

测量电视在拉晶中的应用及其数据处理*

齐哲扬 余国东
(上海玩具九厂)

王德宁 李伟权 张国正 何梁昌
(中国科学院上海冶金所)

摘 要

本文介绍测量电视在计算机控制砷化镓单晶中的应用,文内对电视系统的同步线路,电子窗,视频信息的电平切割方面作了较详尽介绍,并对电视采样中干扰信号的数学处理作了叙述.对测量电视系统的应用结果作了讨论.

一、前 言

在半导体单晶制备过程中如何实现等径控制,对提高单晶质量,合格率和利用率是十分重要的.目前不少文献应用称量法^[1]、光环法^[2]、工业电视^[3]成功地实现了对硅单晶等径控制,但对砷化镓单晶的等径控制很少见于文献,实现等径的关键是解决单晶直径的测量问题.1977年2月我们试制成功了电视测量系统.根据一年多的实际使用表明,采用一定的数据处理方法,从放肩等径至收尾,此电视系统均能测量出晶体直径变化,测量精度在 $\pm 1\text{ mm}$ 以内,对电视测量系统较长期考验表明尚能胜任这一任务,测量方法是可行的.鉴于上述情况,本文着重介绍测量电视系统与数据的处理.

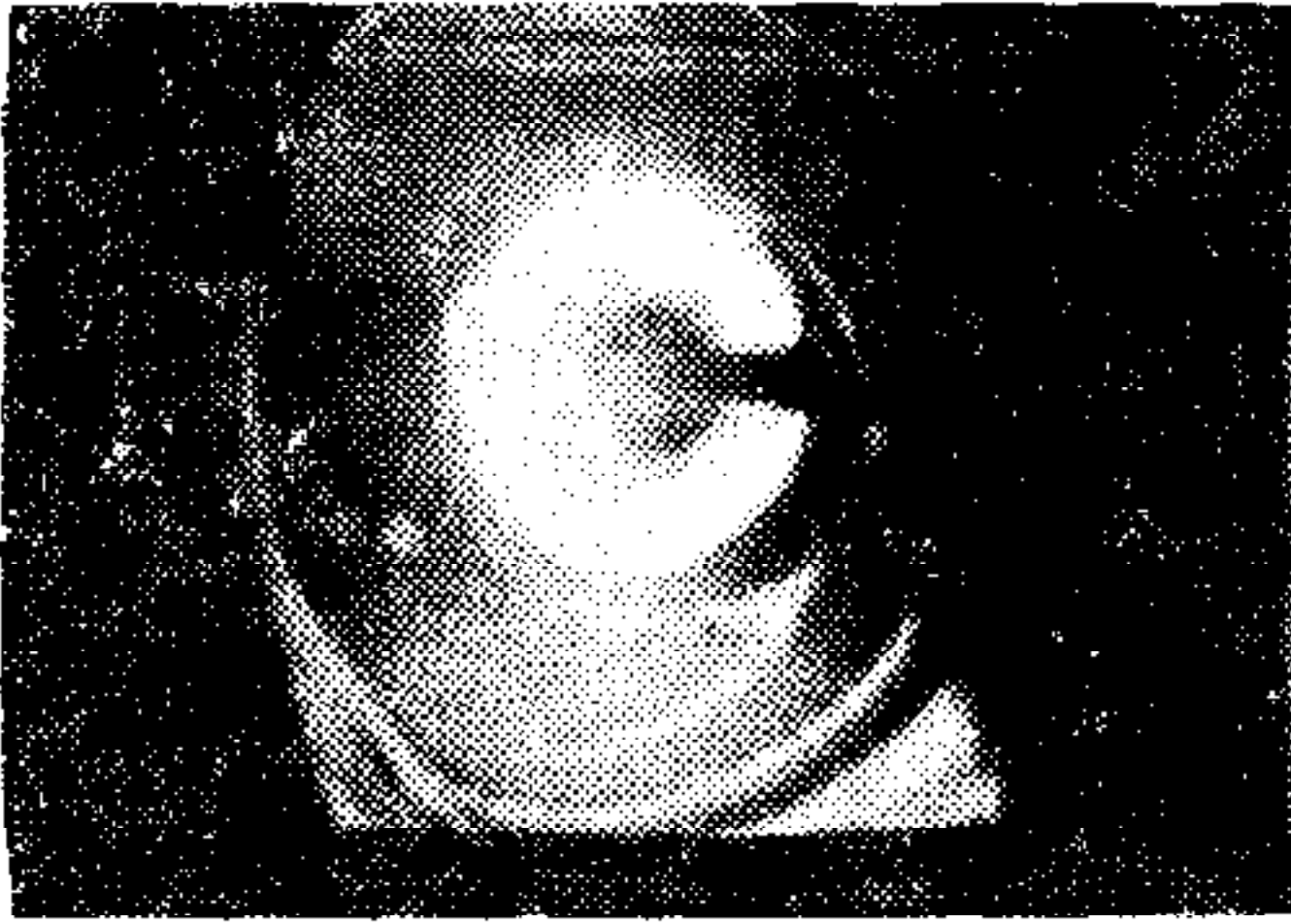
二、测量电视的组成

利用电视摄象机,对单晶炉内控制过程的单晶体摄象,电视系统将光图象转换为视频信号,将此信号中的单晶直径信息取出,经数字化后馈入计算机,完成拉晶的自动控制.电视系统成为单晶直径的检测设备.

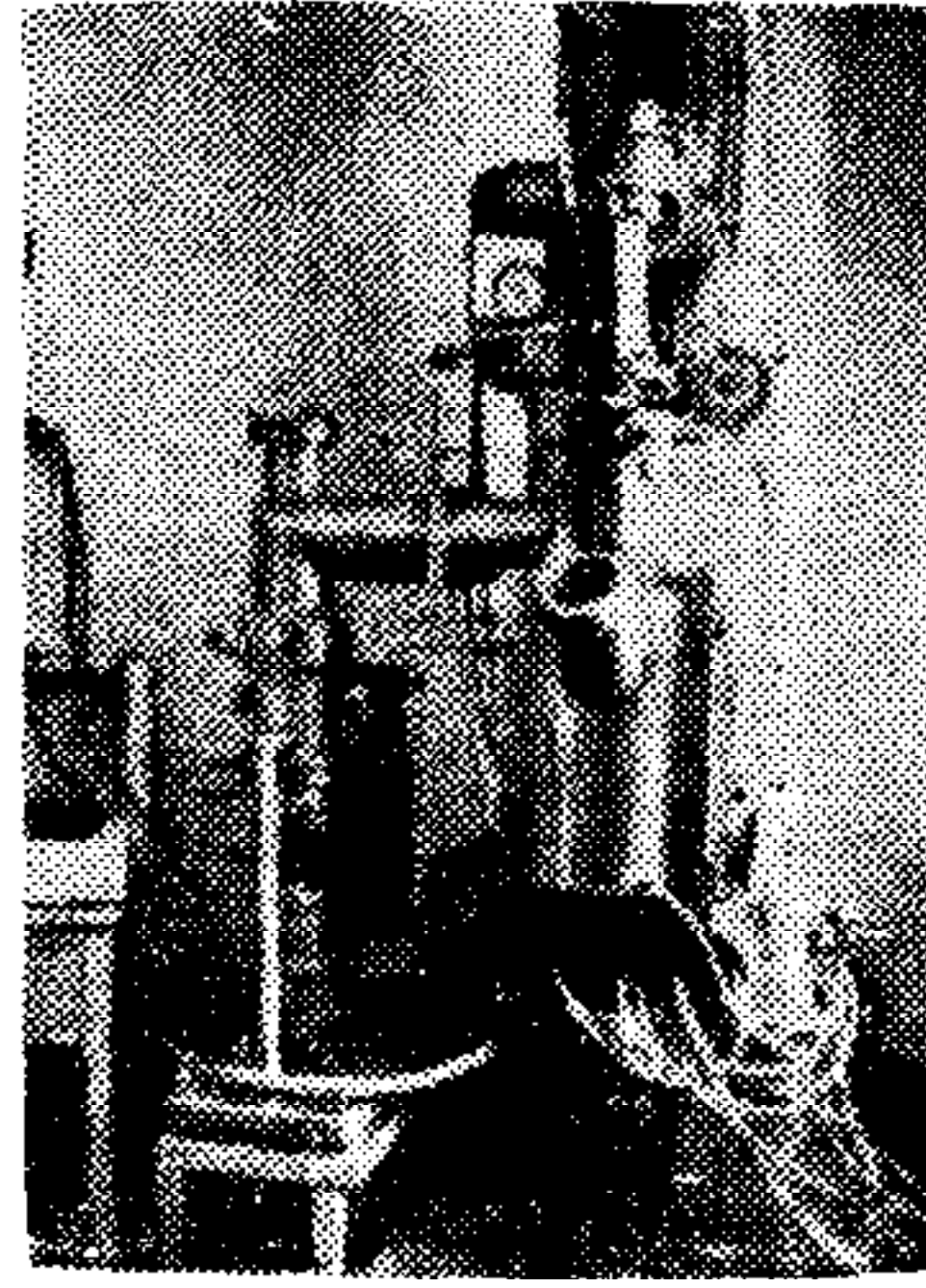
照片1示出了电视屏中观察到的单晶拉制过程中的单晶体,这时单晶直径表现在水平方向.我们为了测量计数的方便,将摄象机转动了 90° ,使电视屏中出现如照片2所示的图形,这时单晶直径表现在垂直方向上,与电视扫描行相交.而在拉晶过程中的固液交界面,有一亮度较高的光环可反应单晶直径,只要取出光环与水平扫描行相交的数值,即已完成单晶直径参数的取出.

