

超薄镀膜漏率的测量

赵振武

摘要: 本实验采用质谱计比较法, 并通过前置检漏提高检漏灵敏度的手段, 在专门设计的实验装置上, 对用于北京正负电子对撞机同步辐射X—射线光刻光束线上超薄镀膜 ($d = 18\mu\text{m}$) 进行了漏率测量。计算表明漏率为 $10^{-6}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 量级, 与国外进口镀膜试验报告上所给出的漏率数据一致。

一、前言

用于北京正负电子对撞机同步辐射X—射线光刻光束线中的超薄镀膜, 安装在光束线的末端和X—射线光刻机氦气室之间, 它主要用来作为束线光学系统中的高通滤波器, 截去900eV以下的低能辐射, 同时也作为束线高真空管道 $1.3 \times 10^{-4}\text{Pa}$ (10^{-6}Torr) 与X—射线光刻机氦气室 $3.3 \times 10^4\text{Pa}$ (1/3bar), 之间压差的隔离元件。从真空设计的角度, 该元件应具有良好的压差隔离性能。实际上束线所需要的进口超薄镀膜只是光学密封, 但在两端具有一定压差的条件下, 该薄膜对氦气具有一定的渗透力。因此, 在束线真空设计中必须准确的测出它的漏率, 为束线高真空段泵抽速的设计提供可靠数据, 以保证同步辐射光束始终在超高真空条件下运行, 而不致于造成辐射衰减。在测量实验中, 为防止镀膜破裂后的碎片随冲击波在管道内四处喷射, 我们在镀膜的前面加上一个不密封的保护罩, 然后进行正式测量, 采用质谱计比较法通过前置检漏提高检漏灵敏度的手段, 安全而可靠地测量了漏率。

二、质谱计比较法原理及实验装置

质谱计比较法的基本原理是采用一只已知漏率的标准漏孔与实际漏孔的漏率进行比较, 其方法较之其它测量漏率的方法更为方便、易行而可靠。

在氦质谱检漏仪内装有附加的标准氦漏源, (一般是气瓶的渗透型薄膜漏孔) 将漏源标称漏率为 Q_0 的氦气通入质谱室时, 输出仪表的读数由 N_0 增大到 N_1 。另外, 在工作条件相同时, 在被校漏孔的入口端充入氦压强 p_H , 而出口端通过质谱室。如果输出仪表的读数由 N_0 增大到 N_2 , 则此时被校漏孔的标准漏率为

$$Q = \frac{N_2 - N_0}{N_1 - N_0} \cdot \frac{p}{p_H} \cdot Q_0$$

Q : 被校漏孔的漏率。

N_0 : 仪表初始的读数。

N_1 : 输出仪表增大的读数。

N_2 : 被校漏孔的输出仪表增大数。

p : 大气压强。

p_{H_2} : 氢分压强。

Q_0 : 标准漏孔的漏率。

测量实验装置如图 1 所示。

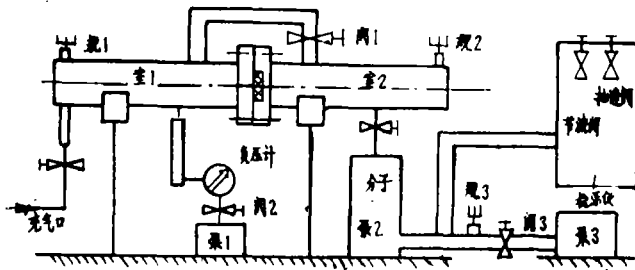


图 1

图中规 1 规 2 为热偶规和电离规，其测量范围分别为 $10^{+1} \sim 10^{-1} \text{Pa}$ 和 $10^{-1} \sim 10^{-4} \text{Pa}$ 。阀 1 为 $\phi 35 \text{mm}$ 直角阀，阀 2 为玻璃三通阀，阀 3 为蝶阀，泵 1、泵 2 为直联机械泵，泵 3 为 450L/s 抽速分子泵，由北京科仪厂生产，当加热烘烤泵体后其真空极限可达 10^{-8}Pa 。

三、漏率测量与漏率计算

室 1 为高压强端，室 2 为低压强端，镀膜用胶粘在室 1 与室 2 中间的法兰口上。当阀 1 打开时，首先用泵 1 将室 1 和室 2 抽成预真空，当泵 3 开启后关闭阀 1，此时泵 1 继续抽室 1，用规 1 和规 2 测量室 1 和室 2 的压强。当室 1 和室 2 达到所要求的压强时，由充气口充入 133Pa (1Torr) 的氢气，这时充入的氢气经过镀膜流进室 2 低压强端，并关闭阀 3。先已运转的高抽速分子泵将全部氢气压缩到质谱检漏仪中，通过放大氢分压强的信号后由仪表指示，这样就提高了检漏灵敏度。由质谱仪做为分子泵的前级，避免了氢分压强的分流，使质谱仪的灵敏度大大得到发挥。在测量氢分压强讯号时，用质谱仪自身节流阀控制检漏时所需的仪器压强。国产 ZLS—23 型质谱仪工作压强为 $< 10^{-2} \text{Pa}$ ，最小可检漏量为 $5 \times 10^{-11} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，加液氮同时关闭部分抽速阀可达 $10^{-13} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，其反应时间不大于 3s 。

