

穆斯堡尔谱学的新进展

夏元复

(南京大学物理系)

本文评述穆斯堡尔谱学方法学和应用方面在近三年来的最新进展,并介绍1985年国际穆斯堡尔谱学会议情况。

一、引言

穆斯堡尔效应从发现到现在已经将近三十年了。经过了以下几个阶段:

五十年代——效应的发现以及超精细相互作用参量的确定。

六十年代——从验证引力红移和在固体物理研究方面取得重大突破,并逐渐扩大到自然科学的其它领域(如化学、生物学、冶金学、地质学、考古学等),预示其潜在应用价值很大,但大量研究工作尚处于半定量阶段。

七十年代——穆斯堡尔谱学方法学上的迅速发展,尤其是计算机拟合程序的发展,使之能得到更定量的信息,相应应用研究趋向深入。

八十年代——谱学方法学得到进一步的发展(例如同步辐射的应用、瑞利散射、动力学研究、DCEMS、非常用穆斯堡尔同位素应用的开展等等),并且越来越多的研究不再使用单一手段,而是配合其它手段(主要是NMR, ESR, XPS, EXAFS, ESCA, 中子散射, 沟道效应, 卢瑟福散射, 喇曼散射, TDPAC, PIXE, μ^+ SR, LEED, 正电

子湮没等等)以得到物质微观结构的更确切的信息。应用面进一步扩大和深入,尤其是对合成金属、人工超晶格、非晶材料、人工合成大分子、蛋白质、新型半导体材料和光导材料等现代科学技术中的一些前沿研究作出贡献。在钢铁、煤和石油、磁性材料、催化方面穆斯堡尔谱学已开始了比较广泛的工业应用。

本文将着重介绍自1983年以来在穆斯堡尔谱学方法学和应用方面的新进展。

二、穆斯堡尔谱学方法学

谱学方法学是带动应用向更深更广的方面发展的原动力。这具有三方面的含义。一是在多年前还比较少见的在液氮低温下的测量、超导强磁场下的测量、DCEMS、高压下的测量已经越来越普及,甚至在1K以下超低温的测量也越来越多。二是非常用穆斯堡尔同位素的研究逐渐开展,首先是 ^{61}Ni , ^{67}Zn , ^{111}In , ^{119}Sb , ^{121}Sb , ^{126}Te , $^{129\text{m}}\text{Te}$, ^{129}I , ^{151}Eu , ^{161}Dy , ^{170}Yb , ^{197}Au 和 ^{237}Np 。三是在方法学的一些方面(例如RSMR, 共振衍射的相干效应, 使用同步辐射作为穆斯堡尔源的可能性等)取得了新的进展。

[6]马受武等,《辐射防护》,中国核学会辐射防护学会第一次学术交流会论文选编, p. 46-51, 原子能出版社, 1982.6

[7]J. B. Marion, J. L. Fowler, Fast Neutron Physics Part 1, Interscience Publishers Inc., New York, 1960

使用同步辐射作为穆斯堡尔源是多年来一直追求着的一个目标。虽然它并不能完全代替同位素,但它具有强度大,能量不受限制,极化度高等优点。关键问题是要制造“过滤器”,能够滤出足够窄的单色同步辐射频段。最近,在 ^{57}Fe 增丰YIG单晶薄膜上,对{200}晶面族通过原子核的双重布喇格衍射已经得到单色性达 10^{-8}eV 的 14.4keV 的 γ 辐射,已可用于共振实验,频率是 1Hz 左右可调^[1]。虽然离开实用还有一段距离,但是距离已经不长了。

