

低能 γ 射线反散射法测量塑料薄膜厚度的研究

A Study on Measuring Thickness of Plastic Film by Low-energy γ -ray Backscattering Techniques

黑龙江省科学院技术物理研究所 苏海林

Su Hai Lin

哈尔滨高科技房屋开发公司 赵 娣

Zhao Di

摘 要:本文叙述了低能 γ 射线反散射法测量塑料薄膜厚度的可能性,建立了塑料薄膜厚度与反散射 γ 线强度的关系式。研制了一套测量装置,并对测量误差进行了分析。

关键词:低能 γ 射线 反散射 塑料薄膜 厚度

Abstract: The paper describes the possibility of measuring Thickness of plastic film by low-energy γ -ray backscattering techniques and establishes a comparison expression between thickness of plastic film and intensity of backscattering γ -ray. The paper also develops a set of measuring device, and analyses measuring errors.

Keyword: low-energy γ -ray backscattering plastic film thickness

[中图分类号] TM93 [文献标识码] A [文章编号] 1003-7241(2002)01-0061-02

低能 γ 射线反散射法测量塑料薄膜厚度,是以低能 γ 射线与物质的相互作用与原子序数的依赖关系,通过测量与质量吸收系数成比例的低能 γ 射线反散射强度来确定塑料薄膜厚度,能够满足测量精度的要求。

1 测量原理

低能 γ 射线反散射测量是基于康普顿效应,即入射 γ 光子与原子的核外电子发生非弹性碰撞 γ 光子的部分能量转移给电子,使它反冲出来,而散射光子的能量和运动方向都发生了变化。当一个 γ 射线或光子撞击到原子序数较小的物质,大部分光子会穿透此物质而不产生任何变化,有一部分光子会因此而折射或反射造成一些能量的损失。用 ^{241}Am 低能 γ 光子源产生 γ 射线,当 γ 射线被反射回来的光子撞击到由碘化钠晶体制成的闪烁探测器时会产生荧光,这些荧光进入光电倍增管后被转换成电子并被放大后输出一连串脉冲,其脉冲幅度与被检测到的 γ 光子的能量成正比;脉冲计数率与被测塑料薄膜厚度成正比。

2 塑料薄膜厚度与低能 γ 射线反射强度的关系

当 γ 射线穿过物质,除了一部分 γ 射线穿过物质时损失能量外,还有一部分射线以各种不同的角度被散射开来,当散射角大于 9° 时形成反散射时,反散射强度与厚度定量的关系曲线图如图 1 所示。对于 γ 射线穿过塑料薄膜而被反射回来的反散射强度符合下列函数关系:

$$I_0 = (1 - e^{-(\mu_d + \mu_p)d}) I_{po} \mu_k / (\mu_1 + \mu_{1p}) \quad (1)$$

式中 μ_k ——初始辐射的康普顿线性吸收系数;

μ_l ——初始辐射的线性全吸收系数;

μ_{pl} ——散射辐射的线性吸收系数;

I_{po} ——散射体反射出来的饱和反散射强度;

I_p ——散射体反射回来的反散射强度;

d ——塑料薄膜厚度;

ρ ——塑料薄膜密度。

(1) 式经变换后,得

$$d = [Ln[1 - I_p(\mu_1 + \mu_{1p})/\mu_k I_{p0}]] / [-1/(\mu_1 + \mu_{1p})] / \rho \quad (2)$$

