

用 中 为 洋

毛泽东

资料 1

精密温度控制译文集

一机部热工仪表科学研究所

一九七〇年十月

最 高 指 示

……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。

外国一切好经验，好的科学技术，我们都要吸收过来，为我们所用。拒绝向外国学习是不对的。当然，迷信外国认为外国的东西都是好的，也是不对的。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

目 录

精密温度控制的方法	1
半导体扩散炉的仪表装置(厂家谈)	12
半导体扩散炉的仪表装置(用户谈)	30
气体扩散炉的精密温度控制	42
扩散炉的温度分布测定	49
用固体闸流管对恒温槽进行两位自动控制	56
CQ-10 F型温度控制器	63
日制DD-300型扩散炉	83
超精密温度调节器	84
〔附录〕 可控硅及其应用	
固体闸流管的应用	86
固体闸流管及其有关器件	93
特殊的固体闸流管及其应用	101
目前固体闸流管技术的焦点	111

精密温度控制的方法

〈温度精密制御の手法〉

横河电机 泊川一之

《计装》1968. VOL. 11 No 5

1. 开头语

工业发展日新月异，对工业过程进行自动控制的要求也越来越高。本文仅以电加热炉的温度控制为例，说明其现状，存在的主要问题及其对策。

控制仪表首先是性能方面的要求，对稳定性、再现性、灵敏度及其他等技术指标要求都很严格。这种要求之高（比如 $1000^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ）简直是一般的过程控制不可相比的，因此必须对温度检测器、调节器、执行机构以及炉体本身作全面的，统筹的考虑，才能获得最佳的控制效果。

其次是经济方面的要求。按适当的方法用灵敏度高的仪表组成控制系统，这样即使是一般的仪表装置价格也是非常高的。只有综合考虑，设计出电加热炉专用的仪表，方有可能降低整个仪表装置的成本。

2. 控制系统的种类

以一般电加热炉的控制系统为例说明其特征。图1是最简单的，用一根电热丝进行控制的方法。所用调节器有多种，从初级的两位调节直到高级的PID调节，但精密控制是用PID调节。执行机构也有多种，如后面

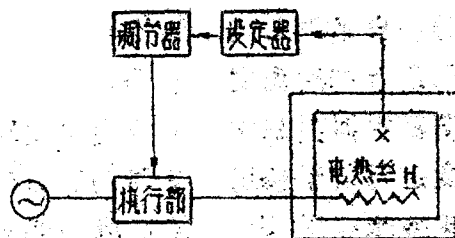


图1 电炉的控制例(1)

第6节所述，一般是从饱和电抗器直到 SCR（硅可控整流元件）。

图2是用两根电热丝控制的方法，以 H_1 加热为主， H_2 作若干修正。用这种方法加热，电热丝 H_2 的功率较小，因此执行机构的功率也就可以小些。另外对进行两位控制较有利，因为温度变化（即极限循环幅度）小。不过电热丝 H_1 和炉体的设计必须考虑到所用的温度，一般选择主加热电阻丝 H_1 是比较困难的。

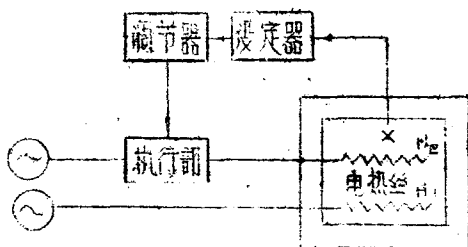


图2 电炉的控制例(2)

图3是用三根电热丝的情形，对于要求等温区长的炉子（比如半导体扩散炉等），用一根电热丝是不行的，需如图所示用三根电热丝，用三台调节器分别对三根电热丝进行调节。分别用热电偶检测炉中间和两头的温度，输出加给各自的调节器，设定器给出标准温度，各调

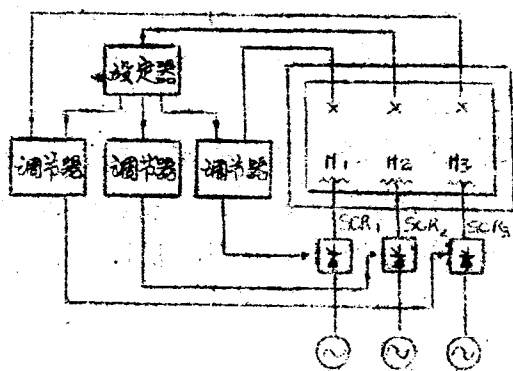


图3 电炉的控制例(3)

