

氦氖气体激光器 工艺原理

复旦大学光学工厂

1970.10.

——最高指示——

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。

要采用先进技术，必须发挥我国人民的聪明才智，大搞科学实验。

序 言

偉大領袖毛主席教導我們：“我們必須打破常規，盡量采用先進技術，在一個不太長的历史時期內，把我國建設成爲一個社會主義的現代化的強國。”激光器的製造和應用是60年代發展起來的新技術。它在軍事、工業生產等許多方面有着廣泛的運用，是我們保衛祖國建設祖國的有力武器。為了促進我國工農業生產的迅速發展，為了更有力地打擊帝修反，支援世界被壓迫人民的解放鬥爭，我們必須大力推廣和發展激光技術。在毛主席和黨中央的直接關懷和親切指示下，我國在六十年代初就開展了激光器的研製工作，取得了很大的成就。但是由於劉少奇反革命修正主義路線的干擾和破壞，使我國激光技術的發展，受到了嚴重的阻礙。

無產階級文化大革命的偉大勝利，爲我國激光技術的發展开辟了無限廣闊的前途。爬行主義、奴隸主義、神祕主義等等修正主義黑貨遭到了徹底的批判，在毛主席革命路線的光輝指引下，我國廣大工人羣衆的革命幹勁和創造能力得到了充分的發揮。近幾年來，我國激光技術得到了極其迅速的發展，一個大搞激光技術的羣衆運動，已經在全國逐步形成。那些過去被資產階級技術“權威”們吹噓得神祕莫測的什麼“高深的理論、苛刻的條件、精密的加工”等等嚇唬人的紙老虎被戳穿了！那些各種各樣的清規戒律，形形色式的洋框框、教條被沖破了！廣大革命羣衆在實踐中体会到激光並不神祕，只要我們按照毛主席的教導，把革命幹勁和科學態度結合起來，那麼“入門既不难，深造也是辦得到的，只要有心，只要善於學習罷了。”為了幫助同志們更快地學習和掌握激光技術，我們編寫了這份講義。

激光和其它技術一樣，有其特殊的矛盾性和規律性。毛主席教導我們要深刻領會個別和一般，個性和共性的關係。在本講義中，我們用解剖麻雀的方法，着重分析了氦氖氣體激光器的製造工藝和原理，以使大家對激光器的一般規律有所了解。

毛主席教導我們：“從戰爭學習戰爭——這是我們的主要方法。”只有親自參加激光器的生產實踐，我們才能對它的矛盾性和規律性有一個較深入的認識。這份講義只是作為我們參加生產實踐的輔助工具。

毛主席又教導我們：“抓着了世界的規律性的認識，必須把它再回到改造世界的實踐中去。”我們應該邊學習邊運用，對我們的工作不斷加以改進，這才是最有效的學習方法。

這份講義是由光學工廠的部分革命師生和玻工車間工人同志結合起來共同編寫的。由於我們學習毛澤東思想學得較差，從事激光器生產實踐也很少，因此講義中肯定有許多缺點和錯誤，懇切希望同志們加以批評指正。

目 录

第一部分 氦氖气体激光器的基本原理	1-1 — 1-11
第二部分 玻工技术	2-1 — 2-22
1. 玻工技术基本知识	2-1 — 2-7
2. 玻工技术基础	2-8 — 2-14
3. 玻璃排气系统的装接技术	2-14 — 2-17
4. 氦氖气体激光器的玻壳吹制	2-17 — 2-22
第三部分 反射镜的制备	3-1 — 3-62
1. 基本原理	3-1 — 3-18
2. 玻璃基板的加工	3-19 — 3-34
3. 镀膜工艺	3-35 — 3-62
第四部分 封装和充气	4-1 — 4-22
1. 封装工艺	4-1 — 4-13
2. 排气和充气	4-13 — 4-22
第五部分 真空技术	5-1 — 5-20