当被测塑料薄膜和放射源确定时, $\mu_k, \mu_1, \mu_{1p}, \rho$ 基本上为常数, 通过求解方程(2)便可求出塑料薄膜厚度。

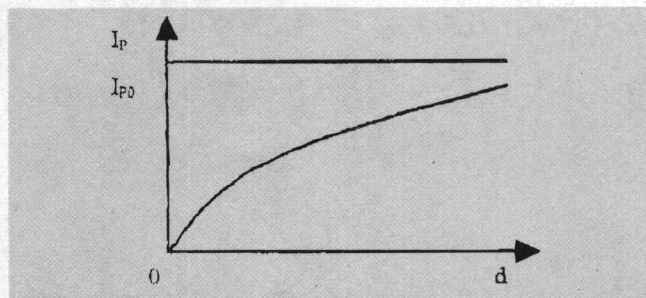


图1 反散射强度与塑料薄膜厚度的关系曲线

3 测量装置

整个测量装置由探头、脉冲放大器、甄别器和单片机数据处理部分组成。电路方框图如图2所示。

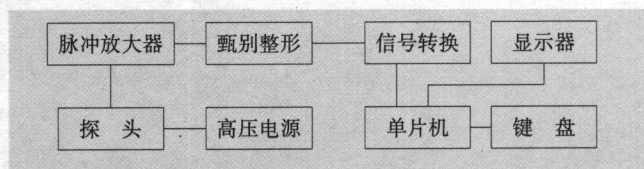


图2 电路方框图

3.1 γ 射线能量的选择

选择合适的 γ 射线能量是设计该测量仪器首先考虑的重要问题。灵敏度 S 是 γ 射线能量的函数,也是被测物质成分或原子序数的函数,被测物不同所选择的 γ 射线能量也会不同,兼顾到灵敏度和 γ 射线能量的关系,以及 γ 射线源可选用性,反散射法测量塑料薄膜厚度选用60keV的 ^{241}Am 低能光子源是恰当的。

3.2 反散射几何条件的考虑

探测器、放射源及被测样品的反散射测量的几何布局如图3所示。当采用闪烁探测器时,探测器接收反散射 γ 射线的窗口为 $\phi 40\text{mm}$ [$\text{NaI}(\text{Tl})$],放射源尺寸为 $\phi 10 \times 6$,由于放射源中心背对探测器窗口,使得探测器窗口形成 $\phi 10\text{mm}$ 圆形死区和一个圆环阴影的半死区。为了消除死区或半死区,将放射源放入井型晶体中,这种方案可使计数率大大提高。

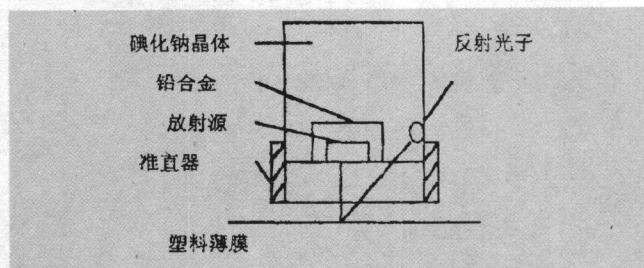


图3 反散射测量的几何布置

探测器与样品之间的距离也是影响灵敏度的重要因素,实践证明随着探测器样品之间的距离增大,灵敏度明显下降,以测量塑料薄膜为例,距离在5~10mm之间是最佳选择。准直是消除多次散射的有效手段,无准直时计数率随探测器样品之间距离增大而增大,当增大到一定程度计数率几乎不变,然后下降。加入准直后使多次散射对计数率的贡献大大减少,计数率的变化趋势较不加准直趋缓。计数率虽有所下降,但计数的变化更能真实的反映厚度的变化。通过实验证明准直长度为5mm,探测器窗口到样品距离为10mm最为理想。

对一组已知塑料薄膜为15~120 μm 的原样品进行标定实验测量与量具检测结果进行比较可得出每个样品的测量偏差。经过统计处理得出原样品的测量误差为 $\pm 2.1\%$,表1为原样品的测量结果。

表1 原样品的测量结果

样品号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
测量值	16	29	32	30	39	42	54	55	63
检测值	15	30	32	29	40	42	52	54	61
偏差	1	-1	0	1	-1	0	2	1	2
样品号	10	11	12	13	14	15	16	17	18
测量值	67	72	75	81	84	91	96	123	121
检测值	66	74	75	79	88	94	99	119	117
偏差	1	-2	0	2	-2	-3	-3	4	4

4 误差分析

核分析或测量,误差来源很多,包括样品的检测误差、统计涨落、样品的不均匀性、核方法对样品的物理状态及化学组成不同引起的误差以及仪器自身引起的误差等。因此工业环境下很难对一次测量结果做出准确可靠的判断,按数理统计原理,用带有统计意义的均方根误差来衡量随机的测量结果是比较合适的。

参考文献

- [1] 常健生. 检测与转换技术. 北京: 机械工业出版社, 1981: 267-269
- [2] 安继刚. 电离辐射探测器. 北京: 原子能出版社, 1995: 20-29
- [3] 马永和, 等. 核电子学与探测技术, 1988, 8(6): 330
- [4] 马永和, 等. 同位素, 1991, 4(3): 150