节器根据实际温度与给定温度的偏差控制电热丝的功率。为对两端温度进行若干修正，有时调节器内还有用于微调的温度设定器。执行机构多采取用 SCR 控制流通角的方式，关于这一点第4节还要提到。SCR 体积小，重量轻，只要有适当的保护和协调措施，就可获得很长的寿命和很高的可靠性。

3. 精密温度控制的条件 (表 1)

进行精密温度控制要求检测器、温度设定器和调节器的稳定性要好, 并且执行机构要有很高的可靠性。以下说明一些主要问题。

表 1 精密温度控制的条件

种类	丝 径 (毫米)	常用界限 (°C)	过热使用界限 (°C)
PR	0.5	1400	1600
CA	0.65	650	850
	1.00	750	950
IC	0.5	400	500
	1.00	450	550
CC	0.5	200	250
	1.00	250	300

3-1. 检测器

检测温度的方法有多种, 工业上实用的是测温电阻和热电偶。测温电阻随温度变化较大, 可得到较大的电信号, 但不能用于高温测量。热电偶虽然输出信号较小, 但铂热电偶 (PR) 等却能测量常见的 1400°C 左右的高温。

温度控制的效果包括两个方面, 即温度中心点的正确程度和对于该中心点的偏差大小。大体说来, 只要温度设定器和检测器正确, 是能够正确设定中心温度的。

现在温度设定器的稳定性基本上已经解决, 而热电偶却尚未解决, 因此可以说中心温度的正确性几乎完全取决于检测器的精度。

热电偶的热电势会随时间而变 (即有漂移), 造成漂移原因大致如下。

(1) 蒸发:

在高温下热电偶合金材料中的某种成分比其他成分更早蒸发出来, 这种合金成分的变化引起热电势漂移。

(2) 扩散：

热电偶内部不同的合金成分之间的互相扩散也会引起热电势的漂移，不过在热电偶很长，温度梯度小时影响不大。

(3) 氧化：

氧化的影响很大，热电偶导线束上氧化膜的厚薄严重地影响着热电势。

(4) 腐蚀和污染：

炉膛材料中的硫和铁成分会污染热电偶。另外，炉内空气中总是有硫和碳的，它们附着到热电偶的表面就会改变其成分。

铂铑-铂 (PR) 热电偶性质是比较稳定的，适用于高温和精密温度测量。镍铬-镍铝 (CA) 热电偶的热力势较大为一般情况下所常用，其缺点是有如图 4、图 5 所示的漂移，加热到 1000°C 时 300 小时后其热电势的增加约相当于温度变化 5.5°C 。减小漂移的方法是使用前先行加热 (老化)，如图 5 所示这样总的漂移会减小。

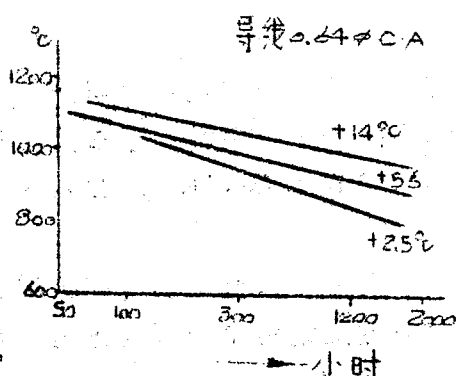


图 4 高温加热漂移
(C.A)

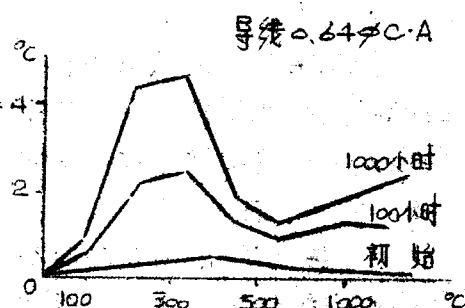


图 5 加热到 900°C 后
的漂移 (A.C)