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

毛泽东

第 1 部分

氦氖气体激光器 基本原理

§ 1 什么是气体激光器。

激光器是一种特殊的光源。而气体激光器则是一种特殊的气体放电光源。

太阳是一种光源。电灯、日光灯、霓虹灯、氙灯也都是光源。太阳和电灯都是由于物体发热而产生光的，称为热辐射光源。而日光灯、霓虹灯、氙灯则是由于灯管中的气体在电场的作用下导电而发光的，称为气体放电光源。气体激光器也是由于气体放电而发光的，但它与一般的气体放电光源有着许多本质上的差异。

我们以氙灯为例来与氦氖气体激光器比较一下。氙灯这是我国工人阶级在毛主席革命路线指引下，在一无资料二无设备的条件下，自行设计制造的，大功率氙灯已成为车站、码头、广场等大面积照明用的理想光源。氙灯又称小太阳，这不仅是由于氙灯很亮，可以照亮很大的广场，而且它发出来的光和太阳光非常相似，包含有红、橙、黄、绿、青、兰、紫七色。而激光却只有一种颜色，而且非常之纯，这就是说激光的单色性很好。氙灯发出的光是向四面八方辐射的，因而当把氙灯挂在广场的上空时，就可以照亮整个广场。而激光却是在一个特定的方向上产生一束很细很强的光，这就是说激光光的方向性很好。所以我们可以把激光说成是光的能量高度地集中在一种颜色，一个方向上的特殊光源。

激光为什么与普通光源有这样大的差异呢？从外形上我们可以看到普通的气体放电光源如图（1-1）所示，而气体激光器则像图（1-2）所示的那样。

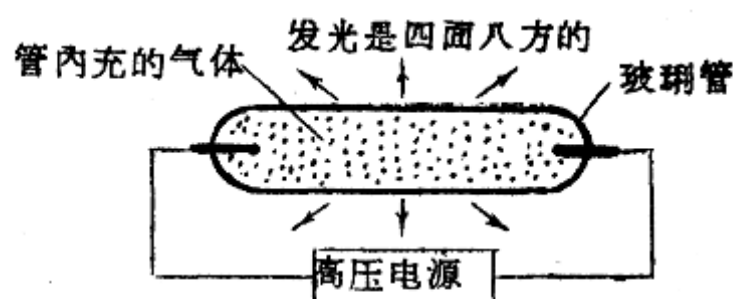


图 1-1 气体放电光源（简称电光源）示意图

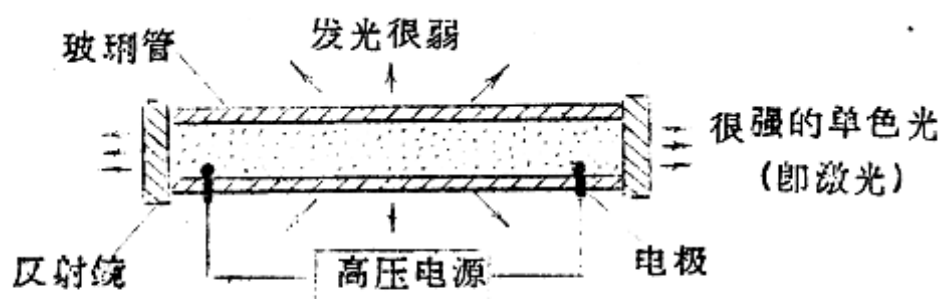


图 1-2 激光器示意图

从外表上看来它们之间的不同点，只是在于激光器的两端有两块相互平行又与放电管轴线垂直的反射镜。

伟大领袖毛主席教导我们说：“我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”

那么气体激光器与气体放电光源差异的实质是什么呢？这正是我们下面要认真讨论的问题。

§ 2 什么是光。

正如毛主席教导我们的：“马克思主义者认为人类社会的生产活动，是一步又一步地由低级向高级发展，因此，人们的认识，不论对于自然界方面，对于社会方面，也都是一步一步地由低级向高级发展，即由浅入深，由片面到更多的方面。”人们对光的认识也有着这样一个由浅入深的过程。在长期的生产活动中，人们认识到光是一种电磁波。它具有波动的特性。

