

激光测长干涉仪的某些问题

沈阳仪器仪表研究所激光球面干涉仪组

由于激光干涉计量技术的迅速发展, 很多涉及激光干涉仪的问题, 国内都陆续有过报导, 如按高斯光束设计准直光管^[1,2]; 激光波长小数有理化(三级迭代法)^[3]; 气象条件对激光波长影响的补偿^[4]等等。

本文介绍的一种测长激光干涉仪是用于激光球面干涉仪的测长系统^[5]。本文不准备叙述激光干涉仪的详细设计^[6,7], 而着重说明我们碰到的几个有关问题: 复合分束棱镜的设计, 硅光电二极管的光电转换及放大, 抗振、抗干扰等。

一、概 述

我们采用的复合分束棱镜式激光干涉仪, 光学系统原理见图1。氦-氖稳频激光

管1发出的光束射进激光干涉仪, 经准直光管4扩展为 $\phi 8$ 毫米的平行光束射向复合分束棱镜5, 在分光面处分为两束光。一束透过复合分束棱镜投向固定在被测物上的靶镜——锥棱镜3, 另一束经反射投向第二分光面, 又被分为两束光。这两束光和由靶镜返回的、在第二分光面再次被分光的两束光分别复合发生干涉, 结果出现两组等间距平行直线干涉条纹。条纹经光阑7射向硅光电二极管8。横向调节光阑7的位置, 可使两只硅光电二极管接收的条纹错动 $1/4$ 间隔, 即分别产生两组位相相差 90° 的电信号。靶镜纵向移动 $\lambda/2$, 干涉条纹走过一个周期。硅光电二极管的电信号送入电子计数显示器。

电子计数显示器的原理框图如图2。

两路位相差 90° 的干涉条纹经光电转换

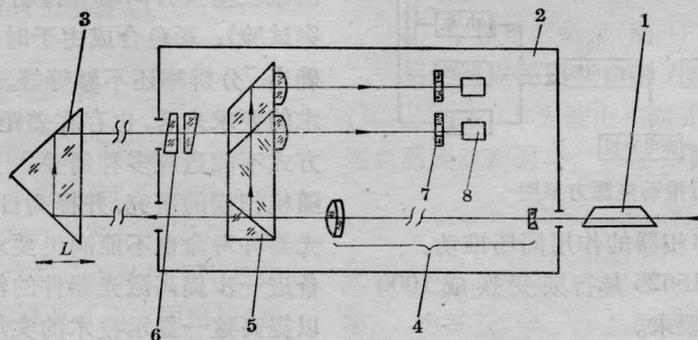


图1 激光干涉仪光学系统原理图

1—He-Ne 稳频激光管; 2—激光干涉仪; 3—锥棱镜; 4—准直光管;
5—复合分束棱镜; 6—双光楔; 7—光阑; 8—硅光电二极管 2CU5



图2 电子计数显示器原理方框图

前置放大线路变为电子信号进入计数显示器。信号经放大整形和方向鉴别线路把原始电信号转换成正反向信号各走一路的标准脉冲信号,经三级迭代线路把 $\lambda/8=0.0791025641$ 微米的无理数变换为代表0.1微米单元的电信号;经8位可逆计数器累计正反向脉冲代数和后以数码管直接显示靶镜的位移量(以毫米为单位),全程程1米。

二、复合分束棱镜的设计

由上述可知,这种激光干涉仪光学系统的核心是复合分束棱镜(由直角棱镜、梯形棱镜、菱形棱镜和两片聚光镜胶合而成)。它可以做得相当紧凑、坚固;分束面不会污染和受到侵蚀,寿命长,便于安装。但是,因为它是一个胶合件,可调整的自由度受到限制,若设计不合理时,往往造成失败。

1. 角度公差

确定棱镜合理的角度公差是为了降低零件的精度要求,以便于加工。图3表示干涉仪的光路简图。由前述知道平行光束口径为 $\phi 8$ 毫米,即条纹干涉场为 $\phi 8$ 毫米。光电二极管转换的信号强度和条纹的宽窄有关。既要尽量增加光信号的强度,又要保持两路信号 90° 位相差稳定,综合这两种因素,经实验我们选取条纹宽度 e 为6毫米(见图3)。根据干涉原理可知,干涉场上的条纹宽度 e 决定于光波波长和相干光束的夹角:

$$e = \frac{\lambda}{W} \quad (1)$$

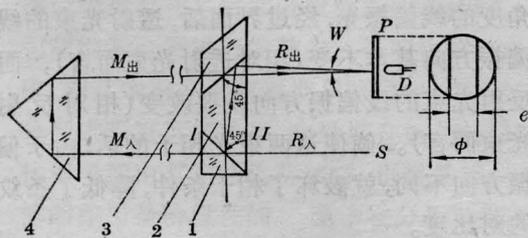


图3 干涉仪光路简图

1—直角棱镜; 2—梯形棱镜; 3—菱形棱镜; 4—锥棱镜

式中 λ ——激光波长

W ——相干光束夹角

若取 $e=6$ 毫米,根据(1)式就可以算出光束夹角 W 为:

$$W = \frac{\lambda}{e} = \frac{0.6}{6 \times 10^3} \text{ 弧度} \approx 1 \times 10^{-4} \text{ 弧度} \approx 20 \text{ 秒}$$

为了保证测长的精度,锥棱镜的角度公差约为1秒。由于这项误差,引起入射到锥角棱镜的光束 M_λ (见图3)和出射光束 M_μ 之间有 $\Delta\alpha_1=5$ 秒的不平行差^[8]。

为了说明原理,假设分束膜镀制在梯形棱镜的两个 45° 面上; 45° 角有相等的同向偏差,即 $45^\circ + \Delta\alpha_2$ 或 $45^\circ - \Delta\alpha_2$;复合棱镜胶合后, I 、 II 面互相平行;而且制造复合棱镜元件的材料也相同。于是,入射到梯形分束面的光束 R_λ 经梯形棱镜反射后,出射的光束 R_μ 之间就有 $|4\Delta\alpha_2|$ 的不平行差。

为了保证干涉条纹宽度不小于6毫米,考虑锥棱镜和梯形棱镜角度差处于最大偏差情况下,则梯形棱镜公差 $|\Delta\alpha_2|$ 应由

$$W = \Delta\alpha_1 + |4\Delta\alpha_2|$$

得到

$$\Delta\alpha_2 = \frac{W - \Delta\alpha_1}{4} = \frac{20 - 5}{4} \text{ 秒} \approx 4 \text{ 秒}$$

事实上,这样的角度公差对加工说来是偏高了。此外,假设分光膜均镀制在梯形棱镜的两个 45° 面上,从工艺看是不合理的。因此,两个面不能同时镀制,一个面镀好后,在镀第二面时保护工作困难。若第二分光面不镀在梯形棱镜上,譬如镀在菱形镜上(见图3),那么,决定第二分光面的角度就是由胶合工艺保证了。若要求胶合 45° 角公差为4秒,对胶合工艺来说就要求太高了,甚难达到。相反地,保证了角度公差的胶合棱镜使用也不方便,因为无法调节条纹的宽窄和方向。

2. 双光楔

实际应用的干涉仪系统如图4所示。在锥棱镜出射光束 M_μ 进入复合棱镜之前,先

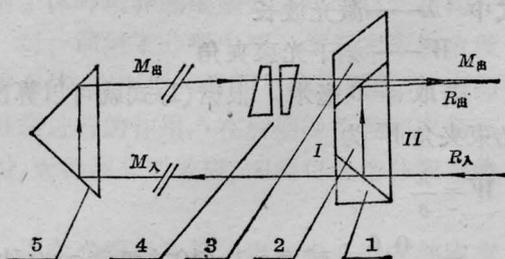


图4 干涉仪光路简图

1—直角棱镜；2—梯形棱镜；3—菱形棱镜；
4—双光楔；5—锥棱镜

经过一对双光楔。通过双光楔的位置和相互转动可以调节测量光束 M_μ 和参考光束 R_μ 的交角达到调节条纹方向(双光楔一起转动)和调节条纹宽度(双光楔相互转动)的目的。结果就可以放宽对胶合棱镜零件的角度要求,达到工艺的合理,使用上的方便。

若直角棱镜 1、梯形棱镜 2 和菱形棱镜 3 的 45° 角给定为 ± 20 秒的公差(每件的公差也要求 ± 20 秒),那么,双光楔角度取多少为合理呢?

