

# 薄膜型纳秒壁流探测器的研制及应用

王贵诚<sup>1</sup>, 冷用斌<sup>1</sup>, 孙葆根<sup>1</sup>, 方志高<sup>1</sup>, 赵 枫<sup>1</sup>, 陶小平<sup>1</sup>, 周耀华<sup>1</sup>, 何晓业<sup>1</sup>,  
刘广俊<sup>2</sup>, 李广映<sup>2</sup>, 方 蕾<sup>2</sup>

(1. 中国科学技术大学 国家同步辐射实验室, 安徽 合肥 230029;  
2. 中国科学院 安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘要:**国家同步辐射实验室和安徽光学精密机械研究所共同研制的薄膜型纳秒壁流探测器以其占有空间小、电阻膜特性连续、均匀等优点在 HLS(Hefei Light Source)中得到实际应用,并获得了满意的实验结果。

**关键词:**薄膜型电阻;壁流探测器;单束团束流

**中图分类号:** TL506      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2000)03-0223-05

应合肥同步辐射光源用户的要求,国家同步辐射实验室研制了单束团注入系统。为此,直线加速器中束流流强感应环(Toroid)应做重大改进,使其可测束团信号范围由原来  $\mu\text{s}$  扩展成  $\mu\text{s}$  和  $\text{ns}$  兼容。实际上,本工作的做法是在原束流流强测量系统上增加  $\text{ns}$  壁流探测功能,以束流流强感应环和纳秒壁流探测器分别完成对  $\mu\text{s}$  及  $\text{ns}$  的探测任务。本文仅对纳秒壁流流强探测器的原理、结构、工艺及在线安装等进行研究。

## 1 壁流探测器工作原理及结构<sup>[1]</sup>

非直接作用型粒子探测均利用相应粒子团感生的所谓“镜像壁电流”的作用,其基本原理示于图 1。

当满足:1) 粒子流  $> 10$  ( $= \frac{mc^2}{m_0 c^2}$ ),

2) 圆形金属管壁为良导体或趋肤深度小于壁厚时,

由连续方程  $\frac{\partial}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{J} = 0$  (无其他粒子源) 得到

$$I_w(t) = -I_b(t)$$

由此可知,镜像壁电流  $I_w(t)$  及其径向分布可以表征为束流  $I_b(t)$  本身的对应参数,即直接测量跨接于被绝缘的两段真空室管道之间电阻上的壁流信号电压便可测得束流流强。为减

收稿日期:1998-10-13;修回日期:1999-01-11

作者简介:王贵诚(1938—),男,辽宁新民人,教授,博士生导师,电子学专业

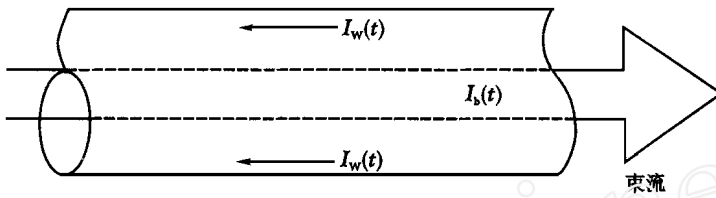


图1 粒子流及其感生镜像壁电流

Fig. 1 The particle beam and its induced image current

小由于束流在真空室内横向位置不同引起所拾取的壁流信号的差异,用 20 支 1 k 的高频无感釉膜电阻并联,并沿环向均匀地分布在绝缘陶瓷管两端的真空室上构成 50 壁流探测电阻<sup>[2]</sup>(图 2)。壁流探测器等效电路示于图 3。

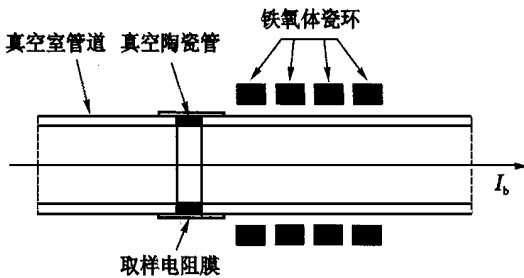


图2 壁流探测器结构

Fig. 2 Structure principle of the wall current monitor

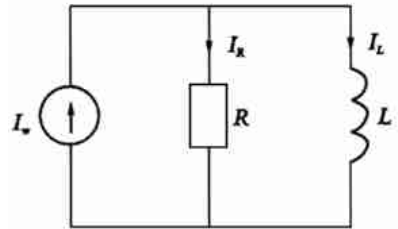


图3 壁流探测器等效电路

Fig. 3 Equivalent circuit of the wall current monitor

国家同步辐射实验室同步光源设施所有真空室管道都通过金属支撑接“地”,为了增加壁流信号获取端与“地”之间的阻抗,在真空室管道外套上铁氧体磁环形成大的电感,以使其与“地”高频隔离。