近年来从理论上和实验上对共振衍射的相干效应都作了深入的研究^[2,3]。在完美晶体中核激发具有严格的相位关系,入射束中的单个 γ 量子是和整个原子核组成的集体而不是和单个原子核相互作用,因此存在集体的相干的原子核的 γ 共振。参数(诸如线宽、寿命、转换比等)不同于与单个原子核的共振相互作用。而散射由于涉及核基态的自旋改变,是不相干的。在对完美单晶进行相干 γ 共振的动力学衍射研究时,相比非相干散射,谱线加宽并且衍射加强,显示了相干增强效应。近年来共振衍射已开始付诸实际应用,例如用来观察在奈尔温度时反铁磁有序的破缺,以及用于上述用同步辐射作为穆斯堡尔源的尝试上。

穆斯堡尔辐射的瑞利散射(RSMR)适宜于研究固体中的相变和分子迁移率。波长 $\lambda \sim 1$ 埃的穆斯堡尔 γ 量子的特征散射时间相近于共振能级的寿命($t \sim 10^{-7}$ 秒),它比同样波长的热中子的共振相互作用的特征时间($t \sim 10^{-13}$ 秒)要长得多,因此RSMR技术可以测量比较慢的原子运动,能测量的扩散系数的量程也完全不同于中子散射。近年来在这方面的一个突出工作是用来研究蛋白质的动力学。文献[4]列举以此法测得的肌红蛋白的均方位移值要比x射线分析法精确得多。

内转换电子穆斯堡尔谱学(CEMS)近年来发展很快,它已真正成为表面研究的一个新手段。^[5]突出优点是高灵敏度、探测深度

可以选择(DCEMS),以及对样品的非破坏性。有二种模式。一是能量积分模式,尤其适用于研究小的共振效应,或者当薄层中所含共振原子数较少时,但是得到的是一定范围表层内的积分效应;与此相近的还有CXMS法。二是能量微分模式(DCEMS),因此必须使用合适的电子能量分析器以及有效的探测不同能量电子的探测器,可以得不同表层(典型地,从 $10-1000$ 毫微米)的信息,但是探测效率非常低是一个十分严重的缺点。CEMS(CXMS)方法主要用于研究薄膜、表面、扩散、腐蚀、催化、离子注入等等。最近,T.Toriyama等报导了一台在低温下能进行DCEMS测量的谱仪,^[6]测量温度可以低达 4.2K 。这个小组在论文[7]中并改进了用于DCEMS的正比计数器的信噪比。因为为了得到来自深层的信息,必须测量 $2\sim 5\text{keV}$ 能量范围内的电子,而通常在这能量范围内信噪比十分差,因此必须设法降低本底从而提高信噪比。M.Fujinami等发表了一个用于研究固体-液体界面现象的in-situ CEMS探测器,是一个特殊设计的气流式正比计数器,附带一个小型的溶液槽,这个探测器十分适用于in-situ研究钢铁在各种溶液中的腐蚀产物,可以研究腐蚀现象随时间的变迁等^[8]。尤其值得提出的是,近年来关于表面、介面和薄膜的磁性研究十分活跃,因为从理论上和实验上发展了“自旋极化电子”(Spin-polarized electrons)方法^[9],实验技术上也有很大的进展。^[10]大部分已发表的工作是研究诸如不同表层上铁的自旋取向,表层的磁性或非磁性的相组成等等。实验上的主要困难是计数率太低,需要超高真空以及限于非常清洁的本征表面。工作[11]报导了一台能逐层in-situ测量铁薄膜以及表面和介面的CEMS谱仪。虽然至今CEMS研究主要局限于 ^{57}Fe 和 ^{119}Sn ,但看来已可能推广于其它穆斯堡尔同位素,对于一般的CEMS来说,由于探测器的改进,样品中穆斯堡尔同位素的含量已经可以减少,而且穆斯

堡尔分数也可以小些。展望CEMS工作,与此相联系的还有一些无论从理论上还是从实验上都值得研究的新领域,诸如共振的 γ -e⁻散射的角度关系,共振过程和光电过程的干涉效应,应用CEMS研究极化穆斯堡尔谱学,定向原子核的研究,低能电子在物质中的贯穿能力等等。