本系统的电路结构示于图1.

* 本文曾在中国自动化学会1978年会上宣读.



照片1 单晶控制过程



照片2 转动 90° 后的单晶体

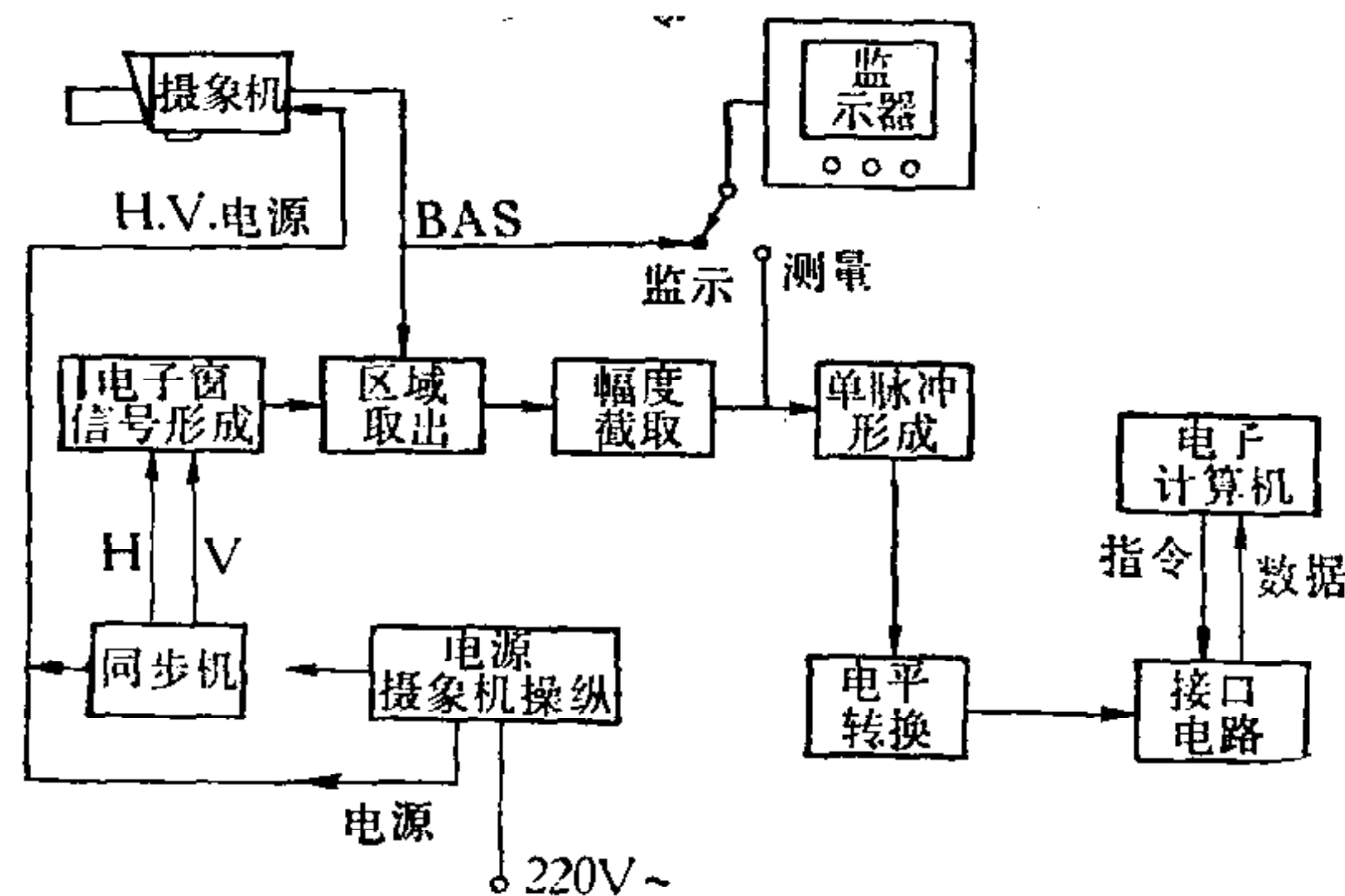


图1 测量电视电路结构框图

由图1可见,电视摄象机输出的全电视信号,(BAS),送入信号取出电路,由电子窗消去光环外的无用信号,经幅度截取获得直径信息,通过单脉冲形成,电平转换得到TTL电平的直径数字信号,再由接口电路馈入计算机完成信号检测。

1. 摄象机光学镜头的选择与相交行数的计算

在系统实际使用中,摄象机与单晶固液交界面的距离约为600毫米,被测光环直径约为40毫米,要求40毫米光环占图象垂直方向的三分之二,摄象管标准扫描尺寸为 12.7×9.5 毫米²,在这样的条件下选择光学镜头。

光学镜头的物距、象高、物高与镜头焦距的关系如下式:

$$G = \frac{F}{S} h \quad (1)$$

式中: G 为象高; S 为物距; h 为物高; F 为焦距由(1)式可求出下:

若知 $G = 9.5 \text{ mm} \times 2/3 = 6.33 \text{ mm}$; $S = 600 \text{ mm}$; $h = 40 \text{ mm}$; 则 $F = GS/h = 94.95 \text{ mm}$ 与 GDS-100 镜头的参数 $F = 99.51 \text{ mm}$ 的数据是相近的。

根据 GDS-100 的参数可知 $D/F = 1:2.8$; 有效成象面积 $\phi = 16 \text{ mm}$, 物距为 1m 至无穷远; 空间分辨率优于 600 线/mm。在物距小于 1m 时无法在原定的空间平面上成象,必须加近摄接圈或近摄镜片,在本系统中加了一只近摄接圈使之成象。

垂直线段相交行数的计算:

标准扫描制式规定,垂直扫描一场的时间(1/2帧)是 20 mS, 其中逆程为 1.6 mS, 正程为 18.4 mS。每行(水平扫描)扫描时间全程为 64 μ S。因而垂直线段相交行数是该线段

在场信号中所占时间对行扫描时间的比值

$$h_s = \frac{t_V}{H} \quad (2)$$

式中: h_s 为相交行数; t_V 为场信号中线段所占时间; H 为行扫描全程时间.

垂直方向一定长度的成象线段在场信号中所占时间, 在用一英寸摄象管而且成象线段等于或小于 9.5 mm 时的关系式为

$$t_V = V_i \cdot G_V \cdot \frac{1}{9.5} \quad (3)$$

式中: V_i 为场扫描正程时间; G_V 为垂直象高.

式(3)中的第二项可由(1)式求得, 将(1)式代入(3)式第二项即可得到被摄物体与场信号所占时间的关系式

$$t_V = V_i \cdot \frac{F}{S} h \cdot \frac{1}{9.5} \quad (4)$$

将式(2)中的 t_V 由(4)式代入则可得到被摄物体与相交行数的关系式:

$$h_s = \frac{V_i \cdot \frac{F}{S} h \cdot \frac{1}{9.5}}{H} \quad (5)$$

通过(5)式的运算, 即可求出确定条件下的相交行数, 我们实际应用的系统中相交行数为:

$$h_s = \frac{18.4\text{mS} \times \frac{100}{600} 40 \times \frac{1}{9.5}}{64\mu\text{S}} = 201.7 \text{ 行}$$