对于波动现象我们在日常生活中是很熟悉的。把石块投到水池中激起一圈圈的水纹，这就是一种波动现象，称为水波。在农田里麦浪滚滚，也是一种波动现象。仔细观察一下我们可以看到就一株麦穗来说，它总是在作前后的摆动，而就整体而言却是麦浪滚滚地向前推进。麦浪、水波、光波它们虽然差别很大，但在波动这一点

上，却是一样的。波动就有波峰和波谷（见图 1-3）。

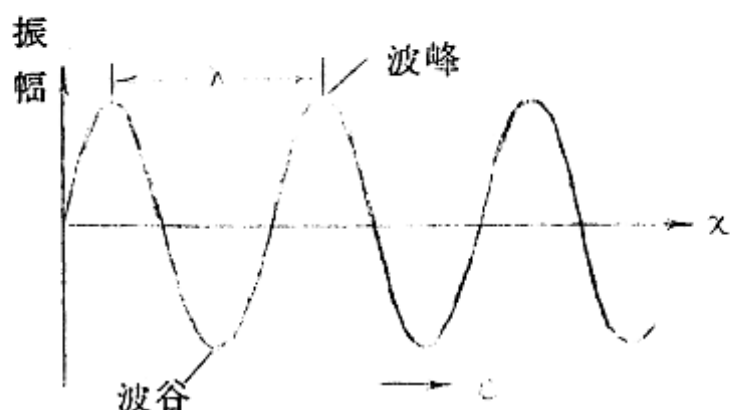


图 1-3 光的波动

这相当于麦浪的忽高忽低。两个波峰（或波谷）间的距离称为波长，记为 λ （读音：轮达）。而每秒钟在某一点出现波峰（或波谷）的次数称为频率，记为 ν （读音：扭）。这相当于麦穗每秒钟来回摆动的次数。我们看到麦穗每摆动一次麦浪就向前推进一个波长，波动的传播速度为 c ，因此

$$c = \lambda \cdot \nu \dots\dots\dots (1-1)$$

对于光波来说 c 就是光速，我们可以测出 $c = 300000$ 公里/秒，一般的无线电电磁波我们是听不到的。如上海人民广播电台发射的电磁波，频率为每秒 990 千周，波长是 303 米，在我们周围的空^音间到处都有，但我们却对它毫无感觉。而光波的波长只有 0.5 微米左右，它就能被我们的眼睛所看到，我们看到的光有着各种不同的颜色，这正是由于各种光的波长不同所引起的。我们看到的紫色光，波长是在 0.4 到 0.45 微米之间，黄绿色光的波长是 0.55 微米左右，红色光的波长则在 0.6 到 0.76 微米之间，氦氖气体激光器所发出的激光波长是 0.6328 微米，因此我们看到它是红色的。波长比 0.4 微米还要短的光，我们的眼睛就不能看到了，这种光称为紫外光。而波长比 0.76 微米更长的光我们的眼睛也看不到，这种光称为红外光。例如二氧化碳气体激光器所产生激光的波长是 10.6 微米，它是属于红外光的范围。

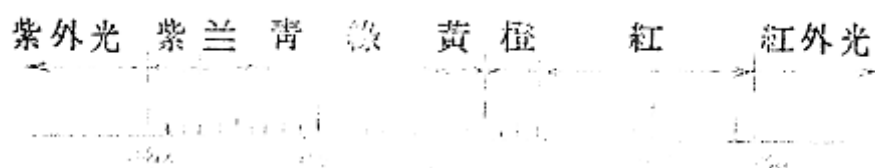


图 1-4

§ 3 气体放电是怎样发光的。

在气体放电管两个电极上加以高压电源，如图 1-5 所示，阴极就会发射电子，电子在电场的作用下运动越来越快，当电子与气体原子碰撞时，有的可把原子中的一个电子打出来，使原子变成正离子。有的可把能量交给原子，电子自己的运动就变慢了。而被碰的原子得到了能量以后，就从较低的能量状态 E_1 变成具有较高的能量状态 E_2 见图 1-6。原子处在 E_2 的状态称为激发态，这是不稳定的，它会自发地回到原来的状态 E_1 见图 1-7。在从 E_2 回到 E_1 的过程