复合棱镜胶合时,需要用 JJY 型光学测角仪校准 I、II 面的平行度,校准精度约 1 分。所以测量光束 M_μ 两次穿过复合棱镜到达干涉场时的角度误差大约为 1 分;而参考光束 R_μ 到达干涉场时的角度误差大约为 1.5 分。

双光楔的光线偏折参看图 5,为:

$$\delta = 2(n-1)\alpha \cos \varphi \quad (2)$$

这里 δ ——光偏折角;

α ——光楔楔角;

n ——光楔折射率;

φ ——光楔主截面之间的角度。

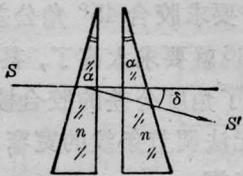


图5 双光楔

由公式(2)得知,取 $n=1.5$,则 $\delta_{最大}=\alpha$ 。

所以,为了能灵敏而充分地调节条纹,单光楔楔角可取 $\alpha=3' \pm 20''$ 。

3. 分光膜

由干涉原理可知,产生干涉条纹的两束光,若光强相等会得到最大的条纹对比度,见图 6。

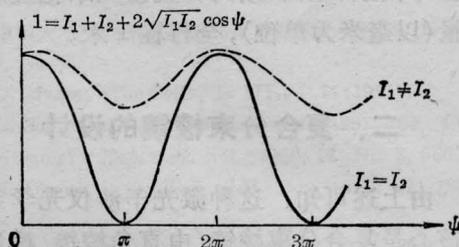


图6 干涉条纹的能量

良好的条纹对比度,对光电转换,乃至整个电子系统来说意义甚大:获得有用的信号最强,直流零漂不敏感,有助于抗干扰等。

然而,对复合分束棱镜干涉仪来说,为了追求良好的条纹对比度,只注意相干光束的光强相等是不全面的,还要注意偏振光的影响。

偏振光的问题,定量分析起来是相当复杂的,并且要预先确切知道整个光学系统中每一个元件的有关数据。本文提出这个问题,是要引起读者在设计激光干涉仪时认真对待偏振这个问题。下面只准备结合我们碰到的实际问题,作些定性说明。

大家根据光线在两种透明介质分界面上发生反射、折射的菲涅耳公式^[9](图 7)可以看出, D_p 、 D_s 是接近相等的,而 R_p 、 R_s 差得较多。这就说明,若有一个和入射面成某一角度的线偏振光,经过界面后,透射光束的线偏振方向基本不变(相对透射光束而言),而反射光束的线偏振方向就要改变(相对反射光束而言)。倘使这两束光相干的话,由于偏振方向不同,就破坏了相干条件,降低了条纹的对比度。

当然,这只是定性地说问题的实质。实际上,对分束板或分束棱镜而言,光束经过

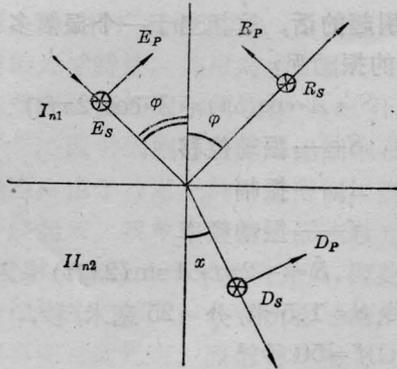


图7 入射波、反射波、折射波三者的电矢量 E 、 R 、 D 的分布示意图

$$R_P = E_P \frac{\text{tg}(\varphi - x)}{\text{tg}(\varphi + x)} \quad (3)$$

$$D_P = E_P \frac{2 \cdot \sin x \cdot \cos \varphi}{\sin(\varphi + x) \cdot \cos(\varphi - x)} \quad (4)$$

$$R_S = -E_S \frac{\sin(\varphi - x)}{\sin(\varphi + x)} \quad (5)$$

$$D_S = E_S \frac{2 \cdot \sin x \cdot \cos \varphi}{\sin(\varphi + x)} \quad (6)$$

式中:

E 、 R 、 D 分别表示入射波、反射波、折射波的电矢量振幅、相角。 P 、 S 标脚表示平行、垂直入射面的分量。

分束膜时,分量 R_s 、 R_p 、 D_s 、 D_p 的关系对于不同分束膜层和不同的入射角,其关系是复杂的,不但幅值变化多样,而且分量之间还有位相变化(引起椭圆偏振化)。一般说来,分束板带来的偏振影响小于分束棱镜,所以采用分束棱镜时偏振的影响就更突出了。以复合棱镜为例,见图8,经分束棱镜和锥棱镜反射后形成的两路相干光 A 和 B ,其成分是不同的, A 路是经分光膜两次反射的光束和两次透射的光束相复合; B 路是经分光膜一次反射、一次透射的两束光相复合。分束膜 I 、 II 曾采用多层介质膜($D/R=1$),结果,对线偏振的入射光束来说, A 、 B 路条纹对比度极差,目视看不到干涉条纹。一般说来,金属分光膜的偏振影响远小于介质膜,所以把复合棱镜的分束膜 I 、 II 改为银膜($D/R=1$)后, A 、 B 路对比度良好,两路也差不多。实验证明,这两路条纹信号满足了光电转换的要求。