3-2 冷接点补偿

这是用热电偶测温时所必须注意的。图 6 表示，如果热电偶的末端不是 0°C 而是 $t_1^{\circ}\text{C}$ ，那么输出电压 e_1 将不是与检测温度 $t_0^{\circ}\text{C}$ 相当的真正热电势。



图6 冷接点补偿电路

因此，应当人为地产生一个与 $t_1^\circ\text{C}$ 相当的电压，把它加到电压 e_1 上去。图6虚线内即为这部分电路，它是一个四臂皆为电阻的桥路，其中一臂的电阻 R_1 等由阻值随温度变化的材料制成（例如铜丝电阻），并使它与热电偶的末端处于相同的温度 $t_1^\circ\text{C}$ 。适当选择桥路常数，如果冷接点温度变化，桥路将失去平衡，AB间就将产生一个电压。只要使这个电压与由于冷接点处在 $t_1^\circ\text{C}$ （而不是 0°C ）所产生的误差电压相等，就能使总的输出变为与检测点温度 $t_0^\circ\text{C}$ 相当的电压 e_0 。用这种方法进行补偿，由于铜丝电阻温度系数和热电偶热电势的非线性等原因，当冷接点温度大幅度变化时将出现补偿误差。环境温度变化 $20 \pm 20^\circ\text{C}$ 时，补偿精度约为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。对于精密温度控制来说，这样的精度仍然是不行的，还必须使冷接点部分与电阻 R_1 连成一体保持恒温的温度，甚至要把它们放在恒温槽中以防止周围温度的影响。后面将要提到“XE-260系列”精密温度设定器的补偿精度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

3-3. 温度设定器的稳定性

图7是温度设定器的原理电路图。用电阻 R 和可变电阻 R_V 对直流电压 E_S 进行分压即可给出设定电压，但对精密设定器来说，这样仍有许多问题，即：（1）基准电压 E_S 的变化；（2）电阻 R 的变化；（3）可变电阻 R_V 的滑动部分的接触电势。

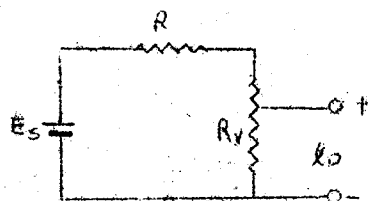


图7 温度设定器原理图

（1）基准电压 E_S 普遍采用稳压二极管来保证，不仅要采取 E_S 不随电源电压变化的电路结构，还必须对环境温度的变化也很稳定。使用以特性优良的二极管构成的温度补

偿型稳压二极管，可将 E_S 的变化抑制到 $0.002\%/^{\circ}\text{C}$ 左右。但尽管如此，当设定温度达到 1500°C 时，环境温度变化 10 度就会引起设定值变化 0.3°C 。这对用于半导体扩散炉的设定器来说还是不符合要求的，还必须把稳压二极管置于恒温槽内，以免除环境温度的影响。

(2) 电阻 R 一般用锰铜丝，但要用温度系数特别小（日本工业标准 AA 级），并且消除了机械形变能防止电阻值随时间变化的锰铜丝，还要求它粗而质地均匀以及无焊接接点等。

(3) 其次：可变电阻的滑动部分还会产生接触热电势，应当通过改善电路以消除其影响。图 8 为其一例，滑动部分通过电流 i ，输出电压为 $i \times r$ ，因此用稳流电源供给电流 i 就能消除上述弊病，并且还能使输出阻抗一定。

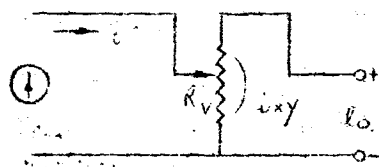


图 8 设定器电路图

3-4. 其他

用铂热电偶进行精密温度控制的缺点是其输出只有几微伏这么大。为此，必须十分注意不同金属的接点，以抑制热电势的变化，而且具有这种接点的热电偶本身就可能造成误差，也必须注意。图 9 表示用铜导线连接端子时所产生的热力势。这种热力势因端子结构而异，但也有一般的倾向。对于黄铜端子，当其表面和里面的温差为 10°C 时，约产生 50 微伏的热电势；铜端子性能较好，而工业上是采用镀金的铜端子，效果更好。