图 1-5

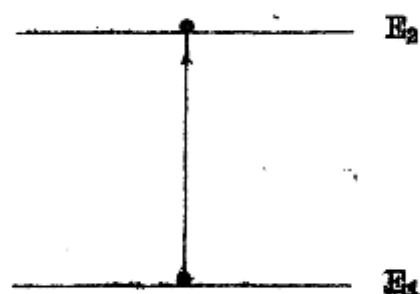


图 1-6

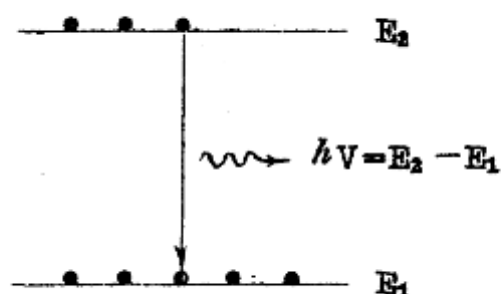


图 1-7 自发辐射

中原子就会以光的形式放出那一份多余的能量，所放出光的频率与 E_2 和 E_1 之差有如下关系：

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h} \dots\dots\dots (1-2)$$

这里 h 是常数 ($h = 6.624 \times 10^{-27}$ 尔格·秒) 这就是气体放电发

光的简单道理。原子从高能态自发地回到低能态而发光的过程就称为自发辐射。霓虹灯、汞灯、日光灯等光源就是由于自发辐射而发光的。

§ 4 发光的另一种方式。

气体放电除了自发辐射发光外，还有另外一种方式即受激辐射发光。当有一束光照到具有大量激发态原子的系统中，若这束光的频率 ν 与 $\frac{E_2 - E_1}{h}$ 很接近 ($E_2 - E_1$ 即为高能态和低能态间的能量差)。则处于激发态的原子就有可能受感应而回到低能态 E_1 发出一束光。这束光与入射光波动的步调一致、频率一致、方向一致一起向外传播，也就是相当于把入射光放大了见图 1-8。这样的发光过程称为受激辐射。

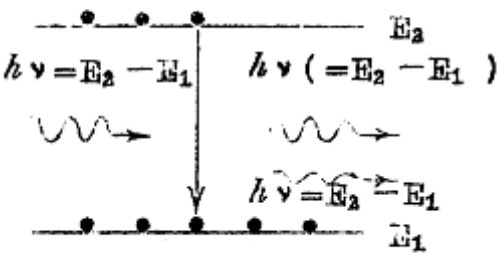


图 1-8 受激辐射

在一般情况下受激辐射的可能性是很小的，而主要是自发辐射，这就是一般的气体放电光源的情况。若能使受激辐射变成是主要的，这时所产生的光就成为激光。

§ 5 怎样的情况下才能产生激光。

当频率 $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ 的光入射时，既可能使处于激发态的原子产生受激辐射，同时也可能使处于低能态的原子吸收一份光的能量 $h\nu$ ，而由低能态跃迁到高能态去，这种情况称为光吸收，见图 (1-9)。显然只有当受激辐射大于光吸收时，才可能使入射光得到放大。

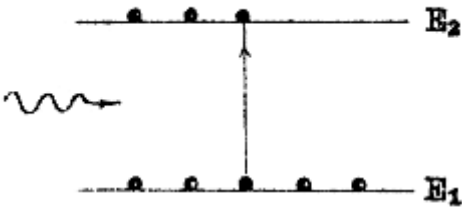


图 1-9 光吸收

设想有一个很长很长的

气体放电管，这根放电管中的工作物质（氦氖气体）具有放大性能。当有光照到工作物质上（这光既可能是外来的，也可能是自发辐射所产生的。）其中只有频率为 $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ 的光才可能得到放大，并且只有当这束光是沿着放电管轴线方向时，才可能像雪崩一样地越来越强，最后形成一束很强的激光射出。见图（1-10）

