处的象 $\overline{x'_1 x'_2}$ 与狭缝相垂直。这样每当 RM 扫过等离子体柱一次, $\overline{x_1 x_2}$ 的象 $\overline{x'_1 x'_2}$ 的不同部位便依次通过入射狭缝一次, 光电接收系统便依次接收到等离子体柱不同弦高上的信号, 从而得到某个时刻面发光度的空间分布图。当 RM 快速转动时, 便可依次得到不同时刻的多个空间分布图。将空间座标与时间座标联系起来, 便可以得到同一次放电中被测谱线的面发光度的时间-空间分布图。

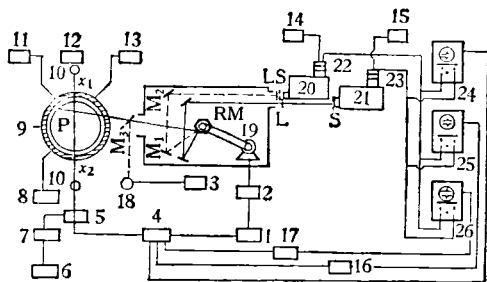


图 1 光学原理及实验系统

1. 时序控制器; 2. 电机电源; 3. 稳流电源; 4. 延时器 I; 5. 引燃管; 6. 充电机; 7. 电容器组; 8. 真空泵; 9. 真空室; 10. 定位光源; 11. 充气系统; 12. 定位光源电源; 13. 真空计; 14, 15. 高压电源; 16. 延时器 II; 17. 延时器 III; 18. 标准光源; 19. 电动机; 20, 21. 单色仪; 22, 23. 光电倍增管; 24, 25, 26. 示波器; S 为光栏; L 为透镜; RM 为高速转镜; M_1, M_2, M_3 为反射镜

假设等离子体柱是光薄的, 辐射呈圆柱对称, 各向同性。如果测得不同弦高上等离子体面发光度为 I_k , 通过阿贝尔变换^[6], 可以求得该

物理

谱线体发射系数的时间-空间分布图。

$$\varepsilon_j = r_0^{-1} \sum_k a_{jk} I_k, \quad (2)$$

式中 ε_j 是体发射系数, r_0 是等离子体柱半径, a_{jk} 是变换系数, 可以从文献[8]中查到。

在(1)式所限定的范围内, 等离子体柱可以认为是一个稳定光源。所以, 面发光度空间分布剖面图中的任何一点都可以认为它仅仅反应了该时刻单色仪入射狭缝所对应的等离子体柱弦长上的发光特性。因此, 我们可以用单色仪入射狭缝所对应的等离子体柱弦长 η 来表征测量系统的空间分辨能力:

$$\eta = \frac{1}{\phi} H Q (l_3 + l_4 + l_5 + l_6), \quad (3)$$

式中 l_3 是等离子体柱中心到转镜 RM 的距离, l_4 是 RM 到反射镜 M_1 的距离, l_5 是 M_1 到反射镜 M_2 的距离, l_6 是 M_2 到单色仪入射狭缝的距离, H, Q 分别是单色仪的入射狭缝宽度和相对孔径; ϕ 是透镜 L 的直径。

系统的时间分辨能力用扫描周期 T 表示:

$$T = \frac{60}{mnK_1}, \quad (4)$$

式中 m 是转镜面数, n 是电机每分钟转数, K_1 是电机和转镜的变速比。

空间分辨能力确定后, 测量系统中透镜 L 的焦距 f 和直径 ϕ 可以由下述关系式确定:

$$f = \frac{l_3 + l_4 + l_5 + l_6}{\frac{Q}{\phi} (l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + 1}, \quad (5)$$

ϕ 和 Q 确定以后, 透镜 L 与入射狭缝之间的距离 l_2 为 $l_2 = \frac{\phi}{Q}$ 。

本扫描系统中, RM 是一个 12 面反射镜。RM, M_1, M_2, M_3 均为 K₉ 玻璃镀膜。扫描系统配备两台单色仪, 可以同时测量两条谱线的时间-空间分布。测量波长范围为 2000—7000 Å。时间、空间分辨能力都达到了设计指标。

三、测量结果

直管脉冲实验装置如图 1 所示。实验时,

控制和记录由时序控制器控制。放电管直径为 90mm, 长为 550mm。工作气体为 He, H₂ 或这两种气体的混合气体, 工作压强 10⁻⁴—10⁻³ Torr。用标准钨带灯作现场绝对校准。实验中测得的典型示波图如图 2 和图 3 所示。