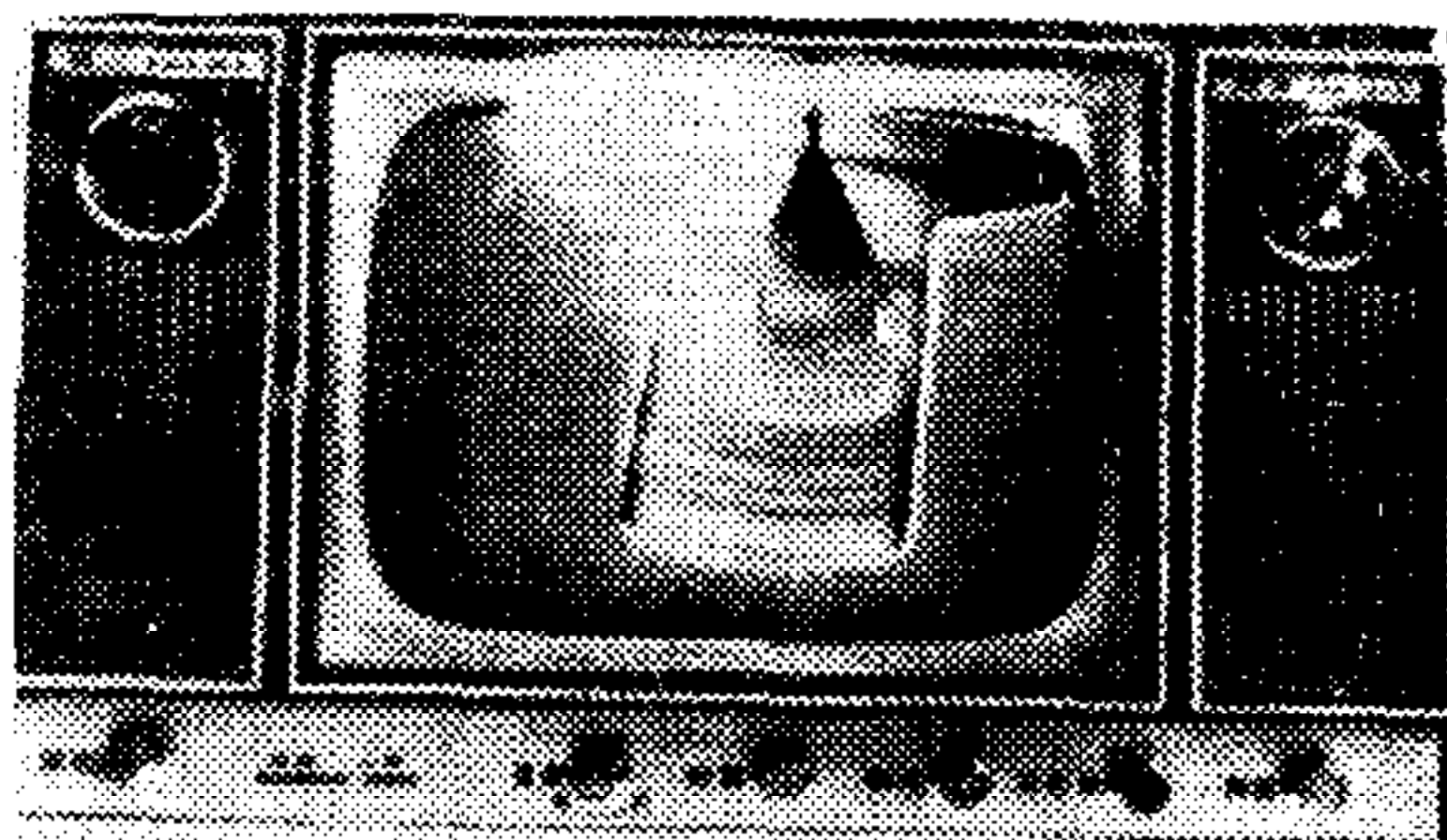
这与实际所测数据基本相符.

2. 电视摄象机

电视摄象机, 应用上海玩具九厂出品的 SJX-107 型, 经改装调试而成, 送入场行同步信号, 使之与晶体振荡同步机的场行信号同步工作, 改装后的机器性能有了较大的改善, 主要指标如下: 水平清晰度 ≥ 450 线; 垂直清晰度 ≥ 500 线; 灰度 ≥ 6 级; 输出全信号 $\geq 1 V_{p-p}$.

电视摄象机按装在单晶炉上观察孔上方(见照片 3), 由三根同轴电缆及一根九芯电缆与信号处理控制盒相连, 摄象机的全部操作在控制盒进行, 控制盒与接口电路电子计算机等按装在一起.

3. 电子窗口信号的形成



照片 3 电视摄象机按装情况

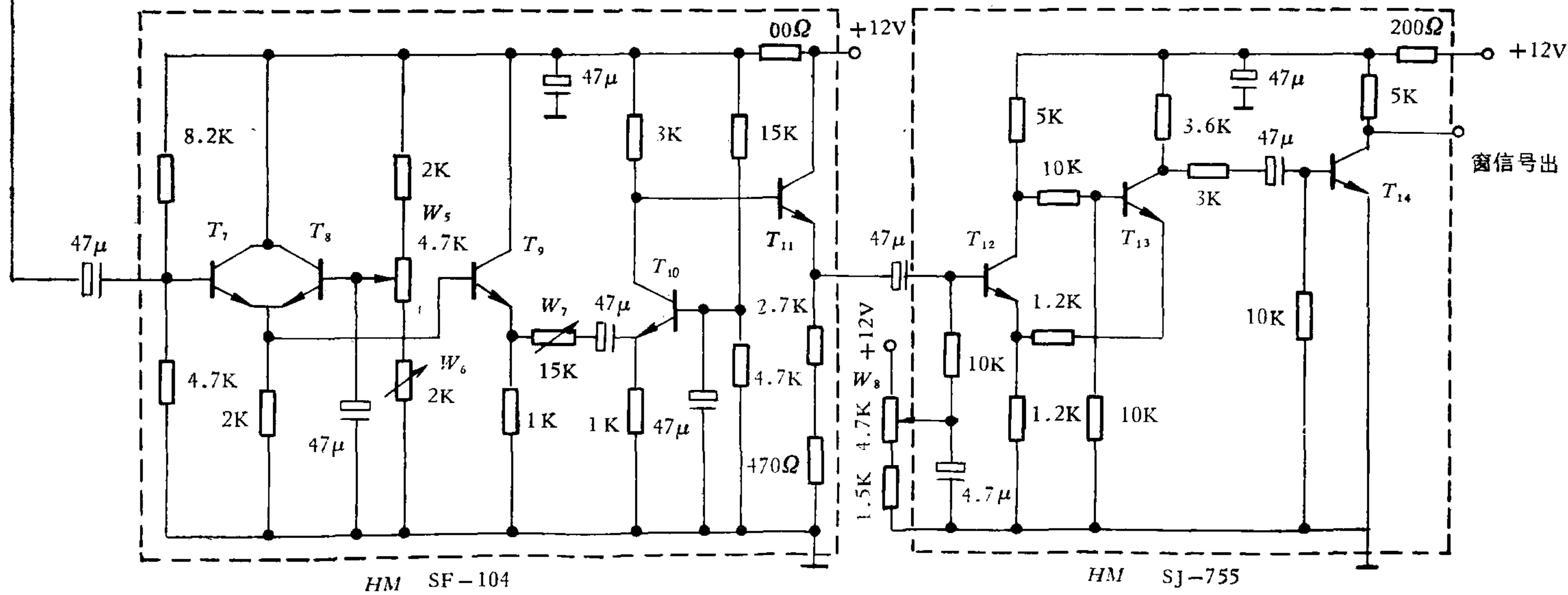
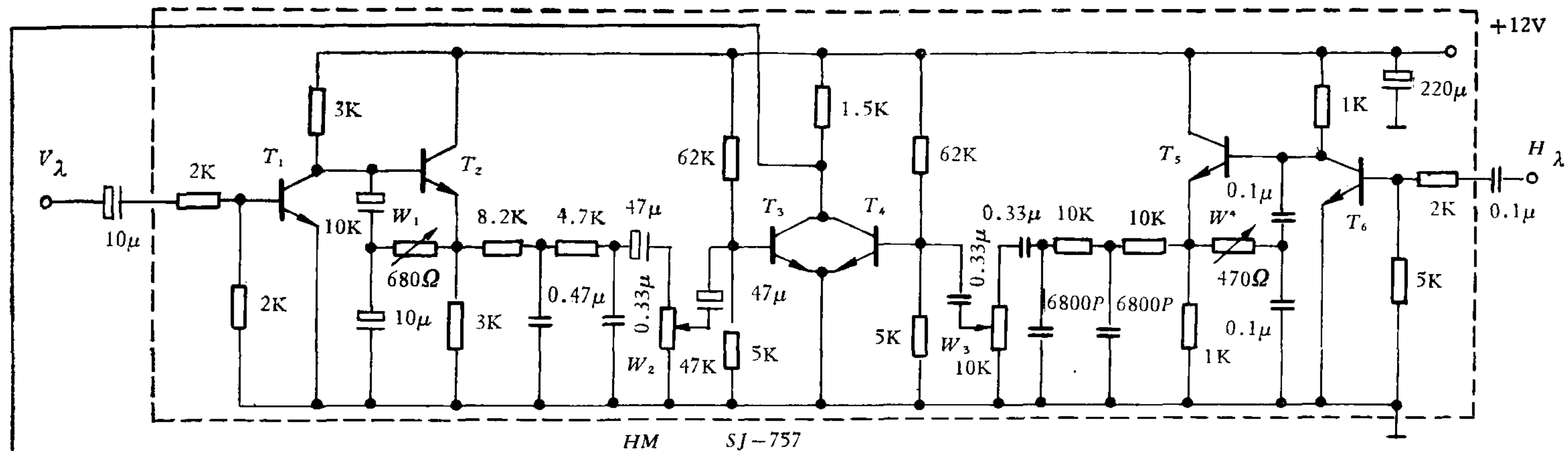


