

文章编号:1001-5078(2013)09-1040-04

· 红外技术及应用 ·

红外测径仪 YPIR-QT 的应用及改进

张红勇¹, 方 军²

(1. 西安理工大学, 陕西 西安 710048; 2. 西安工业大学, 陕西 西安 710048)

摘 要: 高质量锗单晶材料在信息产业、航空航天和国防军工等高新技术领域应用广泛。直拉法为锗单晶生长的主要方法, 单晶直径检测是直拉法的重要环节。本文介绍锗单晶直拉法生长过程中, 红外测径仪 YPIR-QT 的应用情况, 对单晶直径进行测量, 其输出信号作为单晶直径控制系统的反馈信号; 同时, 对红外测径仪 YPIR-QT 的智能化改进提出简要阐述。

关键词: 直拉法; 智能化改进; 红外测径仪 YPIR-QT

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.09.17

Application and improvement of infrared diameter test device YPIR – QT

ZHANG Hong-yong¹, FANG Jun²

(1. Xi' An University of Technology, Xi' An 710048; 2. Xi' An University of Industry, Xi' An 710048, China)

Abstract: The high quality germanium plays an important role in the field of information industry, national defense and aviation etc. CZ growth method is popular for crystal germanium production. For CZ growth method, the crystal diameter test is the basic function. Firstly the application of infrared diameter test device YPIR – QT during the crystal germanium growth is introduced, single crystal diameter is measured, the output signal acts as feedback signal of crystal diameter control system. Secondly the future intelligent improvements for infrared diameter test device YPIR – QT are suggested.

Key words: CZ growth method; intelligent improvements; infrared diameter test device YPIR – QT

1 红外测径仪 YPIR-QT 原理

YPIR-QT 是基于红外辐射原理的非接触式测量仪表, 它将进入其测量范围的特殊红外辐射能量量化, 转化为可以识别和利用的电信号。适用于高温、移动目标的测量。具有响应速度快、不破坏被测物体温度分布、可测较小目标等特点。

被测物体表面的红外辐射经物镜投射到分光镜上, 如图 1 所示, 其可见光部分透过分光镜会聚到分划板, 用来观察瞄准目标; 红外部分光线则被反射, 经滤光后会聚到红外探测器上。红外探测器将接收到的红外能量转化为电信号, 就是被测的目标信号。

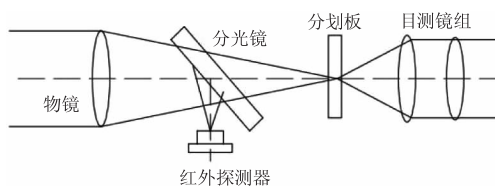


图1 红外测径仪 YPIR-QT 结构图

2 红外测径仪 YPIR-QT 在锗单晶直拉法生长领域的应用

直拉法是把锗多晶原料放入坩埚, 在单晶炉内加热熔化, 温度约达 930 摄氏度。将晶种(称籽晶)浸入溶液中, 如图 2 所示。在适宜的温度下, 溶液中的原子会顺着晶种的原子排列结构在固、液分界面处形成规则的结晶, 把晶种缓慢旋转并向上提升, 最后形成一根圆柱形的原子排列整齐的锗单晶晶体。控制锗单晶圆柱部分直径均匀, 是单晶生长的首要要求。红外测径仪 YPIR-QT 是常用的直径检测元件。