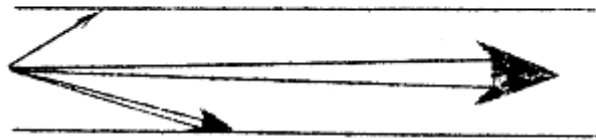


图 1-10

当然在自发辐射过程中，具有上述条件的光总是存在的，所以产生激光的关键是工作物质应具有放大性能，即必须使受激辐射大于光吸收。显然处于受激态的原子数多于低能态的原子数是造成受激辐射大于光吸收这种情况的必要条件。

在一般的情况下，物质中处于低能态的原子数总是远多于处于激发态的原子数。所以一般物质发光时受激辐射是很微小的，以致被忽略，基本上都是自发辐射。而在一定的条件下，就可能使这种状态倒过来，即当激发态的原子数，多于低能态原子数时，受激辐射就变成是主要的，再加上一些其他的条件（如放电管足够地长，以得到充分的放大）就可能形成激光。这种倒过来的情况我们称为粒子数反转。

§ 6 怎样才能构成粒子数反转

“辩证法认为外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。”不是所有的物质都能产生激光，只有具有一定能级结构的物质，才能在一定的条件下造成粒子数反转。因此产生激光的问题是较为复杂的，这里仅以氦氖气体激光为例，简单说明之。

氦氖气体激光器中的主要工作物质是氖气（化学符号为 Ne）氖的能级结构简化成图 1-11。图中 E_0 为基态，一般情况下大多数原子都处于基态，受激辐射是在 E_3 与 E_2 之间产生的， E_3 是高能态， E_2 是低能态， E_3 向 E_2 跃迁时发出光的波长是 0.6328 微米。因为

氦原子停留在 E_3 上的时间可以比较长，而停留在能级 E_2 上的时间却很短，也就是说氦原子处于高能态 E_3 时，并不会马上自发地落到 E_2 上，而处在能级 E_2 上的原子却会立即回到 E_1 或 E_0 。因此 E_2 能级基本上总是“空”着的，这样 E_3 对 E_2 很可能实现粒子数反转，由于 E_1 上的原子数也很多，所以 E_2 对 E_1 不能构成粒子数反转，因此原子从 E_2 到 E_1 的跃迁是自发辐射，发出黄到红色的光。能级 E_1 上的原子过多以后，就向 E_0 跃迁，跃迁时以热能形式放出一分能量。然而氦原子吸收放电电子能量的能力很小，所以在一般情况下，高能态 E_3 上的原子数并不会很多，粒子数反转的状态是很难构成的。

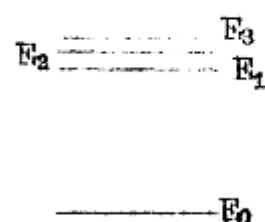


图1-11 Ne 的能级简图

另外，我们也看到氦原子（化学符号为 He）极易吸收放电电子的能量，而由基态 E_0' 跃迁到高能态 E_3' 上去，但是由于处在高能态的氦原子不能通过辐射的方式回到基态去，因此激光也无法产生。

这样看来是否就不能产生激光了呢？“停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点都是错误的。”虽然“不可以超越客观情况所许可的条件去计划自己的行动”，“然而可以而且必须在客观条件的限度之内，能动地争取战争的胜利。”通过不断地试验我们发现处于激发态 E_3' 的氦原子的能量和处于能量状态 E_3 的氦原子的能量相差不多，因此当激发态的氦原子与处于基态的氦原子相碰撞时，氦原子很容易把能量交给氦原子而自己回到基态，氦原子却从基态跃迁到高能态 E_3 上去了。处于激发的 He 原子大量地将能量转移给 Ne 原子，则在 Ne 原子的 E_3 能级上就积聚了很多的原子，而 E_2 是“空”着的，于是就实现了粒子数反转，当有一束 $\nu = \frac{E_3 - E_2}{h}$ 的光入射时，就有大量的受激辐射产生，而形成了激光。

下面我们用水的例子来类比激光产生时原子的能级跃迁的情况。如图 1-13 所示。

抽水机（又称为泵）把水从 E_0' 抽到 E_3' ，相当于氦原子与电子碰撞吸收了电子的能量从基态 E_0' 跃迁到激发态 E_3' 。然后水很方便地流到 E_3 中去，相当于激发态氦原子很容易与氦原子碰撞，把能量交给氦