图2 电子窗信号形成电原理图

由照片 2 可见,电视图象中除光环外还有坩埚、回流线等各种光干扰存在,电子窗的任务就是排除这些干扰,完成区域取出。

电子窗的形状应与单晶光环相似,但略大于光环,窗口信号形成电路如图 2 所示,它由场行抛物波形成、复合放大、鉴别整形三部分组成。场行推动信号分别至 T_1 、 T_6 基极输入,使之在脉冲到达时导通,低电平时截止, T_1 、 T_6 集电极的积分电路形成锯齿波,经 T_2 、 T_5 输出,分别经二次积分形成抛物波, W_1 与 W_4 为场行锯齿波线性校正电位器,这部分波形示于图 3 中

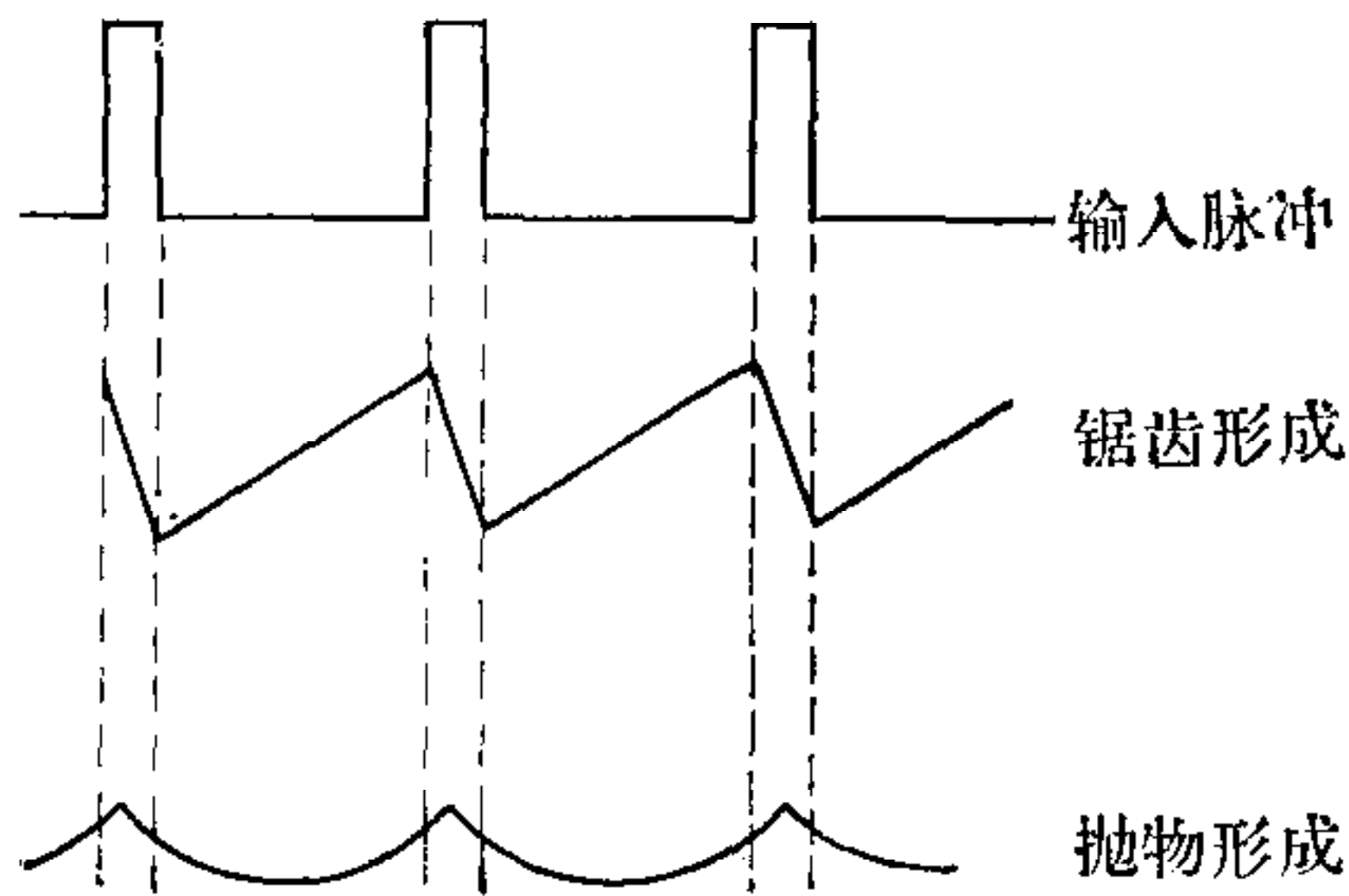


图 3 抛物波形成关系图

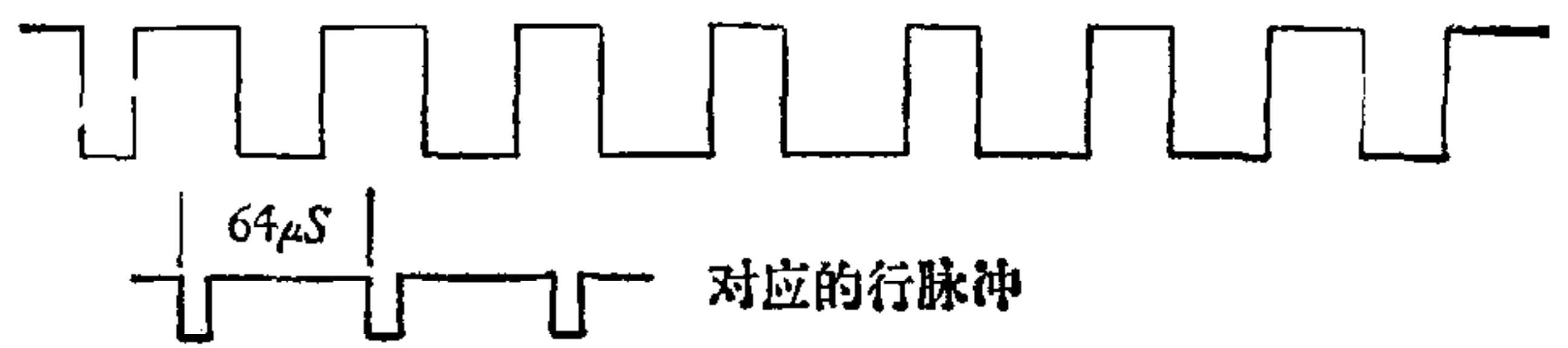


图 4 电子窗信号示意图

T_3 、 T_4 为复合形成电路, W_2 、 W_3 分别调节场行抛物波的幅度,以构成垂直与水平成一定比例的圆窗, T_7 - T_{11} 组成复合信号放大器, W_5 、 W_6 是电子窗口面积的粗调与细调, T_{12} 、 T_{13} 组成鉴别整形电路, W_8 调节鉴别点,复合抛物波经鉴别电路后,形成以行周期为时间间隔的不同宽度的脉冲串,该信号经 T_{14} 倒相输出,图 4 为电子窗信号示意图。

4. 视频信号的处理(信息提取)