作者简介: 张红勇(1974-), 女, 大学本科, 电气工程师, 致力于晶体生长设备控制系统研发。E-mail: zhy_0905@126.com

收稿日期: 2013-02-26; **修订日期:** 2013-03-11

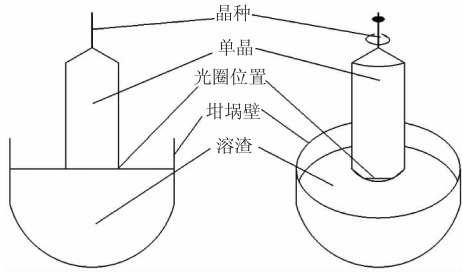


图2 锗单晶生长示意图

自然界的所有高于热力学零度的物体,都在向外发出红外辐射。根据普朗克定律,物体的温度越高,其辐射能量越大。测径仪 YPIR-QT 接收锗晶体发出的辐射能量,间接反应晶体直径的变化。单晶生长过程中,在固、液分界处,围着圆柱形的固体晶体会形成一个温度很高的透亮光圈,透过测径仪 YPIR-QT 的观察窗,内有一黑色小环,调整测径仪位置,选择合适的测量点,使小环与单晶周围光圈相交,如图3所示,如果单晶直径变大,光圈外延,与小环重叠的面积增大,测径仪接收的红外辐射能量增加,输出信号增大;如果单晶直径变小,光圈收缩,与小环重叠面积减小,测径仪接收的红外辐射能量减少,输出信号减小,反应了单晶生长过程中直径变化情况。单晶生长过程中,不仅垂直向上提拉,而且旋转,红外测径仪 YPIR-QT 的检测对象——单晶处于动态;其次,成品单晶长度约2m,上提拉软轴行程很长,与钟摆类似,单晶存在晃动,特别是刚开始单晶较轻的时候,光圈也随之摆动;再加光圈本身不是很规则圆形,所有这些因素,造成单晶直径实际尺寸没有变化,但是红外测径仪 YPIR-QT 输出的直径测量信号有周期性波动。所以,红外测径仪 YPIR-QT 需要从目标测量值输出信号的控制算法上改进,提高自身抗干扰能力^[1]。

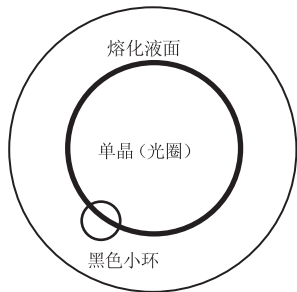


图3 测径仪观察到的小环与单晶周围光圈示意图

3 红外测径仪 YPIR-QT 改进措施

单晶生长过程中,红外测径仪 YPIR-QT,周期性地测量、输出晶体的直径信号;采用自适应控制的思路如图4所示,根据所获得的实时动态信息数据,分析规律,对数据真实性进行辨识,及时修改、优化信

号计算单元,达到直径逼近最真实情况的效果,克服各种干扰对测量值的影响^[2]。

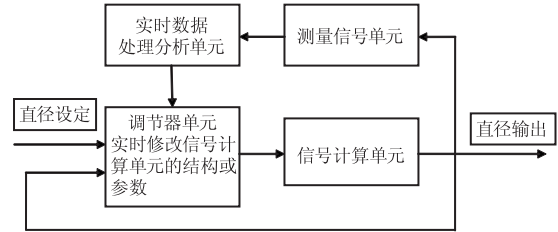


图4 自适应直径检测原理框图

从自适应直径检测原理框图,建立红外测径仪 YPIR-QT 直径输出信号的闭环传递函数,如图5所示,加入调节器单元时,对红外测径仪信号计算单元结构、参数进行实时估计、修改,主要特点是在闭环条件下进行,调节通道、输出通道必须保证闭环系统输出直径信号序列是稳定的^[3]。

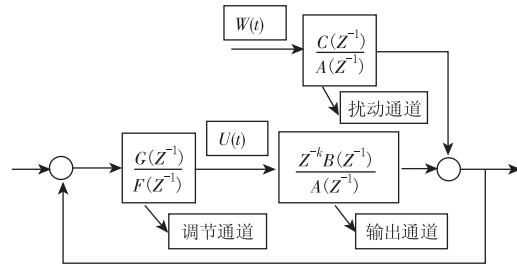


图5 闭环传递函数

红外测径仪的直径输出数学模型可视为受控的自回归滑动平均差分方程模型,不加自适应调节通道时,用差分方程表示为:

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{na} y(t-n_a) = b_0 u(t-k) + b_1 u(t-k-1) + \dots + b_{nb} u(t-k-n_b) + w(t) + c_1 w(t-1) + \dots + c_{nc} w(t-n_c) \quad (1)$$