对于采用金属分光膜的解释,分光器性能的提高(如,无偏振的分光器^[10])和影响干涉条纹对比度的其他因素等问题这里就不赘述了。

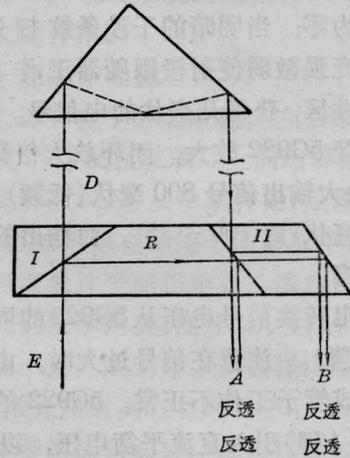


图8 相干光束分解

三、光电转换及放大

仪器选用 2CU5 硅光电二极管作光电转换元件。它的光电响应时间 $\leq 10^{-7}$ 秒,能满足仪器工作频率为 75 千赫的光电转换要求,而且 2CU5 体积小,线路简单,价格便宜。但是 2CU5 的主要缺点是灵敏度低,提高线路的信噪比困难,不利抗干扰。

光电转换及放大线路如图 9 所示。

2CU5 接在射极跟随器的三极管 3DG6 的基极和集电极之间(接线越短越好),为使输出信号大,3DG6 管选 $\beta=150$ 左右的。射极电阻 3.6 千欧是由实验确定的,此时 5G922

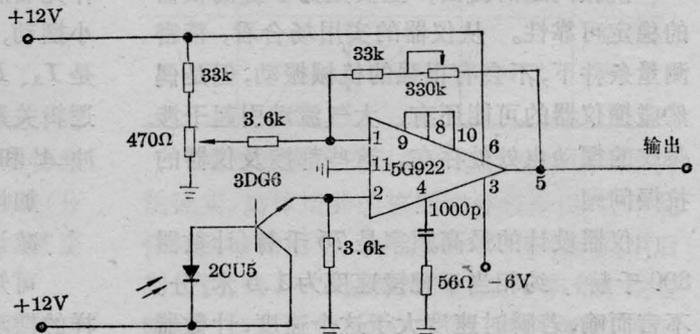


图9 光电转换及放大线路图

输出的信号幅度最大, 波形接近正弦。2CU5 在无光照时, 其暗电流即为 3DG6 的基极电流, 小于 0.1 微安。此时可认为射极跟随器的输出为零; 当明暗的干涉条纹扫过 2CU5 时, 因光强微弱使射极跟随器工作在 3DG6 的非线性区, 获得几毫伏的电信号。光电转换电压经 5G922 放大, 闭环放大倍数为 100 时, 其最大输出信号 800 毫伏(低频), 最小达到 350 毫伏(约 100 千赫), 而输出的正弦波稍有失真。

光电转换信号电压从 5G922 的同极性端输入(2 脚)。注意在信号过大时, 由于共模输入造成管子工作不正常。5G922 的异极性输入端(1 脚)引入直流平衡电压, 以抵消光电信号中的直流分量。使 5G922 的直流工作点在零点附近, 一般调在 ± 0.2 伏左右。5G922 的 8、9、10 三点短接, 其零点的调整借助 1 脚输入的直流平衡电位达到。

5G922 的反馈回路接入 330 千欧可变电阻器, 当由于激光管长期使用老化引起光强变弱, 光电信号变小时, 调整放大倍数, 使放大器有恒定的输出, 其放大倍数的变化范围约为 10~100 倍可调。

这样的光电转换线路满足了仪器频带(0~75 千赫)、信号幅值、失真度和信噪比的要求, 实验证明是可行的。

四、抗 振

抗振问题的提出, 主要是为了提高仪器的稳定可靠性。从仪器的实用场合看, 精密测量条件下, 不会有很强的机械振动, 但是偶然碰撞仪器的可能还有, 大气流动引起干涉条纹的摆动也处处存在。这些都涉及仪器的抗振问题。

仪器设计的最高频率是 75 千赫(计数器 300 千赫), 约相当于靶镜速度为 1.5 米/分。不言而喻, 若瞬时速度大于这个速度, 计数器就不可靠了。若认为振源都是 50 赫电器的

振动引起的话, 这相当于一个振幅多么大的 50 赫的振动呢?