视频信号的处理,一方面利用上述电子窗信号进行区域取出,达到消除光干扰的目的,另一方面进行幅度截取,取出所需的光环直径信号使之成为数字量。

视频信号由摄象机输出,信号中包括背景信号与单晶直径信号如图 5(a),为了消除背景光干扰取出直径信号,经电子窗处理后的视频信号如图 5(b)所示,将此信号展宽观

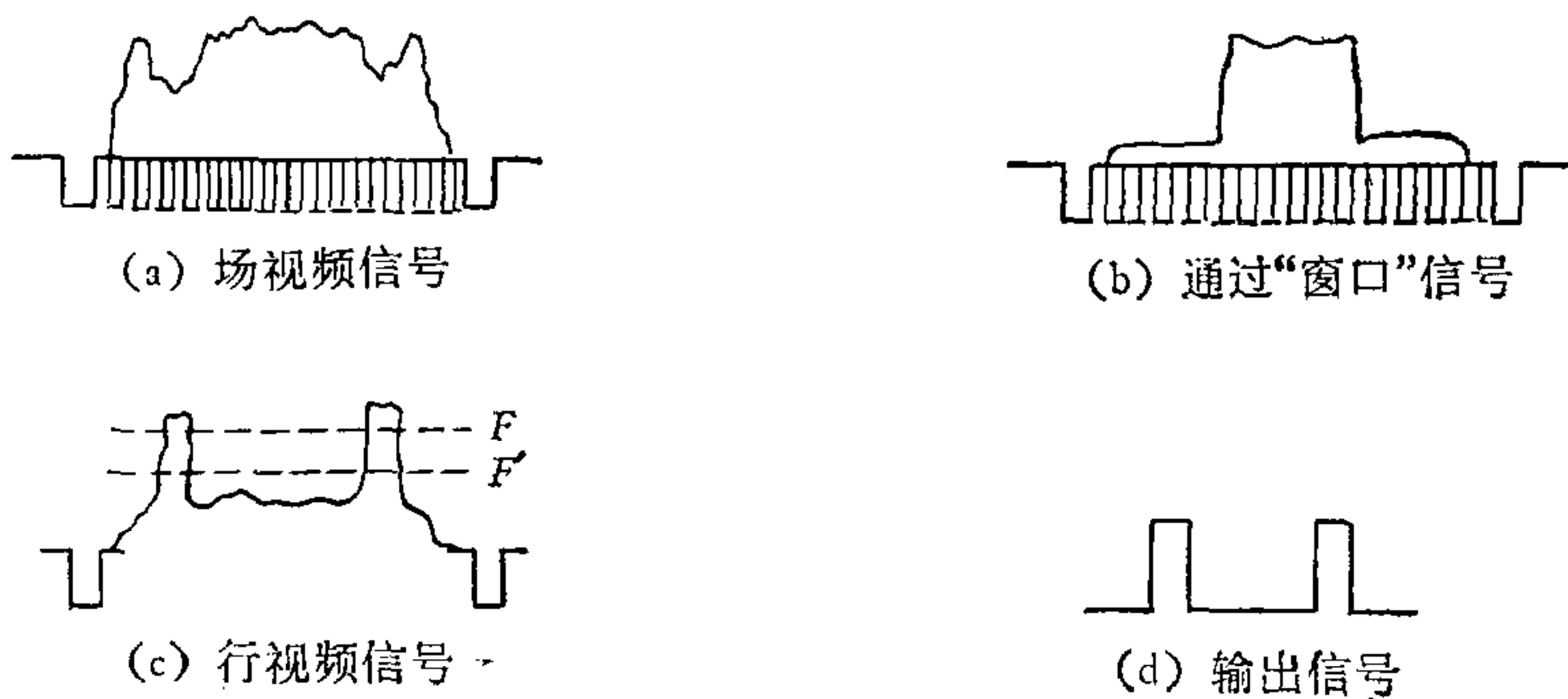
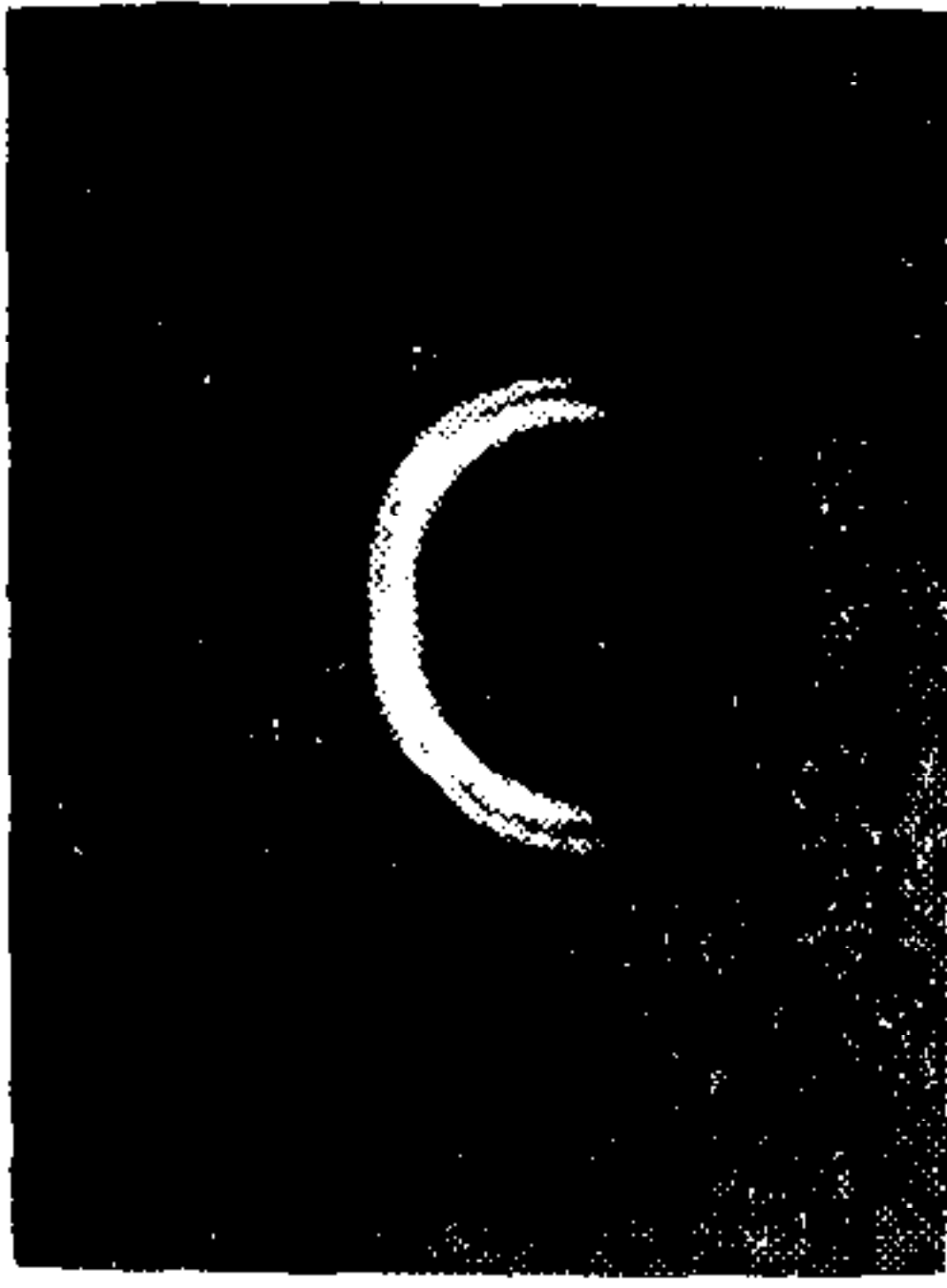


图 5 信息提取示意图

察一行则如图 5(c),将图 5(c)中 $F-F'$ 信号取出放大成为图 5(d)。这样消除了亮度与底色的干扰照片 4 是电视屏中观察到的干扰消除后的光环信号。



照片 4 干扰消除后的光环信号

在上述信号处理的基础上,再经一组单稳态电路形成单脉冲经电平转换输出。直径信号以 TTL 电平串行送入接口电路,经接口电路计数并行送入计算机,完成单晶直径参数的测量。

5. 电视同步线路

同步线路由石英晶体振荡器与数字电路组成,输出行场信号(行周期 $64 \mu\text{s}$ 、场周期 20ms),其稳定性在常温下优于 5×10^{-6} 。

本系统与电源隔离。

三、数据的处理

在拉晶过程中,为了防止砷的逸出,在熔体上需覆盖一层液封剂——氧化硼。但在固液交界面处不可避免地有少量砷逸出,致使在氧化硼层中不断地随机产生一系列“泡泡”,虽经测量电视中电子窗处理,但紧贴在固-液交界面光环处的“泡泡”依然存在。这些“泡泡”的存在,给测量带来了很大的困难,由图 8 可知,真实的单晶直径值完全湮没在“泡泡”的噪声之中,故需要设计一套有效的数据处理方法,取出接近实际的直径信息,供线性最优估计和最优反馈计算,以实现最优控制。

1. 实验观察

此光环即代表相应直径大小,所谓测量就是对光环的测量,经实验仔细观察,这些“泡泡”有如下一些规律:

a. “泡泡”的直径在 $1-1.5 \text{mm}$ 间,在大多数情况下,当晶体直径足够大时(约大于 15mm),随着晶体的转动,“泡泡”跟着“光环”转动,若晶体转速为每 3.5 秒一周,则“泡泡”转速约为每 2 秒一圈。

b. 如图 10 所示,当“泡泡”转至图中虚线 A 之上端或虚线 B 之下端时,均使直径数据偏大,其范围从几个脉冲到十几个脉冲不等。

c. 在少数情况下,可能产生一些“黑泡泡”如图 11 所示,它将使光环略为变小,造成直径数据偏低。

d. 在极少数情况下,“泡泡”还可能停留在 A 线之上或 B 线之下达 $1-2$ 分钟之久,致使直径数据在此期间全部偏大。

2. 数据处理

在等径控制时,拉晶程序如图 7 所示,其时序分配如下:前 4 秒进行“巡回采样”、排队”,紧接 4 秒进行“挑选”、“打字”,后 4 秒取“均值”,每 12 秒一个轮回,五个轮回即每隔一分钟进行“比较”和“数模处理”一次,这就是我们进行数据处理的全貌,现对每一处理环节简述如下:

a. 预处理:每隔 12 秒进行“巡回采样”一次,在巡回采样时间间隔 3 秒内,以每次采样需 120ms 计,可连续采 24 次样称为一采样组。这样晶体每转一次 3.5 秒内几乎每种“泡泡”位置的状态都已取到。如前所述,这 24 个数据组里必定混有“坏值”(即实验观察情况 b 及 c),由于“泡泡”的产生十分频繁,即将每采样组中的 24 个测得的数据,按数据

的大小排列: $Q_1 \geq Q_2 \geq Q_3 \geq \dots \geq Q_{23} \geq Q_{24}$

简称此为“排队”, 实现排队的程序见图 6. 这样对节 1 中情况 b 的“坏值”必排在队前, 而情况 c 的“坏值”必排在队尾, 而排在中间偏后的数据必为“泡泡”处于 A 线与 B 线间情况, 按测量原理, 这些“泡泡”并不计数, 可视为真实的直径数据, 称之为“置信”区间。