由图 3 简化等效电路可得:

$$\begin{cases} I_R R = L \frac{dI_L}{dt} \\ I_w = I_R + I_L \quad (t = 0 \text{ 时}, I_L = 0) \end{cases}$$

其中:  $I_w$  为壁流,  $R$  为取样电阻,  $L$  为取样点对地电感。则有:  $I_R = I_w \exp\left[-\frac{t}{\tau}\right]$ 。可见,取样电阻上的电流信号呈指数衰减形式,时间常数  $\tau = \frac{L}{R}$ 。

考虑用薄膜型电阻做 ns 束流流强测试条件下,取  $\tau = 10 \text{ ns}$ ,  $R = 5 \text{ k}\Omega$ , 则  $L = 0.05 \mu\text{H}$ 。为了获得如此微小的电感量,无需在真空管道外套上铁氧体磁环。事实上,一段真空管道自身的电感便已满足要求。也正是由这一特定情况才使得薄膜型电阻纳秒壁流探测器能够简便地用于 HLS 中,直接安装在原来束流流强感应环内部的狭小空隙内(图 4)。

真空管外壁与 Toroid 线圈内径间只有 5 mm 的缝隙,除薄膜电阻外根本无法安装进任何

其它元器件。

## 2 薄膜型电阻的研制

中国科学院安徽光学精密机械研究所承担了薄膜型电阻的研制任务。经近 1 年的试制和改进,最后定型为示于图 5 的横向结构,其纵向长度为 20 cm。

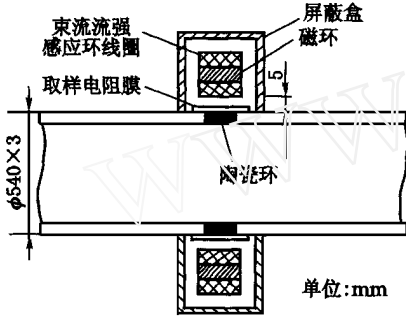


图 4 薄膜型电阻壁流探测器安装图

Fig. 4 Structure principle of film-mode wall current monitor

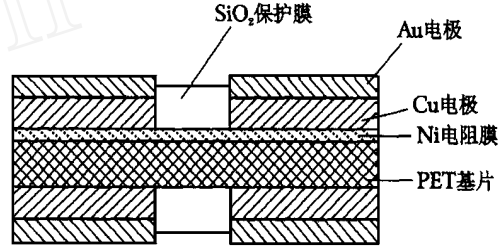


图 5 薄膜型电阻断面图

Fig. 5 A cross section of film mode resistor

其中,薄膜载体为 PET 材料片,厚约 200 nm。电阻膜材料主要为高纯度 Ni,厚度控制在 40 ~ 60 nm 范围,成型后有效电阻值可在 5 ~ 15 Ω 间选择。为防止电阻膜的自然氧化、磨损等引起电阻值自然变大,在表面上蒸敷了 1 层 SiO<sub>2</sub> 保护膜,厚度约 100 nm。载体薄膜的正、反面各有两条 Cu 镀成的引出电极,厚度约 800 ~ 1 000 nm。为保证其良好的导电性,于表面再镀 1 层厚度为 500 nm 的 Au 膜。鉴于此薄膜电阻用于强粒子辐照、高湿度等苛刻条件下,对 PET 基片做了光学元件镀膜清洗后,进一步采取了离子清洗处理。

研制初期,薄膜电阻在大气中放置数 10 d 后电阻值呈逐渐增大趋势,其数值变化可达几倍。为此,在电阻层材料的选择上更加严格,采用高纯度 Ni 合金。在光学方法控制下多次改进后,最后达到在两个月内(经过整整 1 个潮湿的夏季)其阻值变化率在 5 % 范围内,满足了系统的测量精度要求。

## 3 薄膜型纳秒壁流探测器的应用

HLS 直线加速器及输运线上共有 7 个束流流强感应环,除了位于直线加速器末端的第 6 个(Tor-6)已用 20 个 1 kΩ 高频无感釉膜电阻组成了微秒/纳秒壁流流强探测器外,其余 6 个中各植入 1 支此种薄膜型纳秒壁流探测器。而原位上的微秒电流感应环(Tor1 ~ Tor5, Tor7)仍保持原状态。

壁流探测器薄膜电阻片的两端引出线(即输出信号的两端)直接压贴在原束流流强感应环中绝缘陶瓷环的两端加速器真空室管道壁上。从而,将真空管壁上所拾取的各种噪声也与信号一起引入后续电路中。如不经抗噪声处理,输出信号/噪声比很差,以致有时无法观测。经频谱分析,结果显示出主要噪声功率谱集中在 1 MHz 左右。故而,本系统中各路信号首先经 1