$$S = A \cdot \cos(\omega t) = A \cdot \cos(2\pi f t) \quad (7)$$

式中 S ——振动位移

A ——振幅

f ——振动频率

$$\dot{S} = -2\pi f \cdot A \sin(2\pi f t) \quad (8)$$

$$\text{令 } \dot{S} = 1.5 \text{ 米/分} = 25 \text{ 毫米/秒,}$$

$$f = 50 \text{ 秒}^{-1}$$

$$\text{则 } |A| = \frac{\dot{S}}{2\pi f \sin(2\pi f t)}, \quad (9)$$

$$\text{令 } \sin(2\pi f t) = 1$$

$$\text{则 } |A|_{\text{最大}} = \frac{\dot{S}_{\text{最大}}}{2\pi f} = \frac{25 \text{ 毫米/秒}}{2\pi \cdot 50 \text{ 秒}^{-1}} \quad (10)$$

$$= 0.08 \text{ 毫米}$$

还有一种不同于上述的振动, 例如大气流动, 引起干涉条纹抖动, 看起来频率甚低, 振幅甚小(只震点几微米), 似乎不会超过仪器工作频率, 但是经过分析可以看出, 它也有出现超速的可能性。

假设干涉条纹有一种微小的摆动(例如大气流动引起干涉条纹作零点几条纹间隔的微微摆动)。这样摆动相对光电管前的光阑处在不同的位置时, 情况是怎么样的呢? 如图 10 所示, 它表明相对光阑的位置处于 $A-A$ 时, 干涉条纹位移量 S 和光电管输出 I 之间的关系, I_A 、 I_B 为相差 90° 的输出, 这里取方波, 是因为线路在整形前经过饱和放大了。若光阑和条纹的相对位置为 $B-B$ 时, 并令条纹作先右后左 $\pm \lambda/8$ (相当于 $\pm 90^\circ$ 位相)的微小摆动, 两路输出情况见图 11。图中 \bar{I}_A 、 \bar{I}_B 是 I_A 、 I_B 的反相信号。由方向鉴别线路的逻辑关系可知, 脉冲下跳沿产生两个计数脉冲 A' 和 \bar{A}' , 查加、减计逻辑:

$$\text{加计: } \bar{A}B' + \bar{A}B' + BA' + \bar{B}A'$$

$$\text{减计: } \bar{B}A' + \bar{B}A' + AB' + \bar{A}B'$$

可知, $A'B$ 为 +1, $\bar{A}'B$ 为 -1。说明这样的摆动, 只引起计数器有 +1、-1 的跳动, 若条纹回到原来位置时, 无累计现象。

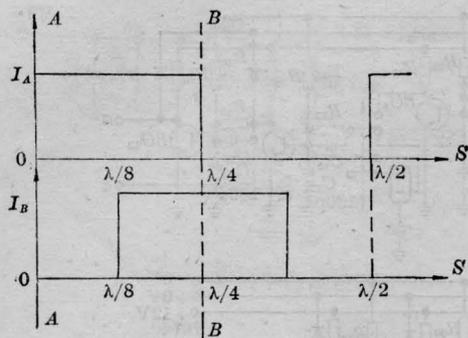


图 10 相对光阑的位置干涉条纹位
移量和光电管输出关系

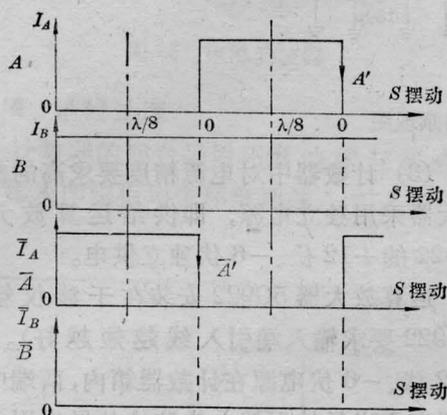


图 11 相对光阑的位置干涉条纹的
摆动和光电管输出的关系

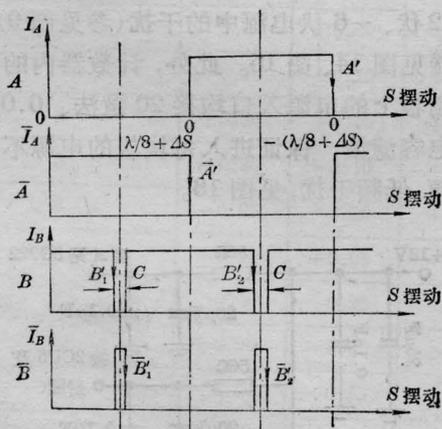


图 12 相对光阑的位置干涉条纹的摆
动和光电管输出的关系

若干涉条纹和光阑的相对位置为 $B-B$ (见图 10), 条纹作先右后左的 $\pm(\lambda/8 + \Delta S)$ (相当于 $\pm(90^\circ + \Delta\theta)$ 相移) 的微小摆动, 两