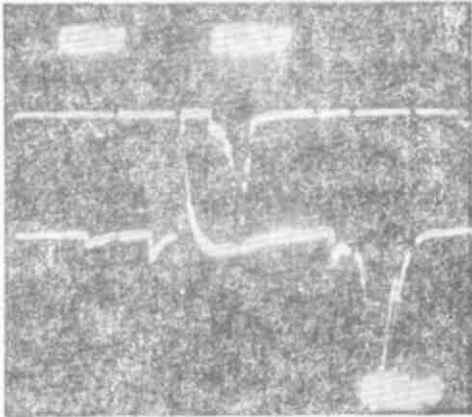


图 2 He 放电中第 1ms 时面发光度空间分布图

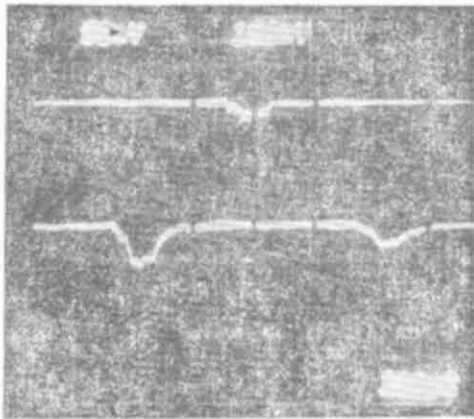


图 3 He 放电中第 50ms 时面发光度空间分布图

图中上线是 HeII(4685.75 Å), 下线是 HeI(5015 Å) 示波器灵敏度如图中所示。上右角为上线灵敏度, 上左角为下线灵敏度, 右下角为时间灵敏度。图 4 是经过绝对校准和阿贝尔变换后得到的 He 放电中 HeI(5015 Å) 体发射系数的时间-空间分布图。图 4 表明, 放电从真空室中心开始, 然后扩大到真空室整个截面, 并于第 10ms 后发展成为壳层分布。放电末期等离子体熄灭前, 没有向心收缩, 而是整个截面上体发射系数都减小, 直至熄灭。

将此测量系统用于 HT-6 TOKAMAK 装

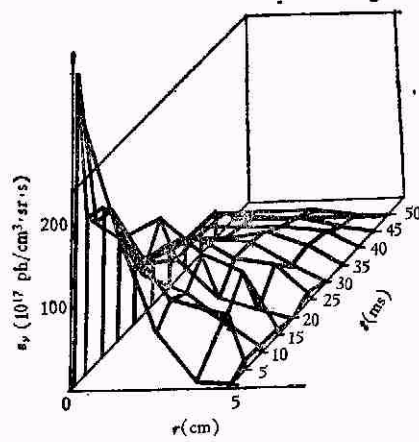


图 4 He 放电中 HeI(5015 Å) 体发射系数的时间-空间分布图

置, 测得了放电中 H_α 线的时间-空间分布。HT-6 是个有空芯变压器的小型 TOKAMAK 装置, 其大半径 R = 45cm, 小半径 a = 10cm。早期放电时等离子体电流 I_p = 3—4kA, 工作压强 5 × 10⁻⁵Torr, 测到的结果见图 5。

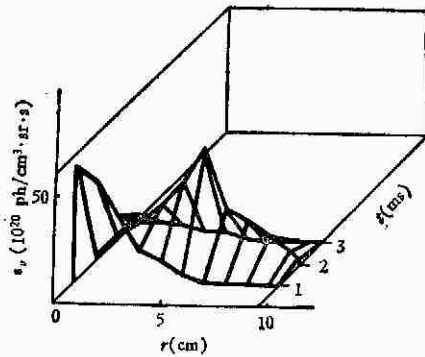


图 5 HT-6 TOKAMAK 中 H_α 体发射系数的时间-空间分布图

从图 5 中可以看出, 放电从中心开始, 并首先将中心部分加热, 到第 2ms 时, 等离子体柱扩展开来, 等离子体柱的中间部分由于被加热而使电子温度升高, 大部分氢原子被电离了, 没有电离的氢原子分布在等离子体柱外层, 这种分布与已知的 TOKAMAK 放电是一致的。

本测量系统测量误差主要包括系统误差和读数误差, 总误差 < 10%。

(下转第 770 页)

