



同步辐射在晶体缺陷研究中的应用

赵际勇 杨平

同步辐射是由高能加速器所提供的具有多种优异光学性能的光源。同步辐射可提供从远红外到硬 X 光的连续波段的辐射,并且具有极高的光强度,以及高偏振度等性能,因而同步辐射在物理学、材料科学、化学、生物学以及矿物学等多学科的研究领域得到越来越广泛的应用。

北京正负电子对撞机(BEPC)是一台高能物理与同步辐射应用兼用型的加速器。同步辐射实验区提供了若干条光束线及相应的实验站,为来自国内外的科学工作者服务。其中最早投入运行、提供用户使用的是 4W1A 白光线及相应的 X 光形貌学实验站,用于对晶体缺陷及固体微结构的 X 光形貌研究。

X 光形貌术是利用晶体完整区与畸变区对 X 光衍射强度的不同,用 X 光底片记录,而对晶体的完整性进行研究的。自 50 年代以来,越来越多的大块近完整晶体生长成功,使得 X 光形貌的理论 with 实验技术得到了很大发展。进入 70 年代,同步辐射光源应用于 X 光形貌学研究中,使该学科的研究与应用产生了一个飞跃。过去利用常规方法不能实现的实验技术,如今得以应用和开展。与常规 X 光形貌术相比较,同步辐射形貌不需对晶体扫描即可得到晶体大面积的缺陷像,同步辐射白光形貌术还可对彼此有较大取向差的镶嵌晶体进行一次成像,底片的曝光时间也从数十小时缩短为几分,甚至几秒。由于同步辐射光源的高强度,形貌实验的样品可以置于距源较远的地方,以得到较高的实验分辨率。例如 BEPC 同步辐射 X 光形貌站位于距光源 45 米处,通常情况下实验分辨率好于 5 微米。利用同步辐射形貌术,还可以进行动态实验。在满足一定实验分辨率的前提下,同步辐射 X 光形貌学实验中的底片与样品的距离可以适当加大,这就为在晶体周围施加各种环境条件提供了可能性。我们可以在晶体上施加电场,磁场,高温,低温,压力等各种条件,利用 X 光敏感的电视扫描系统,对晶体内的相应变化进行实时观察,从而实现对晶体缺陷的形成与运动、以及固体内相变过程的动态观察和研究。这在材料科学中有重要的理论和应用价值。

在北京正负电子对撞机同步辐射实验装置上,我们利用形貌相机和一套高温环境室系统,以及实时电视观察系统,对 KNbO_3 晶体在 225℃ 和 435℃ 两个温度的相变现象进行了观察和研究,观察到了相变发生时,相变前沿在晶体边缘产生,逐渐推进至晶体中部,进而在晶体另一边缘消失的全过程,历时 1 分至 2 分钟,晶体相变的这种临界现象伴随着复杂的结构变化,

在相变前后,晶体内电畴有消失或产生的过程,有一定的可重复性,但不是完全的恢复。这一结果在国内属首次,从而为国内同类实验提供了一个新的研究领域。

常规的同步辐射形貌术也有很广的应用前景。封面为天然石英晶体的同步辐射形貌相。当时,加速器运行能量为 2.2 GeV,电子束流为 43 mA,底片曝光时间仅为 2 秒。该图充分显示了同步辐射用于形貌学研究的优点,一次曝光就得到了几十个 Laue 衍射斑点——即形貌相。在每个形貌相中,显示了石英晶体在地质年代中的生长过程——生长层,以此我们可以推断地质,地貌的形成条件和过程。因而有人说,形貌相是“来自地球内部的一封信”,在此,同步辐射形貌术是强有力的分析工具。

当前,世界正面临着一场新技术革命,材料是决定科学技术发展的关键之一,材料的种类和性能的优劣直接影响到科学技术发展的深度与广度。大规模集成电路的发展,需要高完整的半导体材料,激光技术也依赖于具有更高性能的激光晶体的出现。固体缺陷的研究为新材料、元件、器件的研制和发展、提供牢固的物理基础。凝聚态物质本身的性质和它在各种外界条件下发生的变化,有多种多样的物理现象和效应,这些规律往往和生产实践有着密切的联系,在应用、开发上具有极大潜力。在此,同步辐射光源是极好的光源系统,有多方面的应用前景。动态白光形貌术和高分辨单色光形貌术在晶体缺陷的研究中将越来越重要的作用。

· 专家评《现代物理知识》 ·

一本使人受益而爱读的杂志

国家自然科学基金委员会 许振嘉教授

《现代物理知识》覆盖的科学面很广,许多都是目前的前沿领域,而论文的风格又是深入浅出,很生动活泼,所以使人很爱读。我就是这样的一个读者。闲时拿起来读一读,很感兴趣,而且也很受教益。因为一个人不可能懂这许多(虽然想懂这许多),又没有时间,这个刊物正好弥补了这种要求。我希望继续保持这种风格和办刊方针,并祝你们取得更大成绩。