原子，使氦原子从基态 E_0 跃迁到激发态 E_3 。当把 E_3 与 E_2 间的閥門

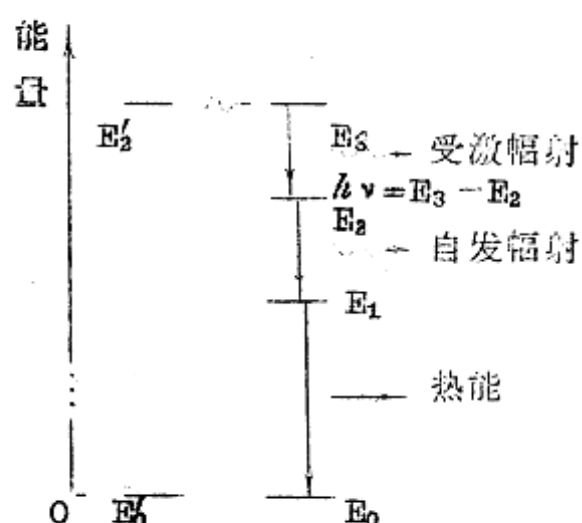


图 1-12

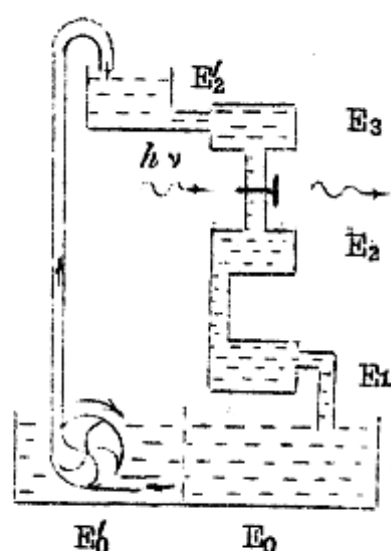


图 1-13

打开时，相当于有频率为 $\nu = \frac{E_3 - E_2}{h}$ 的光入射时， E_3 的水就大量地落到 E_2 中去，相当于受激辐射产生，放出一束激光。在水箱 E_2 中的水是留不住的，很快地落到了 E_1 ，相当于自发辐射。而在水箱 E_1 中的水多了以后，就会回到 E_0 中去，即原子以热能形式放出一分能量而回到基态 E_0 。见图 1-12。

§ 7 增加放电管长度的一个有效方法。

上面談到，具有放大性能的工作物质必须处在足够长的放电管中才能使受激辐射不断地加强而产生激光。显然做一个几百米长而直的放电管是不现实的。若我们在放电管两端放置两块相互平行而又与放电管轴线相垂直的平面反射镜，光在反射镜之间不断地来回反射，这样往返多次地通过放电管，实际上就起到了增加放电管的长度的作用。

说得详细一点，当由于自发辐射在沿放电管轴线方向产生一束频率为 $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ 的光，这束光就会由于受激辐射而放大。这束光在两块反射镜之间每来回一次都得到一定的放大，而使其越来越强。这束光越强则处于激发态 E_2 的原子受激辐射就越多，最终将形成一束极强的激光。

在这里由于工作物质（如氦氖气体）产生粒子数反转，而具有放大性能，这是产生激光的内因。显然不是所有物质都能产生激光，但能产生激光的物质也不少，目前发现的已有数百种物质。随着人们的不断实践，将会有更多更新的工作物质被我们所利用。而激光器上的反射镜则是产生激光的重要条件即外因。外因这个条件也是重要的，一般激光器对反射镜的要求又相当严格，如果这个条件不满足激光就不能产生。但是只要我们通过不断地实践和总结，掌握它的规律性，我们就可以更广泛地运用它，发展它，使激光这门新技术更好地为我国的国防建设、工业生产、科学实验服务，成为我们保卫祖国建设祖国的有力工具。