是我工作的主要推动力,它不同于 Hevesy 开创的放射性同位素稀释技术(《放射性指示剂》一书对这项技术推崇备至),但是两者又有许多共同之处。

Arono A. Penzias

1939年,我被迫逃离纳粹德国,这对我的一生事业产生了决定性的影响。在德国,我本来可以靠着家产在我父亲的企业里过上舒适安宁的生活。但是,家产被抢劫一空,我们只好逃到美国,开始了新的生活。

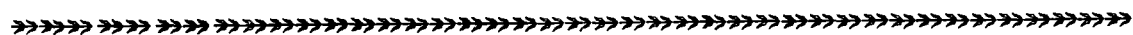
我本应该去上大学学习科学,而且是去学习化学,化学是当时我们了解较多的唯一学科。这里的“大学”指的是地方资助的纽约市立大学。那时这所大学成立刚过一百年,自成立以来,它就不断地把纽约贫苦移民的子弟输送到美国的中产阶级中去。大学一年级时,我发现了物理学,于是就将专业由化学工程改为物理。毕业以后我结了婚,并在美国通讯兵部队服役两年。1956年秋,我申请去哥伦比亚大学。我的服役经历帮助我得到了哥伦比亚辐射实验室助教奖学金,之后我就在 I. I. Rabi, P. Kusch 和 C. H. Townes 的指导下主要研究微波物理。经过一段艰苦而又成功的学习和资格考试

以后,我和 Townes 开始了射电天文的研究。

1961年,我做完了论文就到了霍尔姆德尔的贝尔实验室,想寻找一个临时性的工作。贝尔实验室具有独特的仪器设备,是完成我做论文时就开始的一些观测的理想之地。当时的无线电研究实验室主任 R. Kompfer 对我说:“你为什么不找个固定工作,反正你随时都可以离开。”我听从了他的建议,从此就留在贝尔实验室。这里的工作环境应该说既有利于基础物理研究,又有利于应用物理研究。我就在这种环境中从事基础和应用物理的研究。

我个人的经历与其他无数难民大体上一样,只是在细节上有所不同。三代“遗传不良”的物理学家——从身居学术高位的著名科学家到惊恐万状的学龄前儿童——一起被赶出了30年代的欧洲,到美国落了户。过去40多年来,他们在美国的物理学发展中所起的作用是近半个世纪以来美国科学取得的历史性成就中的一个不可分割的部分。

(韩建国、齐志英译自“Physics today”, 1981年11月号, 247—261页, 原题: Looking back on books and other guides)



(上接第731页)

可进入 Bragg 衍射,但应该指出的是,最佳 Bragg 衍射应该使声光互作用长度 L 为 L_0 的整数倍,这样可保证不出现高级衍射。

参 考 文 献

[1] W. R. Klein, B. D. Cook, *IEEE Trans. Sonics*

and *Ultrasonics*, SU-14 (1967), 123.

[2] M. G. Moharam, L. Young, *Appl. Opt.*, 17 (1978), 1757.

[3] N. S. N. Nath, *Proc. Indian Acad. Sci.*, 8 (1938), 499.

[4] C. V. Raman, N. S. N. Nath, *Proc. Indian Acad. Sci. A*, 2 (1935), 406.

[5] 母国光, 战元令著, 光学, 人民教育出版社, (1978), 267.

[6] 于连生, 激光, 6-6 (1979), 33.

(上接第738页)

参 考 文 献

[1] TFR. Group, *Phys. Rev. Lett.*, 36 (1976), 1306.

[2] P. Grove et al., Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1976. Sixth Conference Proceedings, Berchtesgaden, 6-13 October (1976). By International Atomic Energy Agency, Vienna, (1977), 21.

[3] S. A. Chohen et al., *Phys. Rev. Lett.*, 35 (1975),

1507.

[4] M. Nagami et al., *Nucl. Fus.*, 18 (1978), 1217.

[5] M. Shiho et al., *Nucl. Fus.*, 18 (1978), 1705.

[6] M. G. Kaganskij et al., Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research (1976). Sixth Conference Proceedings Berchtesgaden, 6-13 October (1976). By International Atomic Energy Agency, Vienna, (1977), 387

[7] T. Tazima, *Nucl. Fus.*, 17 (1977), 173.

[8] Kjell Bockasten, *J. Opt. Soc. Am.*, 51 (1961), 943.