路输出情况见图 12。如图所示, 这样的摆动下跳沿会产生六个计数脉冲: $A', \bar{A}'; B'_1, \bar{B}'_1, B'_2$ 和 \bar{B}'_2 。查上述逻辑关系 $A'B, \bar{A}'B; B'_1\bar{A}, \bar{B}'_1\bar{A}; B'_2A, \bar{B}'_2A$ 构成 $+1, -1, +1, -1, -1, +1$, 所以无累计值。这里着重说明的是由于 ΔS 所产生的窄脉冲 C 只和摆动的状态有关, 尽管摆动很慢, 但由于 ΔS 很小, 也会出现极为狭窄的脉冲 (即相当于 $+1, -1$ 计数频率很高的脉冲信号), 其前后沿各按 $+1, -1$ 处理一次, 其和为零。倘若电子线路有能力处理它就不会累计, 否则计数器就不可靠了。

实验表明, 在仪器光电转换截止频率为 75 千赫和计数器工作频率为 500 千赫的条件下, 抗振效果如下:

手拍仪器底座, 无累计现象。

在干涉仪与靶镜之间相隔 1 米情况下, 用扇子煽风, 计数器有约 ± 0.3 微米的摆动, 停煽后, 计数器复零无累计。

五、抗 干 扰

1. 干扰源的分析

我们发现, 使电子计数器不能正常工作的干扰有光学和电干扰两部分。

任何从干涉仪窗口射进的光线, 都会对光电管起作用, 特别是放大器饱和放大工作时, 这种影响更需要警惕。光学上抗干扰的措施主要是使干涉仪光学系统 (除靶镜外) 置于密封的暗箱内, 箱内衬有黑绒布, 此外, 干涉仪测量光束出口和入口均加遮光筒, 以削去大部分杂散光线。

电干扰源经实验发现有: 空间电磁辐射和从输入通道、电源引线、地线耦合进去的干扰这样两部分。前者主要应用机壳屏蔽的办法解决, 后者的抗干扰措施如下述。

2. 输入通道干扰的去除

计数器输入部分的通频带是 $0 \sim 75$ 千赫, 而干扰源的频带经实验估计在兆赫以上。

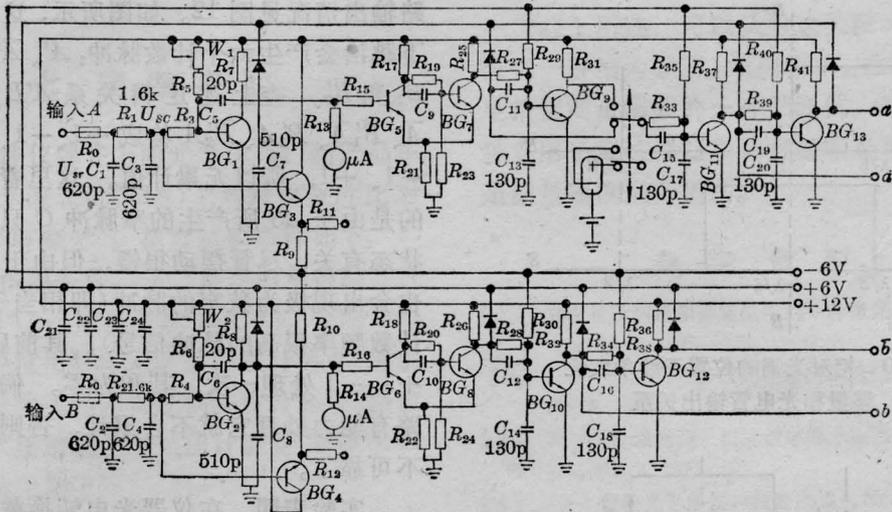


图 13 放大整形电路原理图

对前置放大(5G922)后输入到计数器里的信号,为了去掉输入通道的干扰,要加滤波网络 C_1 、 R_1 、 C_3 及 C_2 、 R_2 、 C_4 (见图 13)。

图中, U_{sr} ——5G922 的输出电压

U_{sc} ——经滤波后的电压

R_0 ——5G922 的输出电阻

数值计算如下:

$$\frac{U_{sc}}{U_{sr}} = \frac{1}{R_0 + \frac{1}{j\omega C_1}} \cdot \frac{1}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_3}} = 0.7$$