用金刚石代替B₂C作为砧形顶锤的高压样品室制成后,能达到更高压力,从而使高压条件下的穆斯堡尔谱学推进了一大步。工作[12]研究高压下的 ϵ -Fe和Fe₂O₃的穆斯堡尔谱,压力范围到76GPa,在52GPa处发现新的高压相。

锕系元素有很多特有的物理和化学性质,而且常常很快衰变,由于其实用意义更使得这方面的研究受到重视。穆斯堡尔谱学除了十分适合于研究固体中原子或离子的电子配置情况的普遍特点外,对用于锕系化合物,相比其它研究方法更有其独到的优点:只需要相当少的样品量(10~100毫克);不要求单晶;对杂质和由于辐射引起的晶格缺陷比较不灵敏(这二个要求在锕系化合物样品中是很难达到的,但对穆斯堡尔测量结果的可靠性影响较小);在磁测量时不一定需要外加磁场;并且穆斯堡尔测量又容易在各种不同外界条件(例如强磁场、高压)下测量;容易得知化合物中共振原子或离子的价态;等等。主要局限是测量温度只能是低温,以及相比微波共振谱学其分辨率较低^[13]。迄今对除²³⁷Np的60keV跃迁以外的其它跃迁,研究得还比较少。在非常用穆斯堡尔同位素的应用方面,近年来发展较快的另一领域是稀土元素的同位素。当然,很重要的原因是在于稀土材料应用的日益受到重视。主要研究兴趣在于稀土金属、合金及其金属互化物的电子结构、磁性质、弛豫现象、磁各向异性。金属互化物体系常研究的是RFe₂(拉夫斯相),RFe₃, R₂Fe₁₇及R₃Fe₂₃等。有些研究涉及非晶稀土、稀土硫化物、吸附氢的稀土金属互化物、稀土超导材料等。文献[14]给

出非晶稀土中局域原子结构和局域多极场(晶体场)之间的关系。文献[15]研究Eu(pd_{1-x}Au_x)₂Si₂(0≤x≤1)金属互化物体系,当x>0.17,存在反铁磁有序,观察到有序度与中间价态的关系;当x>0.4时,Eu²⁺处于纯4f⁷基态;但x<0.4时逐渐变得不稳定;当x<0.17时,4f壳层相对于5s和5p壳层径向扩展。

在高分辨穆斯堡尔同位素中,⁶⁷Zn的研究近年来发展很快。十分有吸引力的当然是其共振Q值高达10¹⁶。几年前还只限于很少几个实验室能进行这样的工作,样品的种类也比较少,近年来已经扩大得多。经过实验方法的改进,所得到的线宽已逐渐接近自然线宽。G. M. Kalvius所领导的小组进行了大量的非常用穆斯堡尔同位素的工作,关于⁶⁷Zn也进行了一系列研究,例如对⁶⁷ZnS的高压穆斯堡尔研究^[16],研究Cu-Zn合金中Zn原子核处的S电子密度^[17]等等。

在探测器方面,文献[19]报导了改进正比计数器探测14.4keV γ 射线的信噪比,增加探测14.4keV穆斯堡尔 γ 射线的探测效率和提高能量分辨率,并同时减小高能部分射线的探测效率。途径主要是改进结构,并且改变充气压力及气体组成。U. Gonser的实验室最近发展了一种有效测量背散射 γ 和x射线,并同时测量透射 γ 射线的正比计数器系统^[20],探测器具有高计数率、高能量分辨本领以及长的时间稳定性的特点,充0.2MPa的kr-CH₄混合气,可以稳定工作至少三个月。

MICE探测器(Microfoil Conversion Electron Detector)是应用于穆斯堡尔谱学的一种新探测器^[21-22]。MICE探测器是一个高效率的内转换电子探测系统,对含共振穆斯堡尔核的薄膜,当其厚度小于或等于内转换电子的射程时,它能有效地探测共振吸收。将这些薄膜排列起来,产生大得多的信号脉冲。用它可以研究很多穆斯堡尔分数小的同位素。至今已用于17个同位素。

