

# 在 CT-6B 托卡马克上用氰化氢激光测量电子密度

李文莱 徐友刚

(中国科学院物理研究所)

郭其良 童兴德

(中国科学院合肥等离子体研究所)

用远红外激光测量等离子体电子密度的原理,曾有过报道。当一束远红外激光通过等离子体时,因为等离子体的折射率  $n < 1$ ,即在等离子体中电磁波传播的相速度大于光速  $c$ ,所以远红外激光通过等离子体之后,其相位比通过同样的真空路程有一个移动。设这个相位移动为  $\Delta\Phi$ ,则有

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi e^2}{c\omega m_e} \int_L n_e(x) dx, \quad (1)$$

式中  $c$  为光速,  $e$  为电子电荷,  $m_e$  为电子质量,  $\omega$  为远红外激光频率,  $L$  为光束通过等离子体的距离,  $n_e(x)$  为  $x$  处的电子密度。(1)式要求  $\omega \gg \omega_p$ , 其中  $\omega_p = \left(\frac{4\pi e^2 n_e}{m_e}\right)^{1/2}$ , 称为电子的本征频率。

对于氰化氢(HCN)激光,波长  $\lambda = 337\mu\text{m}$ , 其相位移动为  $2\pi$  弧度时对应的等离子体电子线密度为  $6.62 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 。

我们在 CT-6B 托卡马克上用 HCN 激光来测量等离子体的电子线密度。由于只做了单道测量,所以只能测  $\int_L n_e(x) dx$  的值,即只能测量等离子体的平均电子密度。

HCN 激光器长 2.5m, 内径 5cm, 工作波长  $337\mu\text{m}$ , 输出功率约为 20mW。采用铜网作输出耦合窗口,输出的主模是  $\text{EH}_{11}$  模,其电场矢量是线偏振的。因考虑到光的电场偏振方向要平行于托卡马克的环磁场,所以激光器的输出光束的偏振方向被固定在水平方向上。实验中使用 Mach-Zehnder 型干涉仪(见图 1)。

接收到的信号处理过程见图 2。

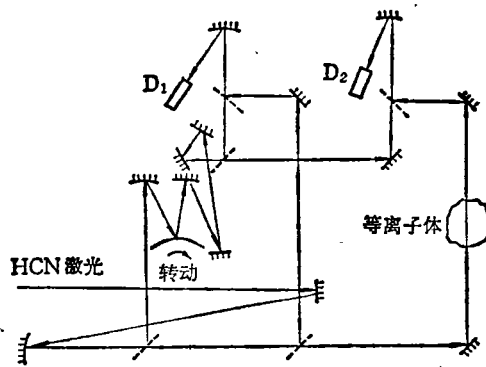


图 1 干涉仪光路图

$D_1, D_2$  是硫酸三甘肟(TGS)热释电接收器,  $D_1$  为参考路信号接收器,  $D_2$  为探测路信号接收器

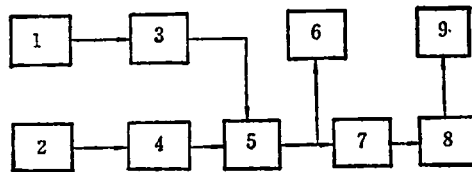


图 2 干涉信号接收部分方框图

1,2.接收器及前置放大; 3.窄带通滤波器; 4.宽带通滤波器; 5.相位计; 6.记忆示波器; 7.A/D转换器; 8.微处理机; 9.绘图仪

$D_1$  接收到的信号通过前置放大器 1, 窄带通滤波器 3, 然后进入相位计 5。

$D_2$  接收到的信号通过前置放大器 2, 宽带通滤波器 4, 然后也进入相位计 5。相位计 5 给出这两个信号的相位差, 这个相位差信号一方面由记忆示波器显示, 一方面进入 A/D 转换器, 接微处理机和绘图仪, 从而得到等离子体电子线密度的波形图。

对于参考路信号, 其频率是不变的, 所以只

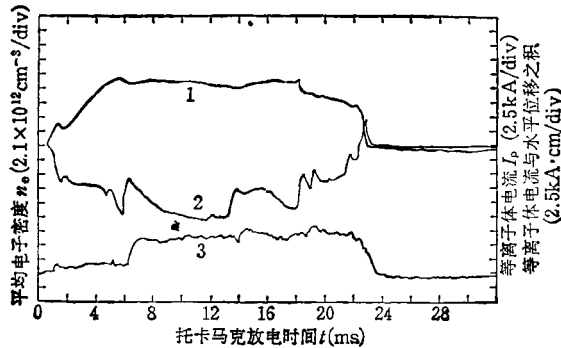


图3 CT-6B 中等离子体电子线密度波形

1. 等离子体电流波形; 2. 水平位移与等离子体电流之积的波形; 3. 远红外激光测量的等离子体电子线密度波形

通过窄带通滤波器就可以了。

CT-6B 托卡马克的典型参数为: 大半径 45cm, 小半径 10cm, 环向磁场 13kG。

我们用上述的远红外干涉系统对 CT-6B 托卡马克的等离子体的电子密度进行了测量, 其结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出, 当等离子体的水平位置由外向中心移动时, 等离子体的电子线密度增加。目前的测量可以精确到  $1/50$  个干涉条纹, 相应于 CT-6B 的等离子体半径, 可以测出的最小电子平均密度为  $6.6 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ 。

总之, 远红外激光测量等离子体的电子密度比较直观, 得出的结果与其他参数的对应关系符合很好, 这说明该探测系统是可靠的。

这台干涉系统可以在八小时之内稳定运行, 而不需进行调整。

此工作得到中国科学院物理研究所 102 组的大力支持, 同时得到谢安云、乔甫皇、马明义的有益帮助, 特别是得到法国 D. Veron 博士的指导, 在此表示感谢。

(上接第 713 页)

- [ 3 ] A. A. Laogun et al., *Phys. Med. Biol.*, 28-4 (1983), 341.
- [ 4 ] N. R. V. Nighlingale et al., *Phys. Med. Biol.*, 28-8(1983), 897.
- [ 5 ] C. Gabrid et al., *Phys. Med. Biol.*, 28-1 (1983), 43.
- [ 6 ] R. D. Stog et al., *Phys. Med. Biol.* 27-4 (1982), 501.
- [ 7 ] A. Kraszewski, Third Int. conf. on Dielectric Materials, Measurements and Applications, The Institute of Electrical Engineers, London and New York, (1979), 174.
- [ 8 ] B. Singh et al., *Med. Biol. Eng. Comput.*, 17-1 (1979), 45.

(上接第 718 页)

- waii.
- [22] H. S. Strubbe, *Comp. Phys. Comm.*, 18(1979), 1.
- [23] R. D. Jenke, *ACM-SIGSAM Bulletin*, 8-2 (1974), 16.
- [24] A. C. Hearn (Ed.), *REDUCE Newsletters*, No. 1-6.
- [25] 陈东岳, 符号处理语言 FCY 文本, 电子计算机参考资料, (1978), 2.
- [26] 陆启镗、陈东岳, 计算机学报, No. 3 (1980), 193-201.
- [27] Chen Dongyue (陈东岳), *ACM-SIGSAM Bulletin*, 17-2, (1983), 26-27.
- [28] D. R. Stoutemyer, *Amer. J. Phys.*, 49(1981), 85.