§ 8 结构外形。

前面我们讨论了激光是怎样产生的，那么我们究竟用什么方法来实现它呢？“我们不但要提出任务，而且要解决完成任务的方法问题。”也就是说我们还必须研究一下氦氖气体激光器的具体构造。氦氖激光器的结构形式是很多的，遵循伟大领袖毛主席关于“普遍性即存在于特殊性之中”的教导，这里我们用解剖“麻雀”的方法对一种内腔式氦氖气体激光器进行具体的分析，从中找出其普遍的规律，做到举一反三，触类旁通。

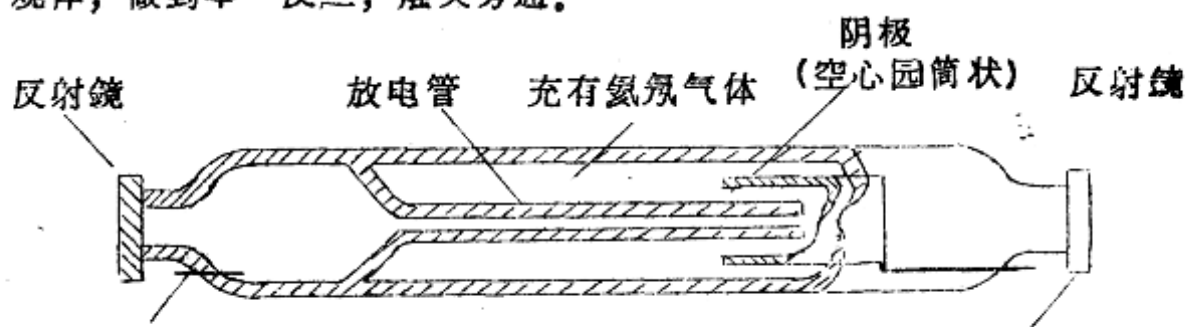


图 1-14 氦氖气体激光器

从图 1-14 中，我们可以看到氦氖气体激光器可以分为以下几个部分：放电管、电极（阴极和阳极）、反射镜和氦氖气体。

1. 放电管必須細而直，細的目的是使放电电流密度更大些，以有利于粒子数反转状态的形成。激光在放电管中是来回振盪的，所以放电管直一点可以减少受激幅射在振盪过程中的損失。

2. 电极：阴极在放电时，一方面要大量发射电子，另一方面又要承受質量比电子大得多的正离子的轰击，使阴极材料中的原子有时会跑出来，而改变放电气体的成分，损坏反射鏡，这种现象称为阴极溅射。因此我們一方面应选择发射电子性能良好，溅射很少的金属材料选做阴极，另一方面在具体結構上应将阴极做成空心圆筒状，这样既可以增加阴极面积，提高电子发射性能，减少溅射又不影响激光往返振盪。

阳极只是受質量很小的电子撞击，沒有发射电子的要求，溅射情况也不严重，所以在小电流的情况下，只用一根鎢棒作为电极就可以了。

3. 反射鏡質量的优劣对激光产生起着十分重要的作用，对于氦氖气体激光器，放大作用較小，每公尺放电管的放大倍数不超过5%，如果放电管长約为30cm，則光从一端跑到另一端所得到的放大小于3%，同时还存在着其它方面的損耗，所以反射鏡的反射率必須大于98%，否則損耗大于放大，激光就不能产生。

4. 在放电管中的氦氖气体不仅应有足够的純度，而且应保持其一定的气压，太大太小对激光的产生都是不利的。同时氦氖气体之間还要保持适当的比例，这样才有利于粒子数反转状态的构成。

从上面的討論我們可以看到激光器並不是什么神祕莫测的东西，只要具备一定的条件激光就可以产生。毛主席教导我們："世界上怕就怕認真二字，共产党就最講認真。"只要我們認真地对待每一个工艺过程，采取"承認困难，分析困难，向困难作斗争"的正确态度，那么我們一定可以把激光器做好，为大力发展我国的激光事业，作出我們应有的贡献。