个高通滤波器,以滤除低频噪声(频率低于 10 MHz 的噪声),再馈入叠加器(即 4 1 功分器反向使用),每四路信号可共用 1 台前置低噪声、宽带放大器。其输出信号直接送直线加速器控制室,由 1 台双通道宽带示波器 Tek-TDS680B (1 GHz 带宽)观测(图 6)。

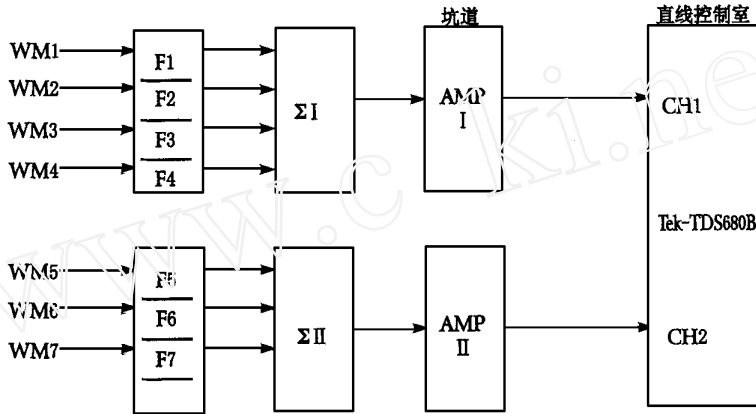


图 6 壁流信号的传输和观测

Fig. 6 Transfer and monitor of wall current signal

图中,同一个叠加器的四路输入壁流脉冲信号间依次有相同的时间延迟。这是通过控制各路壁流探测器至对应的高通滤波器前的传输电缆长度达到的。例如,取 WM1 输出至 F1 输入间电缆长度为 5 m;WM2 输出至 F2 输入间电缆长为 10 m;WM3-F3 为 15 m;WM4-F4 为 20 m。结果,从叠加器输出的信号为由 WM1-WM2-WM3-WM4 输出信号依次延迟后所组成的脉冲串。如此处理后,在 Tek-TDS680B 屏上 CH1 的扫描线上可依次显示出四路壁流信号。当然,通过改变扫描延迟并改变时基可任选脉冲串中任 1 个脉冲做展宽显示。做相似处理,可在 CH2 扫描线上展现由 WM5-WM6-WM7 输出组成的脉冲串或任选其一展宽研究。如此配置结果,可节省 5 台宽带放大器,同时也避免了用 1 台示波器显示七路信号而必做的输入端电缆的多次插拔。

经多次在线观测,此薄膜型壁流探测器及其信号传输、处理、显示系统已取得满意实验结果,并已成为 HLS 在线设备之一,解决了单束团束流强度测量的难题。

#### 参考文献:

- [1] Borer J, Jung R. Diagnostics in European Organization for Nuclear Research, LEP Division: Cern/ Lep-BI/ 8414[R]. Geneva: LEP-Division, 1984.
- [2] 方志高,李辉,冷用斌. 国家同步辐射实验室壁流探测器的研制[J]. 原子能科学技术, 1998, 32(1): 79~83.

## Development of Film-mode Wall Current Monitor and Its Application

WANG Gui-cheng<sup>1</sup>, LENG Yong-bin<sup>1</sup>, SUN Bao-gen<sup>1</sup>, FANG Zhi-gao<sup>1</sup>,  
ZHAO Feng<sup>1</sup>, TAO Xiao-ping<sup>1</sup>, ZHOU Yao-hua<sup>1</sup>, HE Xiao-ye<sup>1</sup>,  
LIU Guang-jun<sup>2</sup>, LI Guang-ying<sup>2</sup>, FANG Lei<sup>2</sup>

(1. National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China,  
Hefei 230029, China;

2. Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,  
Hefei 230031, China)

**Abstract :** A film-mode wall current monitor is developed in National Synchrotron Radiation Laboratory (NSRL) in cooperation with Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences. The film-mode resistors with good continuity and uniformity are developed. The monitors are used on line with success in hefei light source (HLS).

**Key words** film-mode resistor; wall current monitor; single-beam current

### 放射诊断物理学

#### Physics for Diagnostic Radiology

编者: P. P. Dendy 和 B. Heaton。1999 年美国物理学会出版。

本书是医学科学丛书之一。该丛书介绍物理学、工程学与数学在医学和生物学中的应用,其阅读对象为医学物理学、生物医学工程、放射学、放射治疗以及临床研究等领域的研究生和科研人员。

本书主要内容如下:先是重温辐射物理学和放射性的基本原理,随后讨论 X 射线的产生,其中包括 X 射线管功率与质量控制方法;接着又分别研究了辐射同物质的相互作用及图像接收器,并讨论了施加于患者的辐射测量和辐射剂量以及定量化问题;还介绍了核医学物理学与超声成像、磁共振成像的进展,并首次引入了数字化信息的概念。

摘自中国原子能科学研究院《科技信息》