

穆斯堡尔谱学的新进展

夏元复

(南京大学物理系)

近十年来,人们对穆斯堡尔谱学的兴趣一直持续在高水平上,每年发表的论文一直保持在一千篇左右,未见减退。与以前相比,目前的研究更具有以下特征^[1]:由定性分析走向定量分析,由着重于晶相走向既研究晶相也研究非晶相,由着重于基础研究走向兼有基础研究和应用研究,由“经典的”实验布置走向方法学上的巧妙安排。当前该领域具有三个特点:

(1)应用研究很快地跟踪自然科学的新发展和新研究。

(2)应用更加广泛和深入,自然科学涉及物质微结构研究的各学科中,穆斯堡尔效应都有应用。同步辐射用作穆斯堡尔源的开发,以及在医学和临床上的应用,是可以预见的突破方向。

(3)穆斯堡尔谱学近年来在发展中国家得到迅速的发展。1987年国际穆斯堡尔谱学会议总结中特别提及中国^[1]:“尤其中国已经在穆斯堡尔谱学的研究活力方面有了一个巨大的跃进,已经比诸如法国和英国在这方面的活力来得更强。”

至1987年底,我国穆斯堡尔谱学工作者历年来共发表约四百篇论文。在最近二届国际穆斯堡尔谱学会议上,我国学者的论文占总数的约15%,仅次于西德、美国和苏联。全国共有谱仪约一百台,分布在二十五个省、市、自治区。共有从事穆斯堡尔谱学的专业工作者二百六十余人,一般人员数百名。在全世界二千多名穆斯堡尔谱学专业研究者之中,已成为一支可观的力量。

本文着重于简要介绍最近四年内穆斯堡尔谱学领域的国际和国内进展。比较详细的

介绍和引文可以参见[2], [3], [4]。

一、方法学上的新进展

新的穆斯堡尔跃迁时有发现。至今已发现穆斯堡尔元素达46个,穆斯堡尔核素91个,穆斯堡尔跃迁112个。近期发现的穆斯堡尔跃迁有:²⁴⁰Pu的42.9keV跃迁,¹⁷³Yb的78.7keV跃迁,¹³⁷La的10.1keV跃迁,⁵⁵Mn的126keV跃迁以及⁶³Ni的87keV跃迁。虽然最重要的穆斯堡尔核素仍然是⁵⁷Fe,¹¹⁹Sn和¹⁵¹Eu,但其它的穆斯堡尔核素正在逐渐得到更多开发,其它穆斯堡尔核素的研究工作已占约17%,其中首先是¹²⁵Te,¹²¹Sb,¹²⁹I,¹⁹⁷Au,¹⁶¹Dy,²³⁷Np,¹⁷⁰Yb,¹⁶⁶Er,⁹⁹Ru,¹⁵⁵Gd,¹⁸³Ir等。超高能量分辨本领的穆斯堡尔跃迁(⁶⁷Zn的93.3keV跃迁,¹⁸¹Ta的6.23keV跃迁和⁷³Ge的13.3keV跃迁)的开发虽然难度大,但也取得显著进展。

由于技术上的进步,过去少见的液氮温度下的测量装置,带有超导强磁场的测量装置已经相当普及。1K以及1K以下的超低温装置也在发展中。微型计算机已经迅速取代穆斯堡尔谱仪装置中的主要部件之一的多道分析器。深度可选择的内转换电子穆斯堡尔谱学(DCEMS)在经历了一段很快的发展后,已成为表面研究的一个不可取代的手段。

穆斯堡尔谱学方法学方面近年来最令人瞩目的进展是将同步辐射用作穆斯堡尔源的探索。由于它具有强度高、能量不受限制、准直性好、脉冲性以及高极化度等特点,能进行用同位素穆斯堡尔源不能进行的许多研究(虽然由于方便性的限制,它当然不可能

代替同位素穆斯堡尔源)。采用原子核的布喇格散射,已经得到超窄频宽的单色束流,从而测得了不锈钢的穆斯堡尔谱。

我国在穆斯堡尔谱学方法学方面已经取得较全面的进展。国产穆斯堡尔谱仪已经形成生产能力,国内约80%谱仪为国产,使用情况表明质量并不逊于进口谱仪。 ^{57}Fe 穆斯堡尔源也已在国内初步形成生产能力。液氮温度下的测量装置已经相当普及。液氮下并外加超导磁场的测量装置、激光测速测量装置也已通过鉴定。穆斯堡尔数据处理软件已趋完善,并在国际上首次将AWMI法应用于穆斯堡尔谱数据处理,受到重视。