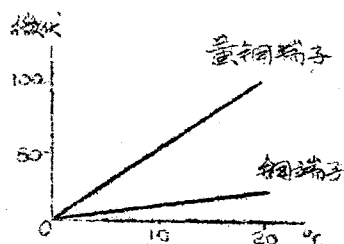
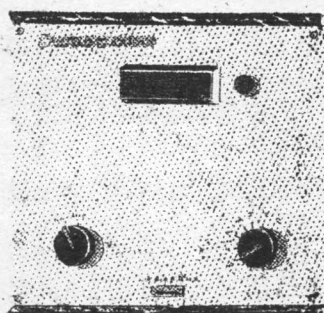


图 9 端子热电势

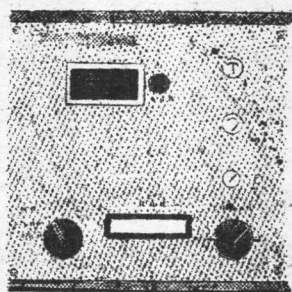
4. “XE-260 系列”精密设定器

照片 1 是 XE-269 型设定器，其特点是内有恒温槽以保证冷点补偿和输出电压的稳定性。温度设定是以毫伏单位进行的， $0 \sim 1$ 毫

伏连续可变，因而可使设定值作微细变化。具有使设定旋钮定位的机械结构，可防止设定值发生意外的变化。另外，设定器内无补偿引线，热电偶导线直接接到冷接点（恒温槽）。



XE-269 型精密设定器



XE-267 型调节器

5. “XE-260 系列”调节器

调节器按控制方式区别，从简单的两位调节直到高级的 PID 调节，精密温度控制用的是 PID 调节。调节器的输出由执行机构决定，有电流输出，也有策动 SCR 的脉冲输出。照片 2 是 XE-267 型调节器，其输出是脉冲，图 10 是它的原理图。对应于实际温度与设定温度之差的偏差电压 ε 由放大器放大。输出脉冲策动与负载串联的

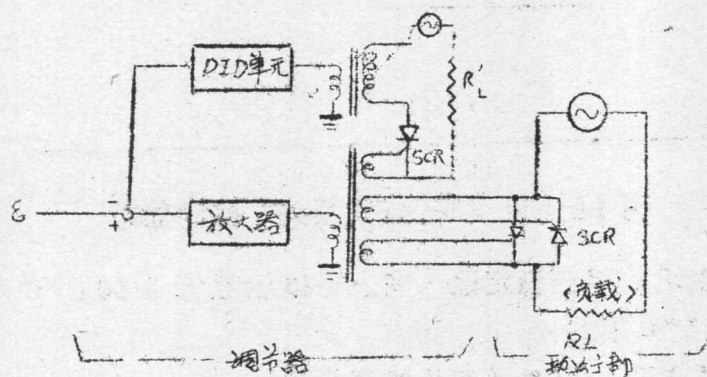


图 10 XE-267 型调节器原理图

SCR，通过控制 SCR 的导通角，控制负载电流的大小。脉冲输出的一部分又去策动调节器内部的反馈 SCR，由此来控制输入，让其平均电流通过 PID 单元。这样可以提高输入和输出的线性，低抗电源变动和外界噪声的干扰。

一般对电加热炉来说，高温时电热丝和热电偶之间的绝缘要显著变差，因此调节器本身的抗噪声特性必须很好。即热电偶前端对地的交流电位不断变动，产生所谓“共变干扰”，这基本上可以通过对变压器等进行完全的屏蔽以及合理布局得到解决。

图 11 是用“XE-260 系列”调节器对电加热炉进行控制的结果。对于通常刻度范围为 $0 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 的仪表，过渡响应看起来是符合设定值的，但放大一看就发觉还有波动的。调节器的灵敏度高达 0.1°C 。