三、穆斯堡尔谱学的应用

(一) 在磁学和非晶研究方面的应用一直是引人注目的领域。在磁学领域的基本问题是：超精细场和磁化，临界现象，交换力和各向异性力，自旋排布，相变等等。并且有趋势越来越深入到一些专门课题中，例如薄膜，表面效应，超顺磁性，电子弛豫，超导体中的磁性等等^[23]。对一维磁性材料的研究是一个颇受重视的问题，因为在理论上容易求解，二是作为新材料在实用上有意义。例如探索掺入不同的磁性或非磁性杂质后的影响^[24]。表面、介面和超薄膜的磁性研究一直十分活跃^[25]。关于非晶磁性材料和非晶金属的穆斯堡尔研究，虽然对这些材料在理论上提出了种种模型，但是穆斯堡尔研究表明至今没有一个结构模型是完全正确的，都各有其局限性。研究内容是非晶材料的结构，非晶化条件及其稳定性，畴结构，应力，短程有序，表面晶化等等^[26]。U. Gonser所领导的研究所在非晶穆斯堡尔研究方面进行了很多开创性的和杰出的工作。

最后，必须提及对磁性绝缘玻璃的穆斯堡尔研究。用穆斯堡尔谱学可以给出其中非晶结构以及磁性配位情况的信息。主要用⁷⁶Fe的穆斯堡尔共振研究具有这种特殊性质的铁的氧化物和氟化物（例如非晶 Fe_2O_3 ，YIG， FeF_3 和 NaFeF_4 ），线宽、谱线形状以及谱线位置是主要参数，这些材料一般具有螺旋磁性(ferric speromagnetism)^[31]。

(二)在物理冶金学上的应用，除了传统的对象是研究各种材料的相分析、相变、可溶性、脱溶、中间价态、晶格缺陷、扩散及其它动力学过程、表面现象、薄膜、确定临界温度等等以外，近年来有以上新领域：一是用穆斯堡尔谱学研究合成金属(synthetic metals)，这是近年来才发展起来的一类化合物，诸如某些高分子聚合物，但是其导电性和金属相似^[27]。二是离子注入和辐照损伤。近

年来离子注入和穆斯堡尔谱学相结合已经成为十分有效的研究领域。因为穆斯堡尔谱学十分有利于研究被注入原子的最近邻，并且既可在注入后直接研究也可以在进一步热处理后对照研究，因而除了可能研究亚稳定的合金系统（例如研究在点阵中替代位置上的少量杂质的行为）以外，还可以研究离子注入过程本身。被注入的穆斯堡尔原子可以作为探针原子，例如研究注入后形成的点缺陷。高温处理后这些探针原子反映了缺陷扩展的情形，以及诸如形成晶簇或者脱溶的情形。近十年来通过离子注入制备了不少新的半导体材料，例如将⁶⁷Co注入Si，¹²⁵Te注入Ge，形成四价半导体，将¹¹⁹In，^{119m}Sn或¹¹⁹Sb注入Ⅲ—Ⅴ半导体（例如GaAs），研究杂质和缺陷的影响。文献[28]评述了在束离子注入技术的进展，有三个途径：通过核反应注入通过库仑激发注入，以及通过库仑激发一反冲注入。在自旋玻璃态的研究方面，例如文献[29]研究Au-Fe合金从金属态到自旋玻璃态的转变，在低于~40K时体系演变为自旋玻璃态，穆斯堡尔谱上显示出一个固定的、非均匀加宽的内场分布。超高速率冷却（冷却速率一般达到几百万度/秒）不仅在技术上有重要意义（例如制造超高强度铝合金），而且在结晶学上的新发现（铝锰合金超高速率冷却后发现前所未有的结晶形态—五重对称的二十面体）引起热潮。文献[30]的作者对 $\text{Al}_{80}\text{Fe}_{20}$ 体系进行高达 $2 \times 10^6 \text{K/sec}$ 的超高速率固化冷却，然后对这样的亚稳态体系进行穆斯堡尔研究和x衍射研究，认为形成一种特殊的准结晶结构。