当所用仪器为 $6 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 的校准漏孔自身校准调整后的氢峰讯号时，其值为 0.12V 。实验时，当室 1 氢分压强加到 133Pa 后，经分子泵压缩放大的氢分压强全部由质谱仪接收。经多次实验综合测得镀膜漏过氢气量在质谱仪上反映讯号为 24V ，通过计算可得漏率为：

$$\begin{aligned} Q &= U_1/U_2 \times Q_0/p \\ &= 24/0.12 \times 6.3 \times 10^{-10} \times 101080 \\ &= 9.6 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Q : 所测镀膜漏率。

U_1 : 通过镀膜后氢气所产生的讯号。

U_2 : 校准漏孔所产生的讯号。

Q_0 : 校准漏孔的漏率。

p : 稳定氢压强与大气压之比 $133/101080$ 。

由测量结果表明：如果束线末端使用 $10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 量级漏率的镀膜，压强可为：

$$\begin{aligned}
p &= Q/S \\
&= 10^{-5} \times 1/450 \\
&= 2 \times 10^{-4} \text{Pa}
\end{aligned}$$

p : 束线末端压强。

Q : $10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 漏率镀膜。

S : 450L/s抽速分子泵。

从上式计算结果看出, 要保证束线末端 $\leq 10^{-4} \text{Pa}$ 压强, 镀窗漏率为 $10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$, 要采用450L/s抽速分子泵才能达到。采用别的类型泵诸如离子泵或油扩散泵等, 能不能达到要求呢? 离子泵虽然属洁净泵一类, 但就其对氦的抽速来讲是远不如分子泵。扩散泵尽管抽速大, 但由于有油, 在光刻束线中是不能使用的。由于分子泵对气体来说在一定抽速内是无选择的, 所以采用分子泵比较合适。

四、束线末端实际压强计算

当抽速一定时, 压强与流量存在正比关系, 即 $Q = p \cdot S$, 当压强扩大为300倍时, 就可得到流量为:

$$\begin{aligned}
Q &= 9.6 \times 10^{-5} \times 300 \\
&= 3 \times 10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}
\end{aligned}$$

如果用抽速为450L/s泵抽运时, 可得光束线端压强为:

$$\begin{aligned}
p &= Q/S \\
&= 3 \times 10^{-2}/450 \\
&= 6.6 \times 10^{-2} \text{Pa}
\end{aligned}$$

p : 束线末端压强,

Q : 300倍时压强产生的流量。

S : 涡轮分子泵抽速450L/s。

如果镀窗流量为 $3 \times 10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$, 采用抽速为450L/s的泵抽运, 光束线末端压强只能达到 $6.6 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 。

在实验测量时, 所使用的450L/s分子泵的入口接一直径为 $\phi 45 \text{mm}$ 、长为 $l = 600 \text{mm}$ 的软管到室2, 这样就减小了抽速。经计算, 实际抽速可为8L/s, 那么室2压强的测量为:

$$\begin{aligned}
p &= Q/S \\
&= 3 \times 10^{-2}/8 \\
&= 4 \text{Pa}
\end{aligned}$$

这是因为在室1为40000Pa压强, 通过流量为 $3 \times 10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 的镀膜, 用8L/s泵抽运室2时, 压强已为4Pa。我们在室1充入40000Pa气体, 用热规探测了室2实际压强, 结果与计算压强相一致。

五、结果讨论

在测量镀膜本身漏率与室2压强时, 除了镀膜本身的漏率产生一定的压强以外, 同时还存在着用胶粘接镀膜接口处的漏率也产生附加压强。因此, 所测实际漏率是总体漏率。如果

粘接处漏率与总漏率相比甚小, 就可以认为所测铍膜的漏率为实际漏率。

参 考 文 献

- [1] R.P.Haelkich et al., Nucl.Inst.and Meth., 222(1984)291
- [2] 真空设计手册 (上、下), 国防工业出版社, 北京(1979年)
- [3] 真空物理与技术及其在电子器件中的应用 (上), 国防工业出版社, 北京(1982年)

Leak Coefficient Measurement for the Ultra-thin Beryllium Film

Zhao Zhenwu

Abstract

This experiment employed mass-spectro-meter comparison method to measure the leak coefficient of ultra-thin beryllium film ($d = 18\mu\text{m}$) of X-ray lithography beam line of Beijing Electron-Positron Colliding Device at a specially designed equipment. To enhance the sensitivity of leak detecting, preset leak detecting method was also introduced. The calculation results show that the leak efficiency is about $10^{-6}\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$. It is consistent with the leak efficiency data of the imported Beryllium film given by the test sheet.