

长 λ 为尺子进行量测, He-Ne 激光 $\lambda = 0.6328\mu$ 。频率与波长的关系式为:

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

式中: λ ——波长; c ——光速; f ——频率。

毛主席教导我们:“事物发展的根本原因,不是在事物的外部而是在事物的内部,在于事物内部的矛盾性。”¹⁾

分析双频管自身的特性,我们发现:所谓双频管的频率稳定,就是把腔的谐振频率稳定在原子谱线中

心,它的表现形式是输出的左、右旋圆偏振光的光强相等。而激光腔的谐振频率又主要是受腔的长度制约。因此,我们采用加调制电压的铌酸锂晶体和一检偏器组成电光开关,用它来检测左右旋圆偏振光的光强变化,进而将其转换成交流电讯号,“反馈”控制压电陶瓷,实现腔长调节,达到频率稳定的目的。

样机稳频度达到 5×10^{-4} 。

1) 毛泽东,《矛盾论》,《毛泽东选集》一卷本,人民出版社,(1969),276。

用唯物辩证法分析单晶炉热场问题

——下厂实践总结

崔津申

(吉林大学半导体系材料专业二年级学员)

在批林批孔运动深入发展的大好形势下,在毛主席无产阶级教育路线指引下,我们走出学校到工厂去参加生产实践,接受工人阶级的再教育。两个月来无论在政治上和业务上都取得了一定的成绩。

我入学前是在电业局做调度工作的,对半导体材料的生产一点也不了解,拉制硅单晶的单晶炉连看都没有看过。在这次下厂期间,通过参加硅单晶生产实践,结合“半导体材料工艺学”这门课程的学习,在工人师傅的教育和帮助下,学到了关于硅单晶生产的一些知识并亲自动手进行操作,初步掌握了硅单晶生产工艺。在实践和学习的过程中努力学习和运用唯物辩证法作指导,分析生产实践中所遇到的问题,这对理解、掌握和运用所学的知识有极大的帮助。下面仅就单晶炉热场问题谈谈自己的学习体会。

一、抓住主要矛盾——热场问题的提出

在半导体器件的生产中,需要具有一定参数的硅、锗单晶体。为了拉制出符合要求的单晶,在生产实践中碰到的问题很多,例如:拉晶工艺、原料、热场、设备性能和稳定性等等。问题就是矛盾,矛盾是客观存在的,一切事物的发展过程中自始至终都存在着矛盾,没有不存在矛盾的事物。毛主席教导我们说:“研究任何过程,如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的话,就要用全力找出它的主要矛盾。”¹⁾拉晶过程中充满着这样或那样的矛盾,需要我们去解决,但什么是主要矛盾呢?在下厂拉晶实践中使我感到,比较突出的还是

热场问题。常常有这样情况,如果单晶炉内的热场设计、调整的比较合理,尽管原料等条件发生变化,仍然可以拉出符合要求的单晶。反之,如果炉子的热场不合理,则很难拉出符合要求的单晶来。根据晶体生长的一般原理我们知道,晶体生长的过程即成核和长大的过程,是与炉体温度分布密切有关的,温度分布对成核和长大都有重大的影响。通常我们所说的热场是指单晶炉加热器发出的热量经过系统的作用在炉体内形成的温度分布。单晶炉的热场除与加热器、保温系统等静态因素有关外,还与拉速、晶转、锅转等动态因素相关。热场是为制备单晶创造条件的,晶体生长必须用合理的热场来保证。因此,热场的好坏对单晶生长起着决定的作用,也就是当前直拉法制备单晶的关键所在。

显然,热场问题是制备单晶的主要矛盾。那么,在拉晶过程中,只有抓住这个矛盾,分析、认识它的特性,掌握客观规律,才能在矛盾的总体,矛盾的相互联系上把握事物的本质,进而不断解决矛盾,这对于我们拉制符合要求的单晶有着十分重要的意义。

二、分析、认识矛盾的特性——热场的合理性

矛盾是普遍存在的,但是各种事物的矛盾性质,却各不相同。任何矛盾各有其特点,不论研究何种矛盾

1) 毛泽东,《矛盾论》,《毛泽东选集》一卷本,人民出版社,(1969),297。

的特性必须遵照毛主席的教导：“都不能带主观随意性，必须对它们实行具体的分析，离开具体的分析，就不能认识任何矛盾的特性”¹⁾。我们讨论热场这个主要矛盾，也是要从客观实际出发，运用唯物主义观点，对于具体的事物作具体的分析，逐步认识热场的特性。

单晶炉热场的特性是什么呢？根据控制单晶的生产实践我们知道，对热场首先要求能顺利地生长出单晶。其次，在生长过程中保证晶体结构完整。就是说，对热场的要求必须合理，可见，合理性即为热场这个矛盾的特性了。

