

浮力提拉单晶炉*

超声压电材料组

(中国科学院物理研究所)

提 要

浮力提拉单晶炉是利用浮力的原理来提拉单晶的新型单晶炉。它结构简单,振动小,造价低廉。提拉速率范围为0.5毫米~150毫米/小时,连续可调,在长时间提拉中,拉速不稳定度<5%。通过二年多来的试用,性能稳定可靠。已先后拉出较大块的铈酸锂单晶和锆酸铋单晶。

引 言

用措赫拉耳斯基(zochralski)法^[1](通称提拉法)生长单晶日趋广泛,如硅单晶、锗单晶,以及目前激光、电光和微声用的单晶都采用提拉法生长。通常采用的设备是机械式单晶炉。1969年曾出现水气并动(Hydropneumatic)式^[2]提拉单晶炉。本着自力更生、奋发图强的精神,我们经过反复试验和改进,研制成功了一种新型的提拉单晶炉,取名浮力提拉单晶炉(简称FTD)。

原 理

FTD的特点是采用浮力提拉装置,其原理如图1所示。自来水通过阀门 T_1 不断地注入称为“稳压器”

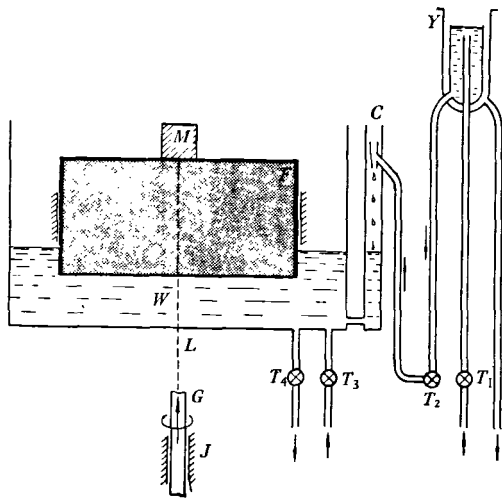


图1 FTD原理图

Y的夹层玻璃杯里,它保持着一定的水位,来自其中的水经过阀门 T_1 滴入连通管C,然后流入水箱W里,加以导向的浮箱F载着一个马达M(ND系列)随着向上升起,起了提拉的作用。马达通过一根软轴L转动籽晶杆G,籽晶杆由支座J导向,这样就完成了提拉法的二个动作要领——边转边拉。由于水是很好的减震介质,整个系统的振动极小。阀门 T_1 用以快升,阀门 T_2 用以快降。

在这样一个系统中,拉速的控制转变成成为水流量的控制,后者在目前采用固定压差而改变阀门截面的办法。考虑到水密和重复性的要求,阀门采用针型结构,如图2所示。其中O是阀座,1是阀针。当阀针旋

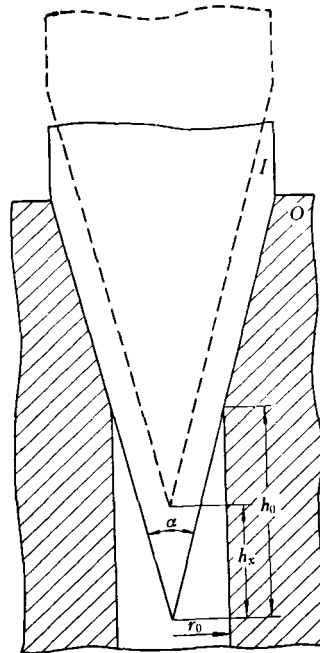


图2 阀门结构原理图

开后,水开始流动。假定水作理想流体的稳定流动,不难计算,水通过阀门所打开的环形截面的流量为:

$$Q = Ah_x + Bh_x^2, \quad (1)$$

* 1973年4月28日收到。

其中 h_x 为阀针移动的距离,

$$A = \sqrt{2gH} \cdot 2\pi \frac{r_0^2}{h_0}, \quad (2)$$

$$B = -\sqrt{2gH} \cdot \pi \frac{r_0^2}{h_0^2}. \quad (3)$$

这里 H 为压差, g 为重力加速度, r_0 为阀门半径, h_0 为阀针端头的长度 (见图 2)。于是, 如果在阀针手轮的圆周方向作等分刻尺 (称为阀位), 它将和拉速成二次