简化为时域函数:

$$A(Z^{-1})y(t) = B(Z^{-1})u(t-k) + C(Z^{-1})w(t) \quad (2)$$

其中,A,B,C 为多项式参数;阶次分别 na, nb, nc 。 $u(t-k), y(t), w(t)$ 分别是输入、输出和扰动; k 为延迟时间,数值为采样周期的整数倍。

令:

$$A(Z^{-1}) = 1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_{na} Z^{-na}$$

$$B(Z^{-1}) = b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_{nb} Z^{-nb}$$

$$C(Z^{-1}) = 1 + c_1 Z^{-1} + \dots + c_{nc} Z^{-nc}$$

调节单元的 $G(Z^{-1}), F(Z^{-1})$ 也为多项式参数,阶次分别 nf, ng 。

令:

$$F(Z^{-1}) = 1 + f_1 Z^{-1} + \dots + f_{nf} Z^{-nf}$$

$$G(Z^{-1}) = g_0 + g_1 Z^{-1} + \dots + g_{ng} Z^{-ng}$$

为了方便分析,设:延迟 $k=0, b_0=0, na=nb=nc=n$, 可得:

$$A(Z^{-1}) = 1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_n Z^{-n}$$

$$B(Z^{-1}) = Z^{-1}(b_1 + b_2 Z^{-1} \dots + b_n Z^{-n+1})$$

$$C(Z^{-1}) = 1 + c_1 Z^{-1} + \dots + c_n Z^{-n}$$

加入自适应调节通道后,以扰动为输入的闭环传递函数为:

$$\frac{y(t)}{w(t)} = \frac{\frac{C(Z^{-1})}{A(Z^{-1})}}{1 + \frac{G(Z^{-1})B(Z^{-1})}{F(Z^{-1})A(Z^{-1})}} = \frac{F(Z^{-1})C(Z^{-1})}{A(Z^{-1})F(Z^{-1}) + B(Z^{-1})G(Z^{-1})} \quad (3)$$

令:

$$\frac{y(t)}{w(t)} = \frac{Q(Z^{-1})}{P(Z^{-1})}$$

$$P(Z^{-1}) = 1 + P_1(Z^{-1}) + \dots + P_L(Z^{-L})$$

带入式(3)得:

$$Q(Z^{-1}) = F(Z^{-1})C(Z^{-1})$$

$$P(Z^{-1}) = A(Z^{-1})F(Z^{-1}) + B(Z^{-1})G(Z^{-1})$$

$P(Z^{-1})$ 的阶次满足: $l = n + \max\{ng, n_f\}$ 。保证闭环系统输出稳定的直径信号序列 $y(t)$, 要求闭环系统必须是稳定的, 即 $P(Z)$ 有唯一解。将 A, B, C, G, F, P 多项式带入 $P(Z^{-1}) = A(Z^{-1})F(Z^{-1}) + B(Z^{-1})G(Z^{-1})$ 得:

$$(1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_n Z^{-n})(1 + f_1 Z^{-1} + \dots + f_{nf} Z^{-nf}) + Z^{-1}(b_1 + b_2 Z^{-1} \dots + b_n Z^{-n+1})(g_0 + g_1 Z^{-1} + \dots + g_{ng} Z^{-ng})$$

$$= 1 + P_1(Z^{-1}) + \dots + P_L(Z^{-L})$$

比较上式两边同幂系数, 得如下方程组:

$$a_1 + b_1 g_0 = p_1 - f_1$$

$$a_1 f_1 + a_2 + b_1 g_1 + b_2 g_0 = p_2 - f_2$$

$$a_1 f_2 + a_2 f_1 + a_3 + b_1 g_2 + b_2 g_1 = p_3 - f_3$$

$$\dots$$

$$a_1 f_{j-1} + a_2 f_{j-2} + \dots + a_n f_{j-n} + b_1 g_{j-1} + b_2 g_{j-2} + \dots + b_n g_{j-n} = p_j - f_j$$

写成矩阵形式: $\alpha = S\theta$, 其中系数矩阵 S 有 $n + \max\{nf, ng\}$ 行, $2n$ 列。有唯一解的条件是 S 的秩为 $2n$, 等价于 $n + \max\{nf, ng\} \geq 2n$ 。