热场通常是用温度梯度来描述的。热场的合理性是指温度梯度应满足如下的条件：纵向温度梯度（包括熔体中纵向温度梯度和固体中纵向温度梯度）大些，径向温度梯度（包括熔体中径向温度梯度和固体中径向温度梯度）小些。

纵向温度梯度：由于晶体生长过程是熔态物质不断转换固态物质的过程，伴随着这一物质状态的转换要放出热能，即潜热的释放。为了使潜热能及时排走，从而能够维持固液交界面有一定的过冷度使晶体继续生长，因此，纵向温度梯度应该大些。而在熔体中有足够大的温度梯度则是为了防止新的晶核形成。

径向温度梯度：为了使晶体只在籽晶下固液交界面上成核长大，沿径向别处的温度高，不能形成新的结晶中心。所以，径向要有一定的温度梯度。另一方面，为了减少晶体内部的热应力，防止位错的生成与繁殖，径向温度梯度应该小些。

单晶炉热场是否合理，常常通过观察生长晶体的固液交界面的形状来判定。在正常的情况下，由于炉温分布和拉晶时晶体的散热情况的影响，晶体各部份的固液交界面形状是不一样的，如图1所示。一般说，在固液交界面处的热交换主要有三种： Q_1 ，熔硅凝

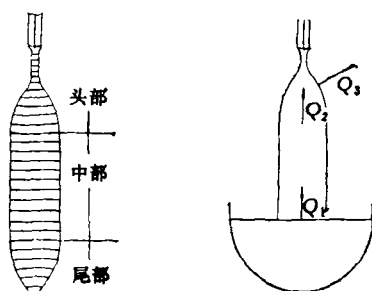


图1 晶体固液交界面的形状

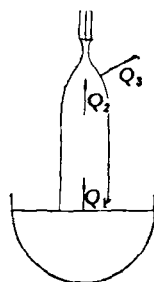


图2 固液交界面处的热交换

释放出的潜热， Q_1 ，通过晶体向上的热传导， Q_2 ，通过晶体向外的热辐射（如图2），当然还有其它的热交换，如熔体向坩埚轴的热传导，熔体表面的热辐射等，但在加热功率不改变时，直接影响固液交界面的形状及变化的主要还是以上三种热交换。在晶体头部，固液交

界面距水冷的籽晶轴较近，晶体内的温度梯度很大，此时晶体纵向热传导大于晶体的表面热辐射，使固液交界面凸向熔体；在晶体中部，其纵向热传导约等于表面的热辐射，这使固液交界面平直；在晶体尾部，其纵向热传导小于表面的热辐射，这使固液交界面凹向熔体。不平坦的固液交界面，使单晶在同一截面上生长不能同时进行，电学参数将不均匀，不符合要求。当然，这样的热场也就不合理了。那么，我们在生产实践中必须改进这种情况，促进矛盾的转化，尽量使固液交界面平坦。所以，固液交界面的变化情况，也就成了我们认识热场的合理性时应该注意的一个问题了。

我们看问题要从各方面去看，不能只从单方面看。讨论热场也同样要全面分析它的一切方面，考虑到一切可能，既考虑到好的可能，又要考虑到坏的可能。以上已经分析了热场的合理性应满足纵向温度梯度大些、径向温度梯度小些的条件。如果热场没有满足上述两个条件，那将会出现一些什么情况呢？纵向温度梯度过小，无法成晶，有时即使引出了单晶，但在长大时也会出现多晶线。纵向温度梯度过大，易成晶，但由于晶体拉出后，受到极大的热冲击，产生大量的晶体缺陷，不易拉出无位错单晶。径向温度梯度过小，容易造成坩埚边沿结晶，不好控制，有时液面大面积结晶甚至无法提拉。径向温度梯度过大，固液交界面不平坦，产生热应力，也容易使位错增加。这样全面看热场，充分地考虑好和坏两个可能（即合理和不合理的两个可能），有助于我们分析和解决矛盾，对热场的认识，才是符合客观事实的、正确的、生动的。毛主席指出：“一切对立的成份都是这样，因一定的条件，一面互相对立，一面又互相联结、互相贯通、互相渗透、互相依赖”²⁾，合理和不合理是对立的统一，它们是互相联系、互相依存的，而且又是在一定条件下互相转化的。没有不合理就谈不上合理，而且没有合理，也就无所谓不合理。它们各以对立的一方为存在的前提，共处于一个统一体中。分析、掌握矛盾转化的规律，积极创造转化的条件，也正是我们认识热场特性的关键。

对热场这个矛盾的分析认识，是基于生产实践，根据客观实际总结出来的，如果离开实践，主观臆造，凭空想象，当然就不能合于客观实际，经不起生产实践的考验，也必然在实践中失败。毛主席教导我们说：“一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。”³⁾生产实践不断发展，总是推动着人们