当 $R_0 = 500$ 欧姆, $R_1 = 1.6$ 千欧,

$C_1 = C_3, f = 1$ 兆赫时

由(11)式算出取 $C_1 = C_3 = 620$ 微微法

此外,直流放大器 3DG6 的基极和集电极之间接 $C_5 = 20$ 微微法电容,输出端接 510 微微法旁路电容,每个反相器的基极加旁路电容 130 微微法,实验证明,这些处理不影响整个计数器的频带,滤波效果良好。

3. 计数器中各种电源的处理

(1) 电源变压器中采用单层屏蔽绕组,以消除原线圈与所有付线圈之间的电容耦合,防止从原端引入干扰信号。

(2) 计数器内逻辑部分与电源部分中间加铝屏蔽板,防止电源对线路干扰。

(3) 计数器中对电源精度要求高的前置放大器采用独立电源,即供给运算放大器 5G922 的 +12 伏、-6 伏独立供电。

运算放大器 5G922 安装在干涉仪箱内(5G922 要求输入端引入线越短越好)。但 +12 伏、-6 伏电源在计数器箱内,两端中间需要有 1 米长的引线,为防止从导线引入干扰,除采用屏蔽电缆外(这里用的是高频电缆),在 5G922 电源入口处加滤波网络,滤掉 +12 伏、-6 伏电源中的干扰(参见图 9),滤波器见图 14、图 15。此外,计数器内的各块印刷板上的电源入口均接 20 微法、0.01 微法电容滤波,保证进入每块板的电源不引入高频、低频干扰,见图 16。

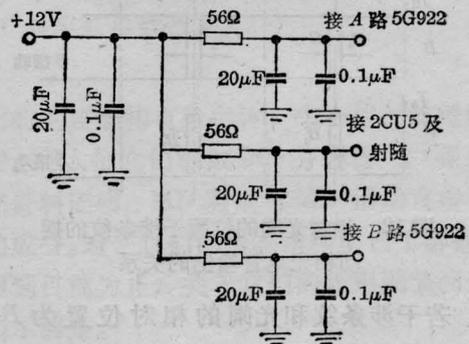


图 14 +12 伏电源滤波器

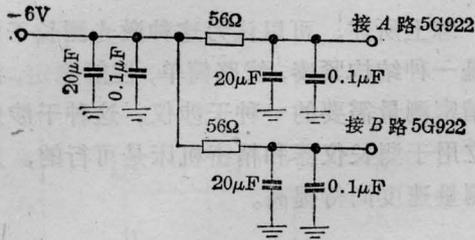


图 15 -6 伏电源滤波器

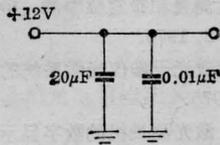


图 16 电源滤波器

4. 地线处理

计数器的底台采用环形地线与机壳相接, 每块印刷板均带环形地线。引入干涉仪

的地线必须屏蔽。干涉仪与计数器相接的五条导线(+12 伏、-6 伏、地线、两路 5G922 的输出线)的屏蔽层一定不通过任何导线直接焊在底台环形地线上。

5. 交流电源的引线均加屏蔽

(1) 接在计数器面板的电源开关, 因是 220 伏交流电, 导线较长, 而且穿过整个仪器底部, 须加屏蔽。

(2) 由变压器付端供给面板电源指示灯 6.3 伏交流电需加屏蔽。

6. 效果

抗电干扰如何鉴定, 目前尚无统一说法和指标, 我们曾把干涉仪放到光学冷加工车间和机加工车间, 计数器均不受各种电器设备(如 C630 车床, Z35 钻床, 20 吨天车等)启动和停车的影响。