根据加权的定义, 我们仅对这一区间的数据给予信任, 即对这区间中数据给以“1”权, 而对其余部分的数据给予“0”权。

经大量的实测数据“排队”分析, 令置信区为 $Q_{15}—Q_{21}$ 是合理的. 则得直径的预处理结果为 ϕ : $\phi = \frac{1}{7} \sum_{i=15}^{21} \theta_i$. 这种剔除坏值方法, 简称为“挑选”。

b. 数字滤波: 由图 8 得知由“泡泡”所带来的噪声是属于高频噪声, 为了进一步消除噪声, 采用了由下式定义的循环低通数字滤波器: $y_n = (1 - \alpha)\phi_n + \alpha y_{n-1}$

其中 y_n 为数字滤波器的本次输出, y_{n-1} 为上一次输出, ϕ_n 为数字滤波器的输入, α 为滤波系数。

为了更好地平滑数据, 减少滞后性, 可适当选取采样时间 t , 使在 t 期间内进行 m 组连续采样 ($m = 5t$), 并得 m 个经预处理的直径数据: $\phi_{n_1}, \phi_{n_2}, \dots, \phi_{n_m}$, 就将 m 个数据的算术平均值作为数字滤波器的输入, 即

$$y_n = (1 - \alpha) \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \phi_{n_i} + \alpha y_{n-1}$$

在本系统中, 取 $t = 1$ 分钟(数模要求), $\alpha = \frac{2}{7}$, 则在每个采样时间内获得 5 个经预处理的直径数据, 即数字滤波的输出:

$$y_n = \left(1 - \frac{2}{7}\right) \left(\frac{\phi_{n_1} + \phi_{n_2} + \phi_{n_3} + \phi_{n_4} + \phi_{n_5}}{5}\right) + \frac{2}{7} y_{n-1}$$

从 α 的选取, 可见在处理数据时, 较重视本时刻的数据, 以减少滞后性, 上述滤波方法我们简称为“取均值”。

y_n 即为真实直径值, 它较仅经预处理的数据更真实地反映了真实直径, 结果可见下表:

	均值	根方差	最大值	得改进点%
原始数据 (θ_i)	1.50	5.8	22.3	/
预处理结果 (ϕ_{n_i})	-0.05	4.1	23.9	62%
滤波器结果 (y_n)	-0.02	1.5	7.8	77%

c. 最“坏值”的剔除

对节 1 中 d 情况虽属少数, 但仍可给控制带来失控的危险, 这就需用统计方法来处理, 即给定一个置信概率, 并确定一个置信限, 凡超过这个限的误差, 就认为超出了随机范围, 应予以剔除. 据实验结果, 不可能设想在 1—2 分钟内晶体突然增大 1 mm 以上, 故可取置信限为 7. 两次采样值之差大于或等于 7 时, 就应预剔除. 可将 y_{n-1} 代之以 y_n 以供控制使用. 这种方法简称为“比较”。

3. 实验结果

在人工拉晶时, 采用上述数据处理方法, 每隔 12 秒, 由打字机记录下一个值. 这样,

从放肩开始直至等径结束,得到直径数据的离散时间序列,将这些数据对时间作图得曲线 $y(t)$,并将晶体实样经投影放大后所得曲线也画在图中,以资比较.如图9所示,两者吻合得十分满意,证实了这种数据处理方法较为可靠,最大偏差在3—4个脉冲,平均在1—2脉冲之内,看来并不妨碍控制.

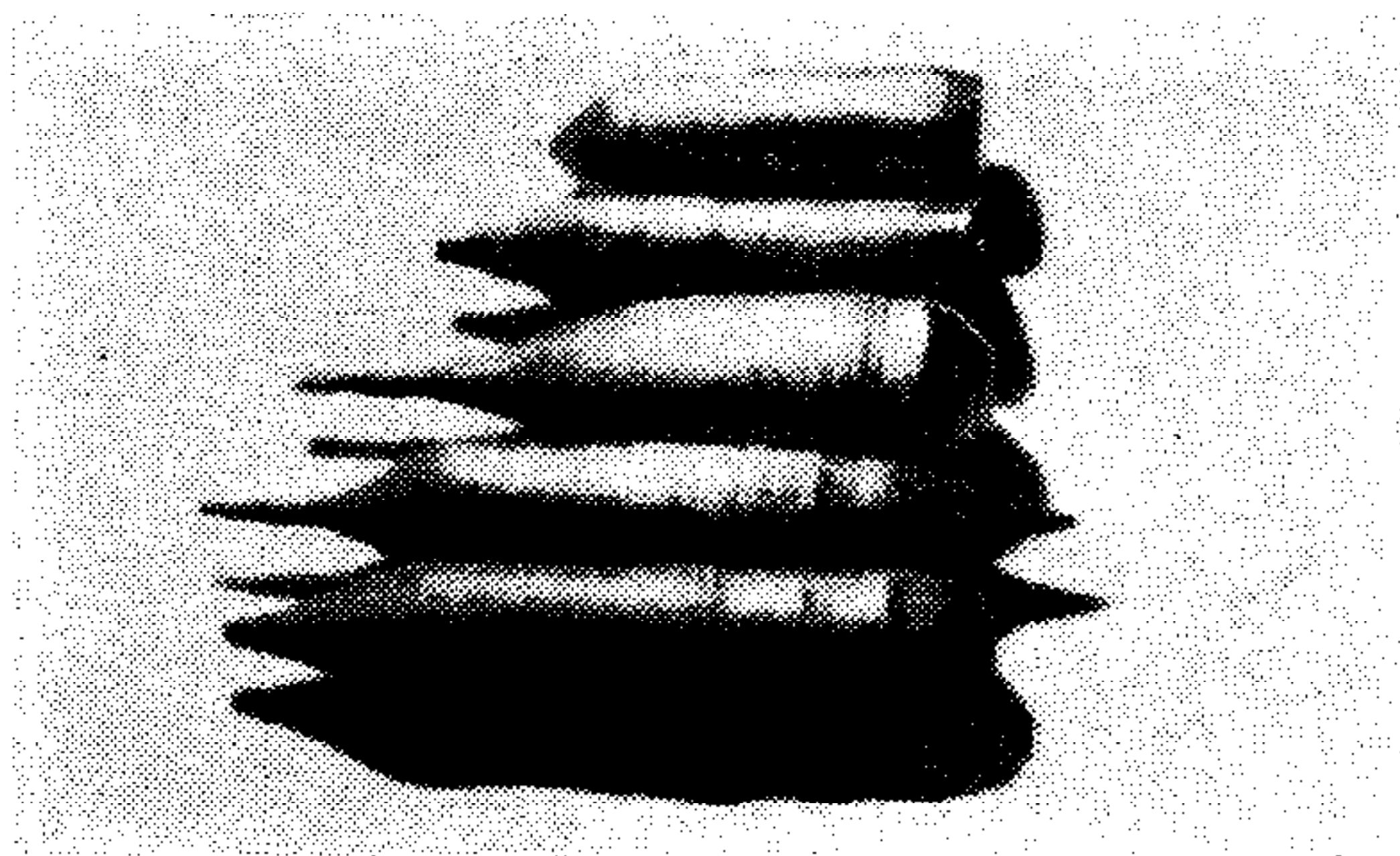
四、讨 论

(1) 用测量电视可在晶体生长过程中从放肩、等径、收尾均有可能进行测量,晶体的不规则形状由于采用定点采样均值方法,并不影响测量精度,拉晶时液面下降,也由于摄影机镜头的景深存在,也不影响测量.

(2) 测量电视能测出晶体直径 $\pm 1 \text{ mm}$ 变化,尚能满足控径要求,配合计算机控制,可得 $\phi 20$ 或 $\phi 25 \pm 1 \text{ mm}$ 等直径单晶(见照片5).

(3) 测量电视的应用在国内尚属首创.它的研制成功,可使工业电视从单纯观察变为测量工具,这对提高我国自动化程度作了一次有益的尝试.但由于我们初次试制,不免有所不足,有待今后进一步改进和完善.

(4) 由于氧化硼存在,直径真实信号湮没在“泡泡”干扰中采用了上述数据处理方法,



照片5 单晶样本

不免有所不足,有待今后进一步改进和完善.