- 1) 毛泽东，《矛盾论》，《毛泽东选集》一卷本，人民出版社，（1969），292。
- 2) 毛泽东，《矛盾论》，《毛泽东选集》一卷本，人民出版社，（1966），302。
- 3) 毛泽东，《毛主席的五篇哲学著作》，人民出版社，（1970），227。

的认识不断前进。对热场的认识也不是固定不变的，不会总是停留在原来的水平上，随着反复的实践，我们的认识将逐渐地由浅入深，由片面到更多的方面，不断地提高。

三、正确解决矛盾—— 热场的调整

我们抓住主要矛盾，分析、认识它，其最终目的是要正确解决矛盾。因此，在我们初步了解热场的特性后，就要根据这样的特性，对症下药，找出具体解决矛盾的方法，即热场的调整。它主要包括两方面的内容：热系统的调整(调)和温度的控制(控)。

1. 热系统的调整

(1) 在有保温盖的保温系统中，加大盖板孔径或者去掉保温盖；若盖板孔径不动，提高保温罩的高度，都可以增大纵向温度梯度。

(2) 在无保温盖的保温系统中，增加保温罩的高度或提高整个保温系统的位置，都可以减少纵向温度梯度。

(3) 增加保温罩的层数，或在坩埚位置一定的情况下加热器的热点上移，都可以使径向温度梯度变小。

(4) 石墨坩埚的上沿与底部厚度之比，对径向温度梯度也有影响，厚度比越大，径向温度梯度越小。

2. 温度的控制

一般的是指在调整了合适的热系统之后，控制单晶生长过程中的温度，特别是几个重要操作，如引晶、放肩、收肩时的温度控制，它们对单晶生长及单晶质量有直接关系(当然，拉速对晶体生长也有影响)。

实际上，这种“调”和“控”并不是彼此孤立的。通过实践我们感到：热系统的调整正是为了更好地控制温度，它们之间是相互关联，相互制约的。“调”和“控”也决不能一半对一半，而应该根据具体的实际情况，以“调”为基础，调控结合。我们知道，生长晶体的固液交界面的形状可以作为鉴定热场合理与不合理的依据，它能反映实际的热分布。既反映了加热器、保温系统形成的静态热分布，也反映了拉速、转速等动态因素对热分布的影响。因此，我们无论“调”还是“控”都是为达到固液交界面平坦而下功夫。

我们正确解决矛盾，就是力求使热场从不合理转为合理。前面已讲过，不合理转化为合理是有一定条件的，这里所说的“一定条件”就是要我们充分发挥人的主观能动性，敢于实践，善于实践。调时设计合理、用心思索，控时深入细致、认真负责，正确地认识掌握热场的条件和规律，这样，才能把热场从不合理转化为合理。

那么，其它矛盾是不是重要呢？重要，但是我们“不能把过程中所有的矛盾平均看待，必须把它们区别为主要的和次要的两类，着重于捉住主要的矛盾”¹⁾。就热场和拉晶工艺来说，热场对拉晶工艺有决定作用，拉晶工艺影响着热场，而合理的拉晶工艺正是使一个合理的热场发挥作用达到制备单晶的目的。当然，主要矛盾和次要矛盾在一定情况下是能够相互转化的。我们抓主要矛盾，集中力量解决主要矛盾，但是并不等于可以忽视次要矛盾。主要矛盾和次要矛盾共同存在于事物的发展过程中，是互相联系的。在拉晶时一般情况下主要是因为热场的不合理而破坏单晶生长，但还可能因为拉晶工艺的不合理(比如一个新手操作)而破坏单晶生长，那么这时，拉晶工艺上升为主要矛盾，热场则降为次要矛盾了。这就要求我们在拉晶过程中注意分析重点和一般，分清主次关系，根据具体的实际情况，找出具体可行的办法，正确处理好既要抓住主要矛盾，也要解决次要矛盾的辩证关系。

目前，我们对热场的认识，以及热场的调整，仍然处在感性阶段，基本上凭经验取舍，还没有真正获得自由。必然和自由是对立的统一，自由就是对必然的认识和根据必然性对客观世界的改造。人们通过实践认识了事物的规律性，并且进一步在实践中利用客观规律改造世界，这时才有自由。理论上解决热场问题，并用以指导热系统的设计和调整，这是我们现在应该努力的目标。

热场的调整工作同任何工作一样，有它自身的规律。只要我们坚持辩证唯物主义，不断实践，认真总结经验教训，努力去认识和掌握它，才能获得工作的主动权，才能“有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”²⁾

1) 毛泽东，《矛盾论》，《毛泽东选集》一卷本，人民出版社，(1969)，297。

2) 转摘自《周恩来总理在第三届全国人民代表大会第一次会议上的政府工作报告》，一九六四年十二月三十一日《人民日报》。