氦氖气体激光器的生产流程如图 1-14 所示。

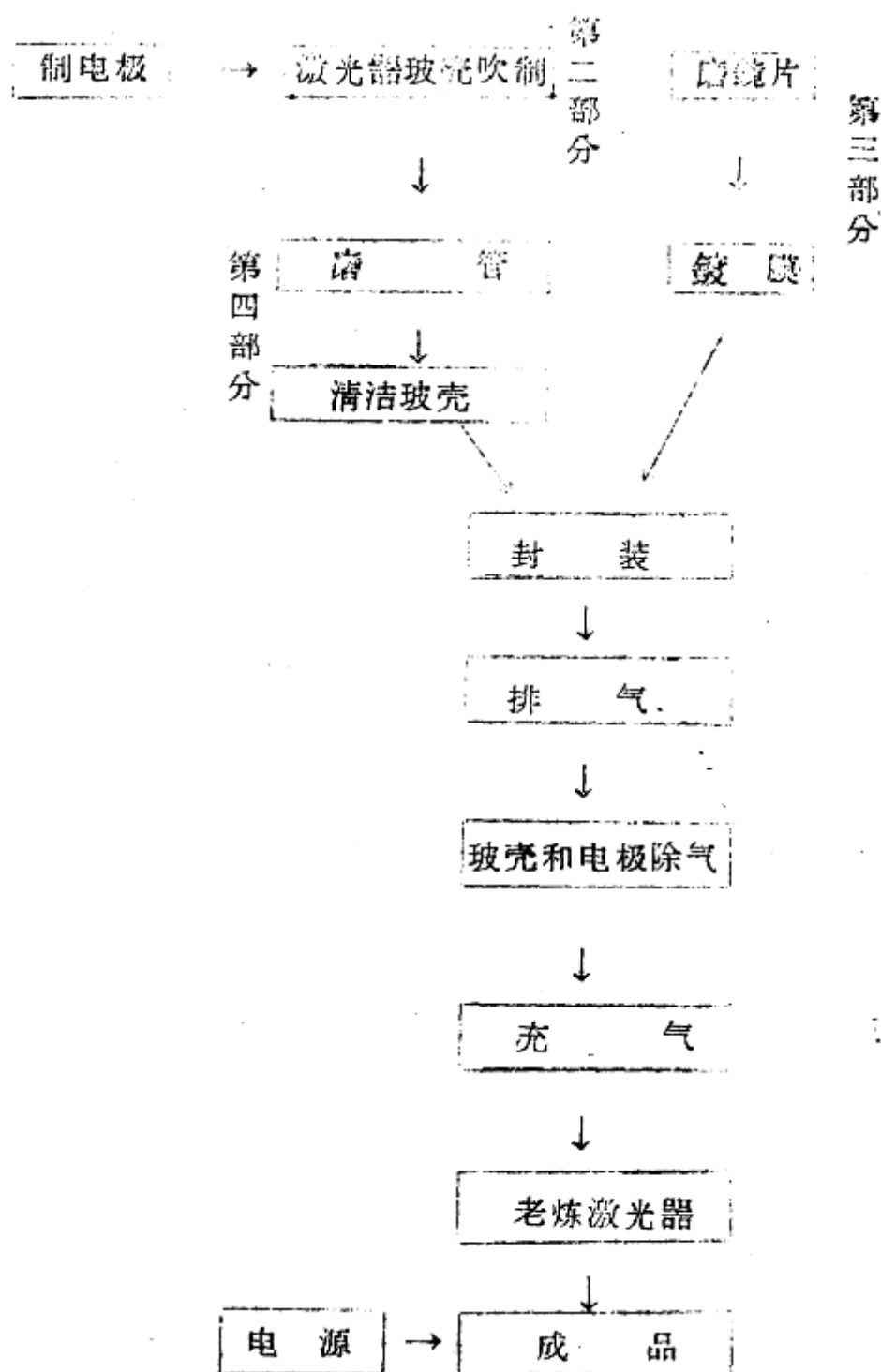


图 1-14 氦氖气体激光器生产流程

根据流程的情况，又照顾生产车间的配置情况，我们把整个流程分成三个部分：激光器玻壳吹制，反射镜制备和封装及充气进行介绍。