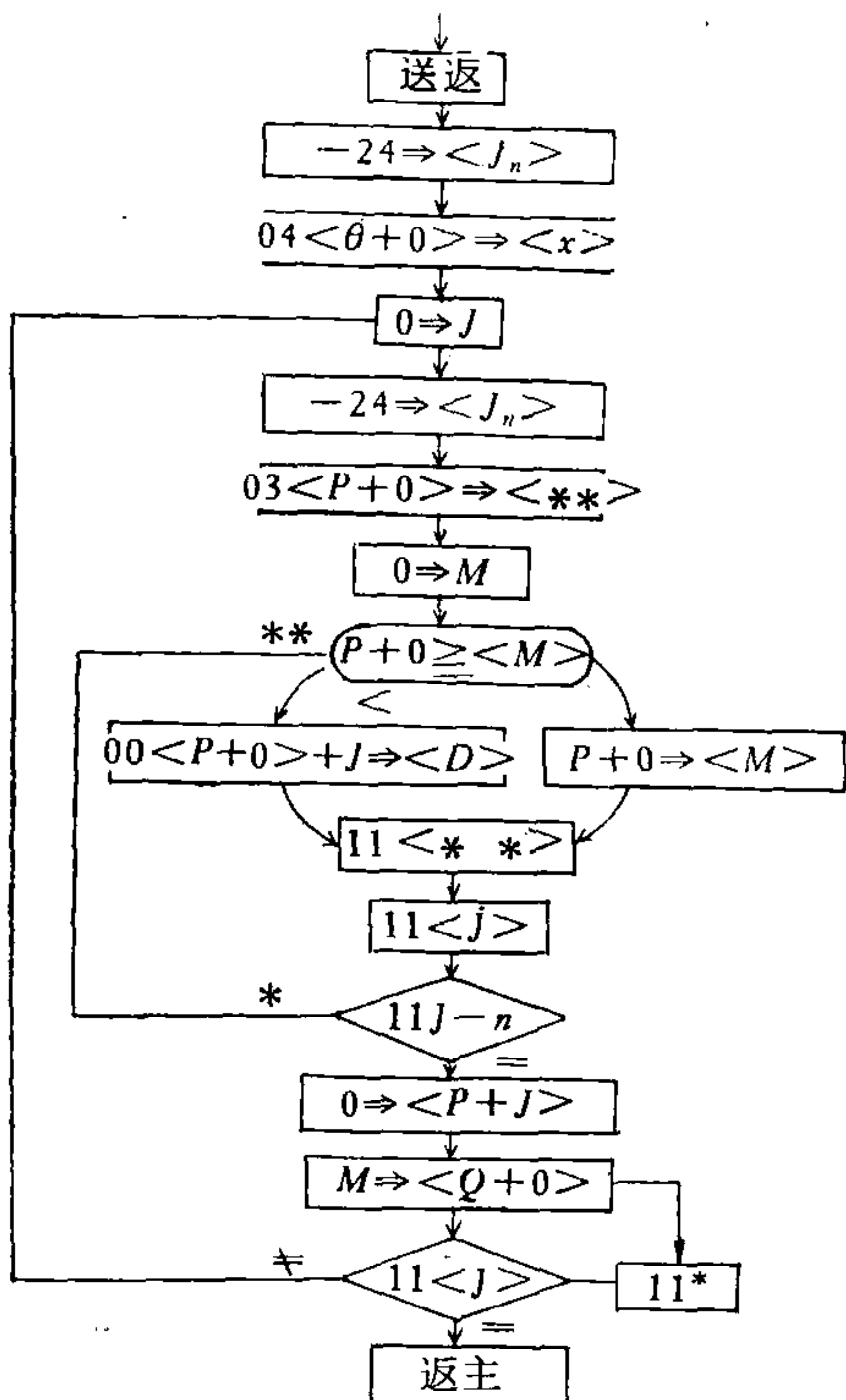


图6 排队程序

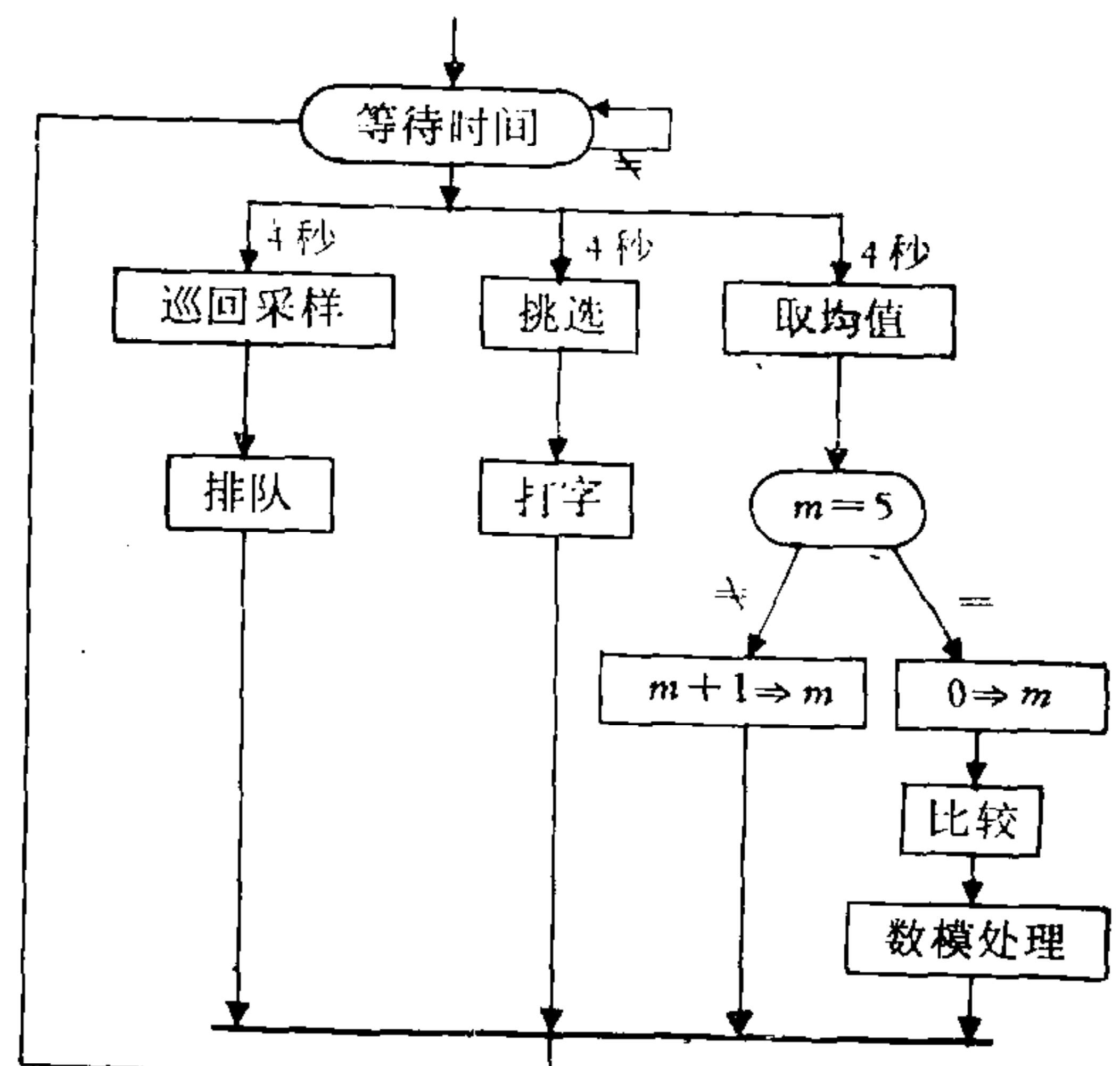


图7 等径时拉晶框图

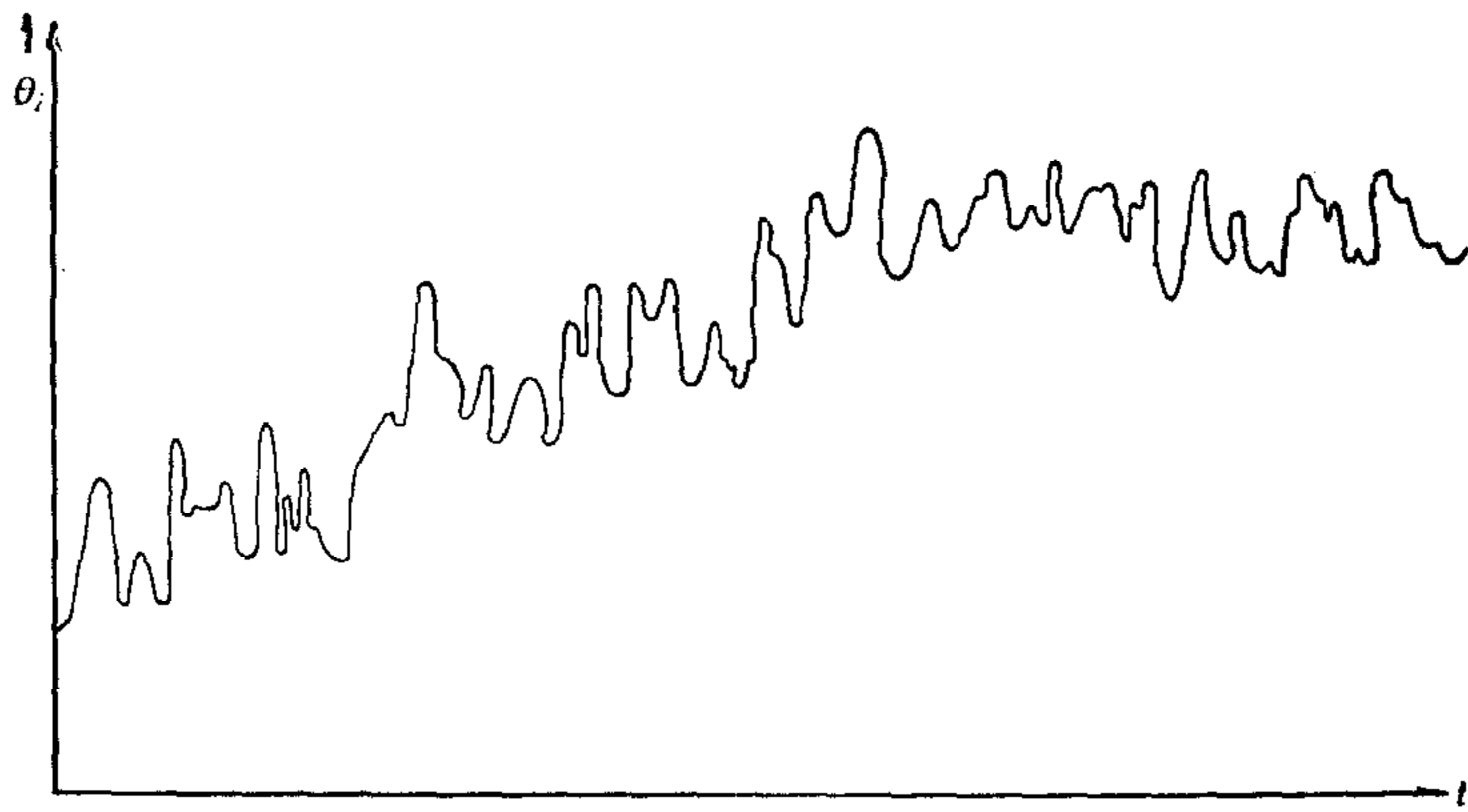


图 8 随机噪声图 ($t-\theta_i$ 图)

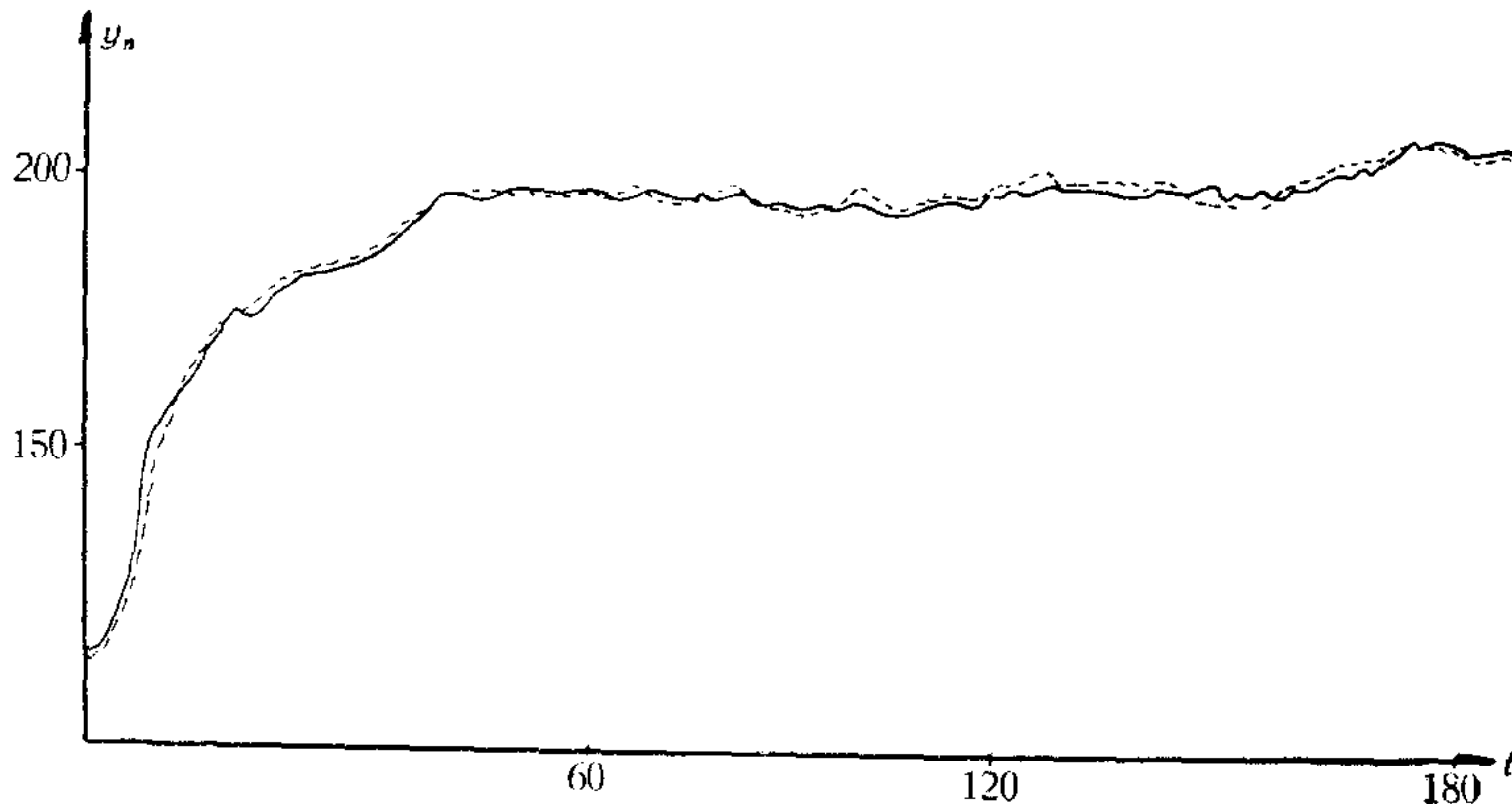


图 9 $t-y_n$ 图

----- 晶体管实样放大值 —— 采样值

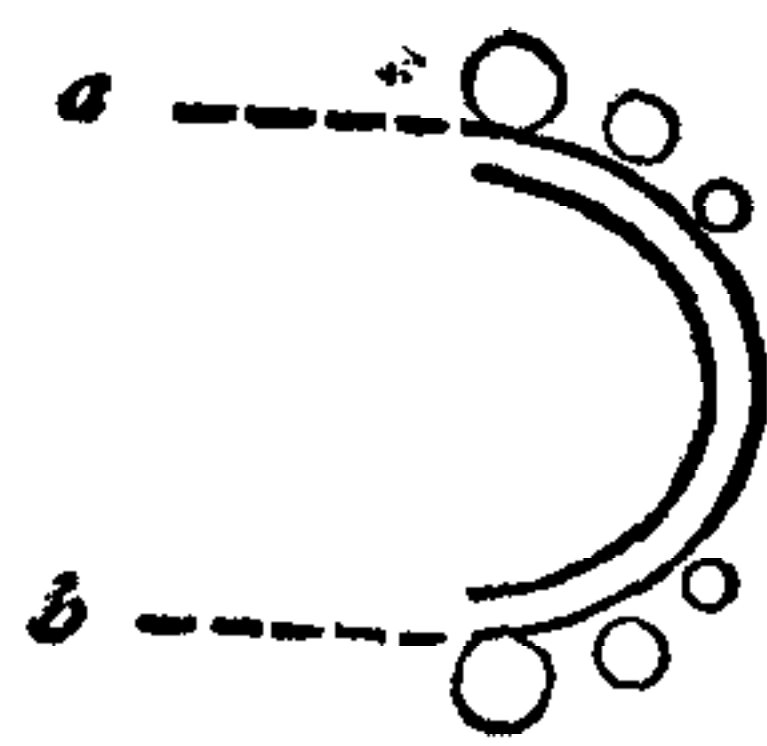


图 10 “泡泡”位置



图 11 “黑泡泡”

成功地取出了真实信号。对没有“泡泡”产生的硅单晶，测量精度尚可更高。

参 考 文 献

[1] H. E. Zinnes: *J. Crystal Growth*, 19, No. 3, June (1973), 187.
 [2] H. J. Ptzner: *Semiconductor Products and Solid State. Tech.*, 25, Oct. (1967).
 [3] J. Wolson: *J. Crystal Growth*, 13—14, No. 2, (1972), 425.

THE APPLICATION OF MEASURING TV IN THE COMPUTER-CONTROLLED GALLIUM ARSENIDE SINGLE CRYSTAL GROWTH

CHI ZHE-YANG YU GUO-DONG

(Shanghai 9th Toy Factory)

WANG TE-NING LI WEI-CHUAN CHANG KUO-CHENG HO LIANG-CHANG

(Shanghai Institute of metallurgy, Academia Sinica)

ABSTRACT

This paper discusses the application of measuring TV in a computer-controlled Gallium Arsenide single crystal growth. Detail discussions of the synchronization signal generator, the electronic window, the cutting of video signal levels, and the mathematical treatment of interferences in sampled signals are given. A discussion of the result of the use of the TV system is also discussed.