二、获得更多信息的探索

穆斯堡尔谱反映固体的微结构信息,传统的用透射几何条件或背散射几何条件得到:(1)无反冲分数和二次多普勒能移,(2)超精细相互作用参数。近年来,与“经典”实验布置不同的是,设法探索获取更多信息的途径。包括:

1. 极化穆斯堡尔研究。用于确定超精细场的符号,建立穆斯堡尔偏振计,观察穆斯堡尔—法拉第效应等。
2. 弛豫研究。通过超精细相互作用随时间的变化,研究磁弛豫、电子弛豫、晶格弛豫等。
3. 穆斯堡尔衍射。研究原子核共振衍射的相干效应。
4. 穆斯堡尔辐射的瑞利散射(RSMR)。用于研究原子和分子的动力学。由于穆斯堡尔 γ 量子的特征散射时间接近于共振能级寿命,因此比相近波长的热中子共振相互作用特征时间($\sim 10^{-13}$ 秒)要长得多,从而便于测量比较慢的运动。
5. 射频激励效应。用穆斯堡尔原子的声振动调制穆斯堡尔 γ 辐射。用于研究非晶态特别有用。

在我国,也已开展极化穆斯堡尔谱学的研究,并用于测量磁带上 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 的取向。发展了in situ穆斯堡尔谱学方法并应用于催化研究,发展了用穆斯堡尔极化 γ 射线和非极化 γ 射线给出磁结构空间分布的方法,均在国际上受到重视。射频激励穆斯堡尔效应的研究也已经开始开展。

三、在新研究领域中的活力

穆斯堡尔谱学近年来在自然科学的各个新领域一直保持着充足的活力。其中包括:

1. 非晶材料研究;
2. 人工合成金属材料的研究;
3. 离子束材料改性研究;
4. 自旋渡越研究;
5. 高 T_c 超导材料研究;
6. 生物大分子的研究。

非晶材料的穆斯堡尔研究在我国是十分活跃的,由此可以得到超精细参数的分布,短程有序度,非晶的稳定性,表面晶化过程等,并可以与适当的模型联系起来。第三代稀土永磁材料Nd-Fe-B系列通过穆斯堡尔研究确定晶位和各晶位的超精细场,以及添加离子提高磁学性能的途径,都取得很好的效果。在离子注入材料改性方面也做了很好的工作,例如研究氮离子注入航天用精密轴承钢,提高耐磨性能。在生物大分子方面,对地中海贫血以及对我国特有的几种异常血红蛋白病的研究,对高原红细胞增多症红细胞的研究,都已得到国际上的重视。

高 T_c 超导材料的研究已经表明, $\text{YBa}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x)_3\text{O}_7$ 体系直至 $x=4\%$, T_c 几乎不变,并且直至 $x=20\%$,仍具有超导性。用穆斯堡尔效应比比热法更精确的测定了德拜温度。并根据高于 T_c 温度范围内无反冲分数的异常,与内耗和准弹性实验互相佐证,表明体系在120K, 170K, 220K左右存在“广义的结构相变”。

四、直接的工业应用开始 受人注意

最成熟的是在钢铁工业上的应用，已经几乎无处不用。在钢铁制造过程中用于选矿与分析、烧结、焦炭品质鉴定、硫化铁含量控制、炉渣研究、产品鉴定、相分析。在表面处理过程中用于表面氮化、碳化、硼化、铝化、表面镀层、磨损及硬度、表面注入改性。在腐蚀研究中用于研究腐蚀过程、腐蚀产物、合金化表面。此外还用于研究残余奥氏体、热处理、时效等。

第二位的重要应用于煤、石油和矿石的加工。我国曾用于研究大同煤的矿物分析、苏北油田油层成熟度研究。

另一个重要应用是用于催化。我国有好

几个实验室用于研究氨合成催化剂、费一托催化剂、加氢脱硫催化剂，重整催化剂等，并被鉴定为“取得突破性成果”。

穆斯堡尔谱学应用于提高磁记录材料被认为是“必不可少的手段”，在我国也开始开展。应用于研究黄海和东海大陆架沉积物（海绿石），以及应用于研究特种玻璃制备，都得到过有关部门的奖励。

参考文献

- [1] U. Gonser, Concluding Remarks, ICA-ME'1987
- [2] 夏元复, 穆斯堡尔谱学的新进展(全文), 第七届全国核物理会议综述报告, 1988
- [3] 夏元复, 穆斯堡尔谱学现状, 核技术, 1988, 将发表
- [4] 徐英庭、李士, 我国穆斯堡尔谱学研究十年进展(1976—1986), 第四届全国穆斯堡尔谱学论文摘要集, 1988