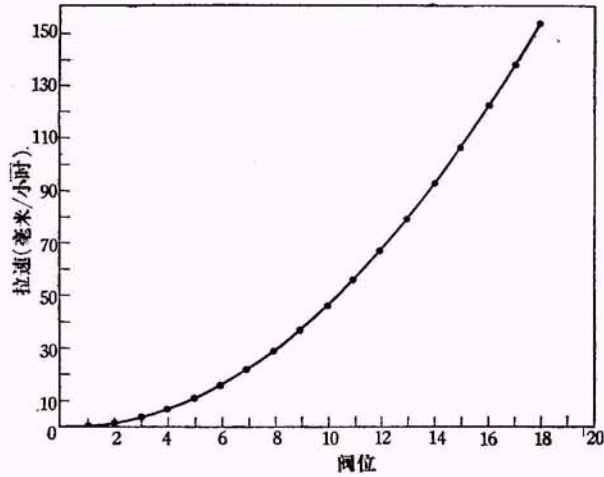


图 3 阀位与拉速间二次曲线函数关系的一个实例

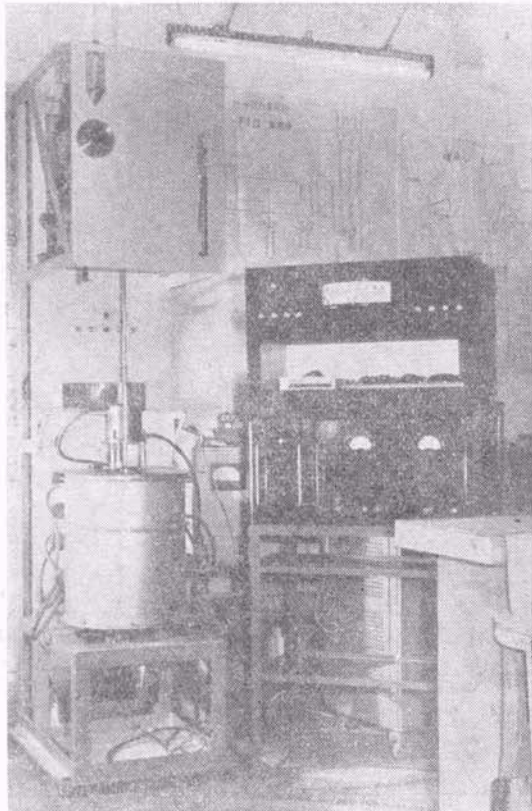


图 4 浮力提拉单晶炉外形照片之一

曲线的函数关系。设计时可用这些式子来估算, 在实际使用时, 则需对具体阀门作具体定标, 以消除加工误差。图 3 给出一个实际例子。

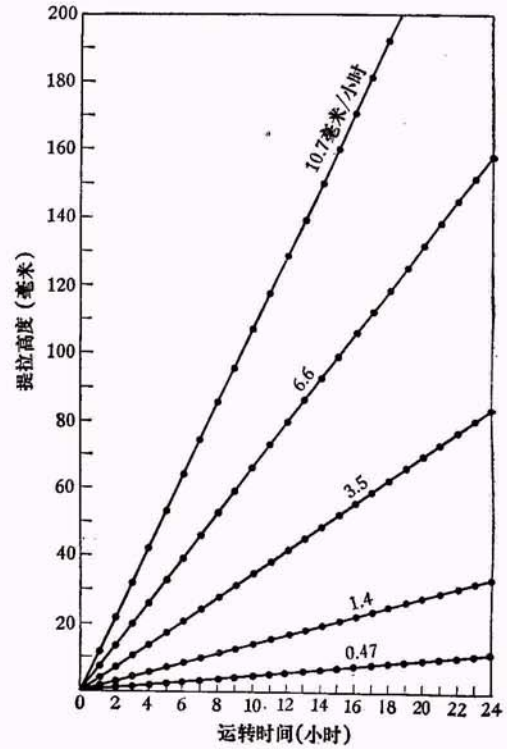


图 5(a) 小拉速稳定性试验结果

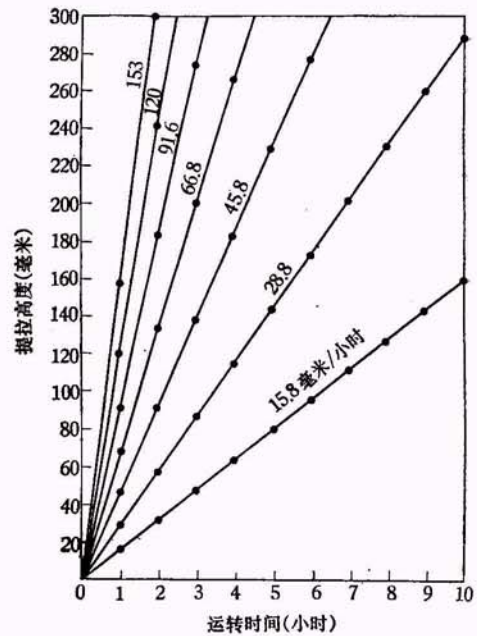


图 5(b) 大拉速稳定性试验结果

效 果

图4是FTD的外形照片之一。拉速范围为0.5毫米—150毫米/小时,连续可调,稳定性试验结果如图5(a)和图5(b)所示。不稳定性度 $<5\%$,晶转速度为0—96转/分,连续可调。

二年多来,我们采用二台FTD生长铌酸锂单晶和锆酸铋单晶,运转稳定。生长出的部分晶体照片如图6和图7所示。采用国产原料能生长出直径为30毫米、长度超过100毫米的铌酸锂单晶,以及截面为 25×25 (毫米)²、长度超过120毫米、重量超过半公斤