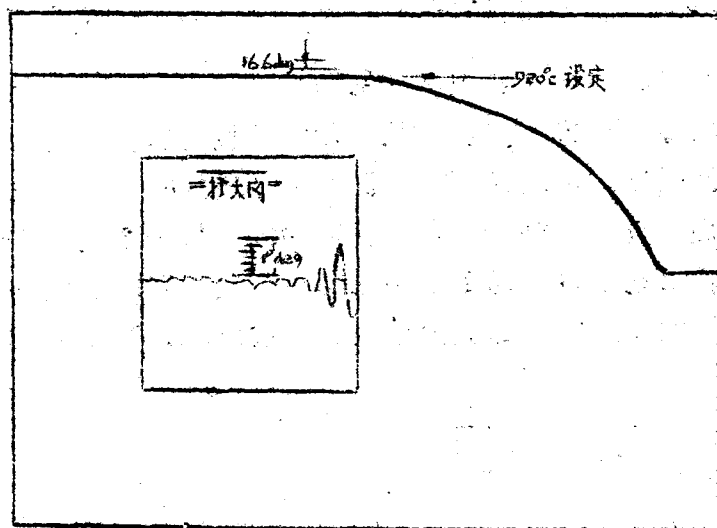


图 11 “XE-260 系列”控制效果

图 12 表示长时间稳定性，完全可以设定值 1200°C 为中心，控制在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内。