表 1

序 号	量 块 名 义 尺 寸							
	2 ^{-0.15} 微米 二 等	10 ^{-0.23} 微米 二 等	40 ^{+0.1} 微米 二 等	40 ^{+0.1} 微米 二 等	100 ^{+0.03} 微米 二 等	100 ^{+0.03} 微米 二 等	200 ^{-0.6} 微米 五 等	300 ^{+0.4} 微米 五 等
示 值 尾 数 (微 米)								
1	0.00	-0.20	+0.50	+0.80	+1.10	+1.00	+1.70	+2.60
2	0.00	0.00	+0.50	+1.15	+1.00	+1.20	+1.80	+3.15
3	-0.10	+0.15	+0.80	+0.80	+1.20	+1.25	+1.95	+3.10
4	+0.30	+0.15	+0.65	+1.10	+1.30	+1.10	+2.15	+3.55
5	-0.20	-0.10	+0.70	+1.20	+1.20	+1.15	+1.90	+3.10
6	-0.05	-0.10	+0.70	+0.95	+1.10	+1.40	+1.95	+3.60
7	+0.10	+0.05	+0.75	+1.10	+0.90	+1.35	+1.95	+3.00
8	0.00	-0.25	+0.50	+0.90	+1.10	+1.20	+2.10	+3.15
9	+0.20	-0.20	+0.85	+0.90	+1.10	+1.15	+1.80	+3.65
10	-0.05	-0.35	+0.65	+0.90	+1.20	+1.35	+1.80	+3.40
算术平均值 $\Delta\bar{L}$ (微米)	+0.02	-0.085	+0.66	+0.98	+1.12	+1.215	+1.91	+3.23
修正量(微米)	+0.13	+0.15	-0.30	-0.51	-0.28	-0.42	-0.86	-2.12
与量块修正值比较 δ (微米)	+0.15	+0.065	+0.36	+0.47	+0.84	+0.795	+1.05	+1.11
均方根误差 σ (微米)	0.196	0.17	0.126	0.145	0.114	0.158	0.198	0.323
3 σ (微米)	0.59	0.51	0.38	0.44	0.34	0.47	0.59	0.969

七、精度实验

此干涉仪曾在上海光学仪器厂新产品车间,在一米测长机(7JA)上和量块做过比对(只做到300毫米)。精度试验条件如下:

一般恒温条件,室温测定用水银温度计(格值 0.1°C);室温达到 20°C 后,等温2小时;7JA温度用体附式表面温度计测量(格值 0.2°C);量块用体附式表面温度计测量(格值 0.2°C);气压用膜盒式气压计测量(格值0.01毫巴)。结果如下:

(1) 重复性

用乌氏干涉仪瞄准,行程 $0\sim 300\sim 0$ 的回零重复性,测十次不超过 ± 0.1 微米;

(2) 和量块比对精度

结果见表1。由表可见,测量数值的分散是小的,测量中有明显的正值系统误差(实验表明,主要是环境条件控制不严引起的),大量块的测量精度已和量块的鉴定误差处于同一数量级,难以分辨。

综上所述,可以认为这种激光测长干涉仪是一种结构紧凑,线路简单,性能稳定,满足精密测量需要的一种干涉仪。这种干涉仪独立用于测长仪器和精密机床是可行的,只是测量速度尚待提高。

参 考 资 料

- [1] 精密长度测量和微定位中的一种激光干涉仪,《激光》,No. 2, 1975.
- [2] JG-1型激光干涉仪光学系统的选择,《仪器制造》,No. 6, 1975.
- [3] 241-1米激光测长机的数字显示电路,《光学与计量》,No. 3, 1973.
- [4] JG-1型激光干涉仪,《仪器制造》,No. 5, 1975.
- [5] JQG-1000型激光球面干涉仪介绍,《光学仪器情报》,No. 4, 1975.
- [6] 激光干涉测长系统设计浅说,《科技资料》,上海科学技术大学, No. 2, 1975.
- [7] 激光测长干涉系统,上海光学仪器研究室, 1975, 6.
- [8] 用干涉法测量高精度锥体棱镜的角度误差,《北光通讯》,No. 1, 1973.
- [9] 光学,兰斯别尔格著。
- [10] Non-Polarizino beam splitters, *Optica Acta*, No. 7, 1974.

红宝石激光微光束照射体外培养 癌细胞分裂期结构研究

鄂征 王淑兰 聂玉秀

(吉林医科大学基础医学部 组织胚胎教研室)

细胞有丝分裂(以下简称MD)是正常细胞也是癌细胞繁殖的主要方式。人们有了能够控制细胞分裂的自由,就可能有效地抵抗癌症。因此,了解MD的机制或其内部联系,是癌症研究中一个重要的组成部分。

细胞分裂期是细胞生活周期中的主要阶段。在分裂阶段的前、中、后和末四期中,细胞内发生着急剧的形态和生理变化;出现变

化的主要结构有染色体、中心体、纺锤体三者,有人把它们称做MD分裂器^[4]。很多研究资料证明,MD器是与MD活动直接有关的成分。对于它们的形态结构虽已了解很多,但到目前为止,关于它们的作用细节尚远未揭示清楚。

近几年来,激光技术飞速进展,我国已能制造多种类型的激光器。激光,作为一种新