也就是说:设计调节器单元传递函数 $F(Z^{-1})$ 、 $G(Z^{-1})$ 时, 其阶次必须大于等于信号计算单元传递函数的阶次, 系统才是稳定的, 才能保证红外测径仪 YPIR-QT 稳定工作。

表 1 是锗单晶生长过程中, 用红外测径仪 YPIR-

QT 测量直径, 直径测量值反馈到控制系统时, 做滤波、均值处理后, 得到的直径检测统计数据。与不做处理的测量值对比如下表: 晶体生长条件为: 晶体实际直径 150 mm, 对应测量的输出信号参考量为无量纲值 360, 提拉速度为 0.6 mm/min, 旋转 12 r/min。

表 1 红外测径仪测量锗单晶直径统计数据

晶体长度	测量方法	直径 -1	直径 -2	直径 -3	直径 -4	直径 -5	备注
10mm	未处理	360	355	359	364	365	晶体摆动
	优化处理	358	360	363	360	359	
20mm	未处理	355	361	364	360	363	晶体摆动
	优化处理	360	359	357	361	360	
30mm	未处理	360	362	360	357	355	晶体摆动
	优化处理	359	361	362	360	358	
40mm	未处理	360	363	364	360	357	晶体摆动 减弱
	优化处理	359	362	360	359	361	
50mm	未处理	356	360	358	360	362	晶体摆动 减弱
	优化处理	361	360	359	360	361	
100mm	未处理	363	361	362	360	358	摆动基本 消失
	优化处理	359	361	358	360	361	

晶体开始生长初期, 晃动比较严重, 以晶体长度为 10mm, 20mm 时为例, 对直径测量值做曲线比较, 如图 6 所示。

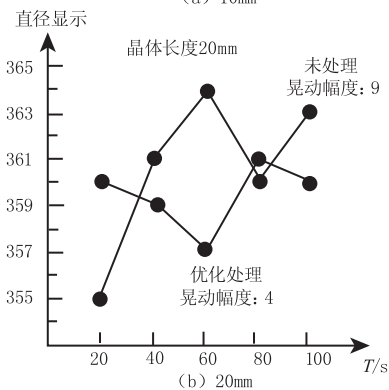
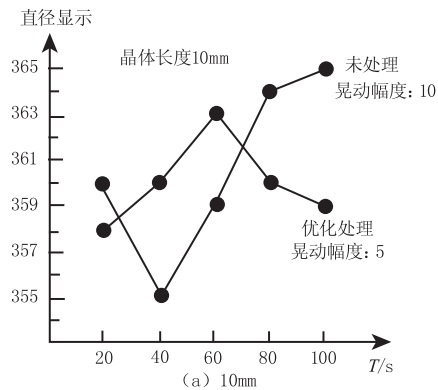


图 6 不同晶体长度的直径测量值

从图 6 可以看出,对红外测径仪 YPIR-QT 测量的直径信号作适当地处理,测量值稳定性提高,改善了晶体圆锥摆影响直径测量值的问题,减轻了直径自动控制系统的负担。

4 结 论

随着被测物工况的复杂化,红外测径仪 YPIR-QT 采用自适应控制方法进行信号处理,提高自身抗干扰能力,是现代工业发展的需求。对于自适应控制的具体算法,由于篇幅的限制,我们将另行分析探讨。

参考文献:

- [1] Sheng Chunyu, Tang Xinyi, Li Zheng. Design of Adaptive infrared Tracing System For Spacial Target[M]. Laser & Infrared, 2012, 42(5): 518 - 521. (in Chinese)
盛春雨, 汤心溢, 李争. 一种自适应空间目标提取的红外跟踪系统设计[J]. 激光与红外, 2012, 42(5): 518 - 521.
- [2] Xu Xiangyuan. Self-Adaptive Control theory and application[M]. Beijing: Electric Industry Publication, 2007. 1. (in Chinese)
徐湘元. 自适应控制理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007, 1.
- [3] Li Guoyong. Optimal Control theory and application[M]. Beijing: National Defence Industry Publication, 2008. 10. (in Chinese)
李国勇. 最优控制理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008, 10.