表 2 是“XE-260 系列”的规格。

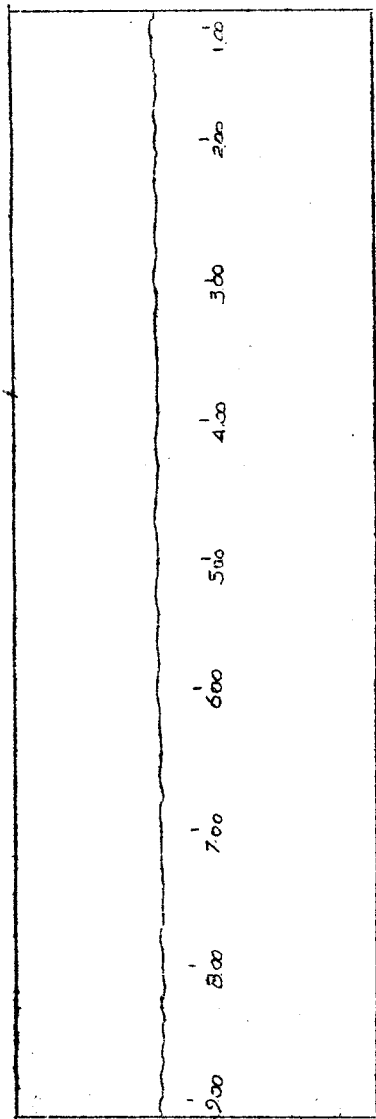


图 12 “XE-260 系列”控制的长时间稳定性

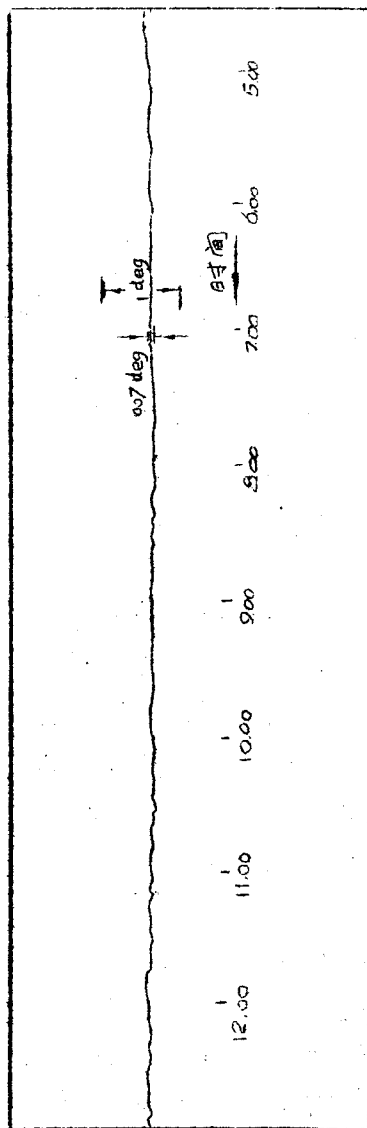


图 12 向右边延伸的继续

表2 “XE-260系列”规格

XE—267型调节器		XE—269型设定器	
型 名	XE-267 SCR 控制器	型 号	XE-269 设定器
输入信号	A型 毫伏	设定旋鈕	0 ~ 20 毫伏，
	B型 三线测温球		0 ~ 50 毫伏
	C型 热耦 (couple)	设定精度	± 10 微伏
调节动作	PID 连续控制	稳 定 性	换算成温度为 ± 0.1 °C
	P 5 ~ 100 %	热 电 偶	CA · PR · IC · CC
	I 0.5 ~ 20 分	冷接点补偿	恒温槽和铜电阻丝
调节输出	D 0.1 ~ 5 分	环境温度	10 ~ 50 °C
	2 组 SCR 门脉冲	消耗电力	约 20 伏安
偏差范围	± 100 微伏， ± 400 微伏		
报警接点	达到上述界限即接通		
手动调节	0 ~ 100% 连续可变		
噪 声	当输入与地之间加上 交流 200 伏，输入 变化 100 微伏		
消耗电力	约 5 伏安		

6. 执行机构

电加热炉的执行机构几乎都是继电器，饱和电抗器、SCR 等，进行精密温度控制时多采用以饱和电抗器或 SCR 控制流通角的 PID 连续控制方式。SCR 体积小，重量轻，适用于大功率控制，但缺点是其允许的最大过电流比其他元件小，故必须加添保护电路。也就是说，必须以能吸收浪涌电压的适当的耐压元件与 SCR 并联，而以对过电流能迅速断路的“快速熔断丝”与 SCR 串联。

使用 SCR 时必须注意的是负载问题，也就是关于冲流和电感负载的问题。电热丝低温时和高温时的阻值相差很大，对于这样的负载必须绝对避免在低温时使 SCR 完全导通，必须用适当的方法控制负载电流。对于电感负载，为了补偿发热体的老化，或限制负载的最大功率，是用 SCR 控制抽头切换型变压器初级边的电流。首先是在通电时绝对不要进行抽头切换动作，因为这样会产生反常电压损坏 SCR。另外为减小冲流，变压器的容量必须充分大，一般应使用容量的 $1.5 \sim 2$ 倍。

综上所述，虽然只要有稳定的电压设定器，正确的冷接点补偿装置（例如使用冰瓶之类）以及灵敏度高的前置放大器与以往的 PID 调节器组合使用，就可以进行精密温度控制，但这样整个控制系统的成本将是很可观的。从降低成本，便于维修方面考虑，还是以配用电加热炉专用的控制仪表装置为宜。

<厂家谈>

半导体扩散炉的仪表装置

<半导体扩散炉の计装>

国际电气(株) 佐佐木 新·清水 纯一

《计装》VOL 10. No 9 1967. 9

近年来,随着晶体管、二极管、固体闸流管、集成电路等各种半导体器件的不断发展,扩散炉在这些半导体器件制作中所起的作用越来越重要。

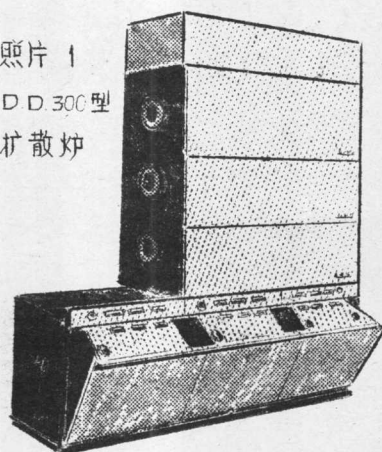
扩散炉的用途是进行表面氧化处理和杂质扩散,这对制作任何半导体器件都是必不可少的,它大大地影响着产品的产量和质量,因此各国、各厂家都在互相竞争着,努力发展性能更高的扩散炉。

炉内温度保持在 1250°C , 并要求温度稳定性和再现性达到 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 的扩散炉,从本质上讲其加热机构几乎都是电阻丝,即为电阻加热炉。因此为提高其性能,不仅应对炉体本身进行必要的热力学方面的研究,同时还应就其电气系统谋求更合理的设计。下面就从仪表装置的实际情况出发,阐述一下温度调节器,保护电路以及存在的若干问题。