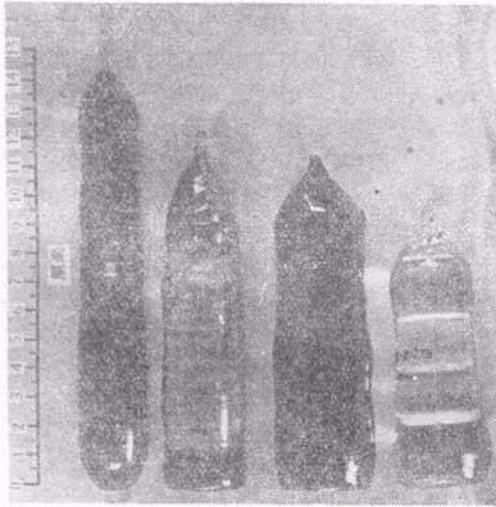


图6 铌酸锂单晶

的锆酸铋单晶。二者生长均用铂坩埚,容积均为140 c. c. 所生长单晶的主要工艺和部分物理常数的测试结果如表1所示。其他性能尚未测试。

二台FTD都是本所工人师傅加工制成的,晶体生长过程中得到所内外许多兄弟单位和同志的支持。

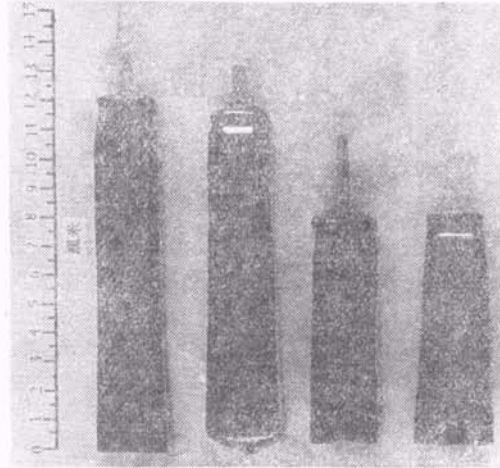


图7 锆酸铋单晶

参 考 文 献

- [1] J. Czochralski, *Z. Phys. Chem.*, **92**(1918), 219.
- [2] J. C. Brice, *J. Sci. Instr.*, **SZ. 2**(1969), 1063.
- [3] A. W. Warner, M. Onoe, G. A. Coquin, *J. Acoust. Soc. Am.*, **42**(1967), 1223.
- [4] M. Onoe, W. Warner, A. A. Ballman, *IEEE. Trans.*, **SU-14**(1967), 165.
- [5] A. J. Slobodnik, Jr., J. C. Sethares, *J. Appl. Phys.*, **43**(1972), 247.

表1. 二种晶体的主要生长工艺和物理性能

结 果		铌 酸 锂 (LiNbO ₃)		锆 酸 铋 (Bi ₁₂ GeO ₂₀)	
工 艺	提拉速度	8 毫米/小时		6 毫米/小时	
	晶转速度	25 转/分		52 转/分	
	温度梯度	60°~80°C/厘米		80°~100°C/厘米	
性 能	参 数 来 源	我 们	美国 Bell 公司 ^[3]	我 们	美国 Bell 公司 ^[4]
	密度 10 ³ 公斤/米 ³	4.61	4.64	9.20	9.2
	介电常数	$\epsilon_{11}^T = 74.8$ $\epsilon_{33}^T = 29.1$	$\epsilon_{11}^T = 84$ $\epsilon_{33}^T = 30$	$\epsilon_{11}^S = 38.6$	$\epsilon_{11}^S = 38$
	弹性常数	$S_{11}^E = 5.46 \times 10^{-12}$ 米 ² /牛顿 $S_{33}^E = 4.90 \times 10^{-12}$ ”	$S_{11}^E = 5.78 \times 10^{-12}$ 米 ² /牛顿 $S_{33}^E = 4.89 \times 10^{-12}$ ”	$C_{11}^E = 1.29 \times 10^{11}$ 牛顿/米 ² $C_{12}^E = 0.39 \times 10^{11}$ ” $C_{44}^E = 0.254 \times 10^{11}$ ”	$C_{11}^E = 1.20 \times 10^{11}$ 牛顿/米 ² $C_{12}^E = 0.39 \times 10^{11}$ ” $C_{44}^E = 0.25 \times 10^{11}$ ”
	压电常数	$d_{31} = -1.1 \times 10^{-12}$ 库伦/牛顿 $d_{33} = 7.5 \times 10^{-12}$ ”	$d_{31} = -1 \times 10^{-12}$ 库伦/牛顿 $d_{33} = 6 \times 10^{-12}$ ”	$e_{14} = 1.14$ 库伦*/米 ²	$e_{14} = 0.71$ 库伦/米 ²

* 和另一文献[5]比较,本值亦较高,原因将进一步研究分析。