

要想把氦、氖、氩、氮和氙等惰性气体变为固体是相当困难的。若通过降温，则须在相当低的温度下才能实现。例如对于氦为 $-157^{\circ}\text{C}$ ，对氩为

$-189^{\circ}\text{C}$ 。近来人们用离子注入的办法，可以轻而易举地在室温将它们固化，而且在摄氏几百度才能使它熔化。这种固化的惰性气体是一种非常神奇的物质，它不服从理想气体的规律，通常的范德瓦耳方程对它已不适用。这个问题是现代科学技术中必然要遇到的。例如在用离子溅射进行表面清洁处理时，无论用离子束混杂制造新合金，还是用惰性气体进行材料改性，或者用 $\alpha$ 粒子轰击反应堆内壳壁时，都会遇到形成固体惰性气体气泡的问题。因此，这种因离子注入而产生的气体固化现象，是最近大批物理理论和实验工作者感兴趣的问题。

现举一个应用方面的例子。在反应堆的裂变过程中会产生大量 $\alpha$ 粒子和氙同位素碎片，这些具有很高能量的粒子，会撞击反应堆壳体。其中很大一部分因此而留在不锈钢壳体内，从而形成 $\text{Ne}$ 和 $\text{Xe}$ 的固体气泡。由于它们的存在，往往会使壳体产生裂缝，造成反应堆泄漏，导致重大事故的发生。为此，我们必须研究这种固体气泡形成的规律和防范措施。

在理论上，寻找一个合适的态方程去描述这种固体气泡也是相当重要的，因通常的范德瓦耳方程已不适用了。

为研究这种固体气泡，人们已使用了大量研究手段，例如 $x$ 衍射，透射电子显微镜，电子能量丢失光谱，沟道效应，正负电子湮灭，以及穆斯堡尔光谱等。此外，把不同的惰性气体注入不同的衬底金属中去也是大家感兴趣的课题。目前对这种固体惰性气体有了如下认识：

1. 当注入能量在 100 千电子伏

特左右，注入剂量达 $5 \times 10^{19}$ 原子/米<sup>2</sup>时，在金属中可形成固体小球，它的大小随注入剂量的增加而增大，可由十几埃增大到几十埃。

2. 对于固体小球的晶格结构，人们用氩、氮和氙注入面心立方和六角密堆积的金属中时发现，所形成的晶格结构和衬底的晶格结构相一致；注入体心立方衬底时，固体气泡的晶格结构仍为面心立方，仅与衬底结构有一定的取向关系。根据目前的研究得知，这种固体气泡服从德拜模型。

3. 在固体球内存在着巨大的压力，因此它的密度非常高，压力值可达几万到几十万个大气压。也正是由于这样的高压，才使气体变成了固体。

4. 固体球在加热而变成液体的过程中，体积增大，密度减小，最终变为气体。它们的熔化温度有的可高达 $500^{\circ}\text{C}$ 以上。此外，有人甚至观察到固体球的过热现象。例如，根据观察到的克分子体积大小来推算，氩固体球的熔化温度应为 $-23^{\circ}\text{C}$ ，而实际观察到的熔点是 $457^{\circ}\text{C}$ ，所以人们认为该固体球有过热行为。过热行为被认为，一是固体气泡和衬底之间的界面原子具有很高的德拜温度所造成的。迄今，对注入惰性气体离子如何形成固体硬

球及其动力学性质还不清楚。

通过透射电子显微镜，对氩注入铝膜形成固体气泡的微观结构的发展过程进行观察后，有人给出了这样的解释。即在低剂量注入时，注入离子产生的孤立位错环随注入量的增加而增大。由于它们之间的相互作用，最终形成位错网络。当剂量增至 $10^{19}$ 原子/米<sup>2</sup>时，大量过剩空位集聚成空洞。在此过程中，氩原子被捕获在这些空位和空洞之中。当剂量增至 $6 \times 10^{19}$ 原子/米<sup>2</sup>时，可观察到氩的固体相出现。固体球的大小受位错环的发射所支配。在热平衡时，固体球的压力与界面上衬底表面张力相平衡。

到目前为止，还只能分别研究金属中的惰性气体固体球，如用透射电子显微镜和 $x$ 衍射研究，固体球和衬底晶格的相干情况及固体球的晶格常数和球的大小；用电子能量丢失光谱研究球的密度和压力；用正负电子湮灭研究密度；用穆斯堡尔效应研究球的尺寸和压力以及它的德拜温度。人们用沟道效应还没有看到很好的沟道谱。今后若能利用几种手段综合研究这个题目，将会给出全面而确切的信息，为高压、高密度状态下的惰性气体原子间相互作用的研究提供可靠的依据。

## 《现代物理知识》合订本(1992)

### 征订启事

1992年度《现代物理知识》合订本，自即日起开始收订。每册25元(含邮挂、包装费)。凡欲购者，从速汇款至：北京918信箱秋浦收。邮政编码：100039，电话：8213344—782。本年度合订本将于明年3月底出版，望预订者将姓名、通讯地址、邮政书写清楚，以便邮寄。本刊尚余少量1991年合订本，每册20元，欲购从速。