照片 1

DD-300型

扩散炉



DD-300型扩散炉

1. 扩散炉的一般条件

欲以高效率生产质量均匀,可靠性高的半导体器件,对扩散炉的

要求是很严格的，它必须满足如下条件。

1-1. 炉内温度要稳定

在对半导体作热处理时，处理的程度是温度和时间函数，例如当表面浓度 C_0 一定时，杂质浓度 C 由下式决定：

$$C = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{X}{2\sqrt{D_0 e^{-E/KT} \cdot t}} \right) \right)$$

式中： erf 为误差函数； $D_0 e^{-E/KT}$ 为扩散常数； E 为激活能； K 为玻尔兹曼常数； T 为绝对温度； t 为时间； X 为离表面的深度。对杂质浓度的控制是决定半导体器件性能的重要因素。而进行热处理的时间 t 是比较好控制的，关键在于如何精密地控制温度 T 。因此可以说，提高温度稳定度是扩散炉的最重要条件之一。

1-2. 等温区要长

为了一次就能处理较多的试料，等温区必须长。如后所述，将电热丝分为三段分别对各段进行功率控制是加长等温区的一种方法。初期的扩散炉，等温区长约 200 毫米，而现在已有许多达到了 600 毫米。

1-3. 炉内温度的再现性要好

对于成批生产的厂家，由于对每批试料进行处理时，炉内温度变了，每次都要重新设定温度，这样不仅浪费时间，而且影响产品质量的均匀性，因此要求只需进行一次温度设定，就能在相当长的时间内，保证炉内该温度的再现。

1-4. 回复特性要快

随着高频晶体管以及集成电路的发展，现在已要求扩散层应非常浅，这就对控制仪表提出了更严格的要求。同前面提到的杂质浓度一样，扩散层的深度也是时间的函数，因此要求扩散层浅，当然就要求扩散时间短，这就要求插入试料后，炉内的热响应要快。也就是说，从试料插入到炉内回复到设定温度的时间（回复时间）必须短。

2 扩散炉的控制方式

扩散炉的温度控制一般按图1所示的方法进行，即将绕成螺旋形的电热丝抽出两个抽头，把它分成三段，分别用固体闸流管进行功率控制。温度检测器1、2、3装在电热丝附近，用温度调节器控制电热丝的功率，以使得温度检测器的输出一定。下面对控制机构的各部分作些阐述。

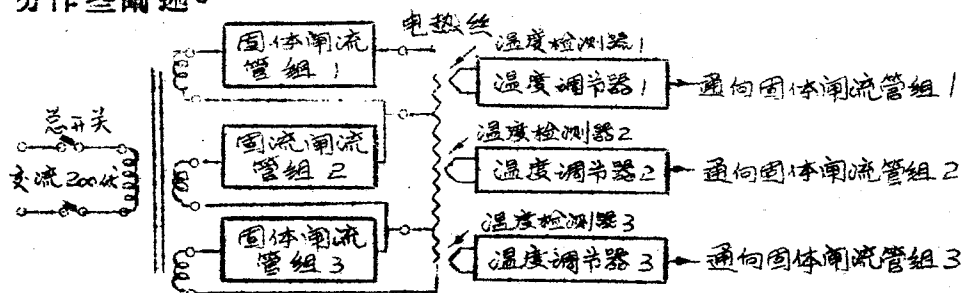


图1 扩散炉的温度控制

2-1. 三段控制及温度分布

如前所述等温区越长越好，为此对电热丝进行三段控制。如图2所示，当一定的电流通过均匀绕成的电热丝时，在电热丝的中间部分，热量仅沿电热丝长度方向的法向发散，因此温度分布是均匀的。而在两头，不仅无法向散热，还有切向散热，一部分热量散失炉外，炉内

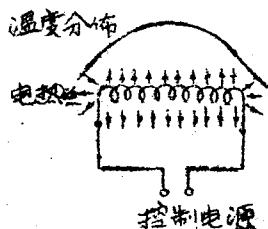


图2 使用均匀绕成的电热丝时的温度分布
(箭头表示散热方向)

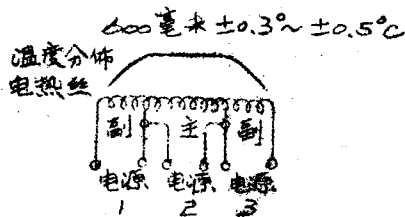


图3 三段控制方式