(三)在化学应用方面，近年来穆斯堡尔谱学虽然仍然对各种各样不同的配位化合物的结构和性质进行着大量的研究，但是以下动向值得注意：更感兴趣于固态化学领域；更感兴趣于实用价值颇大的催化研究和腐蚀研究；对生物化学方面应用的兴趣更趋上升；虽然大部分工作仍集中于铁和锡的化学，但是其它穆斯堡尔元素的化学应用研究正持续增加。

在Leuven会议上, H. Topsøe在关于催化研究的特邀评述报告中指出^[32], 人们已经充分认识到, 穆斯堡尔谱学应用于催化研究的优点在于可以得到结晶很差的体系的信息, 更重要的在于可以从事同时进行着催化反应的in-situ研究。因此往往能直接建立关于催化活性与结构和物理性质之间的直接联系。近年来更重视将穆斯堡尔谱学与一系列其它技术(例如EXAFS, 红外光谱, 化学吸附, 高分辨电镜, 磁化率测量, XPS, ESR等等)相结合, 从而不仅研究模型催化体系的信息, 并且得到真实的工业催化剂的信息。

关于孤立原子、分子和原子簇的研究是一个近年来发展的领域, 特别是所谓RGMI (Rare Gas Matrix Isolation)的穆斯堡尔谱学, 例如研究单个的Te原子或I原子和Ar的相互作用, 研究在RGMI中铁的离子激发态, 激发态的Fe与一些分子(诸如H₂, N₂, CH₄, O₂等)构成的分子键, 在RGMI中的Fe_xM_y和Sn_xM_y (M是过渡元素金属)原子簇的行为等等^[33]。文献[34]报导了de Waard小组通过对低浓度杂质的氧化而在金属中形成孤立分子, 他们认为在金属中形成孤立分子也许会是一种比较普遍的现象并且成为化学的一个新领域。他们在金属铜中首次得到孤立分子¹¹⁹SbF_x, ¹¹⁹SbCl_x和¹¹⁹SbO_x。这些¹¹⁹Sb, ¹⁹F, ³⁵Cl和¹⁸O是通过离子注入进入铜中的, 对这些孤立分子用¹¹⁹Sb穆斯堡尔谱学加以研究。文献[35]报导用⁵⁷Fe穆斯堡尔谱学研究在Ar基质中形成的Fe₃三聚体, 并得出其呈三角结构的结论。

在本节的最后, 我们必须提及在最近一些年中, 穆斯堡尔谱学用于研究过渡元素的混合价态和价态起伏方面作出了重要贡献。超精细相互作用参数(尤其是同质异能移)对穆斯堡尔离子的价态十分灵敏, 因此成为研究价态起伏的动力学规律, 以及研究离子性的中间价态与温度, 压力和组成的关系的一个很有效的手段。逐渐发现这种现象是在化

合物中相当普遍地存在着的, 从而解释了不少化学现象。可以用不少其它手段研究价态起伏现象, 但至今仍公认穆斯堡尔谱学是最有力的一个方法, 被认为是穆斯堡尔谱学对研究化学基本问题的一个重要贡献^[36]。

(四)穆斯堡尔谱学应用于表面和介面的研究近年来发展很快。除了前面已经介绍的研究表面和介面磁性、超薄薄膜、腐蚀、催化以外, 特别需要强调应用于人工超晶格的研究和超细微晶的研究。

在表面研究中, 由于最近发展起来的探测来自样品表面的掠射方向的电子, 使得可以选择性地观察到小于10埃的表面层的情况^[37]。这显然是一个重要的进展。

关于超细微晶, 微晶中的超精细场、磁各向异性、表面和介面原子的磁性、微晶之间的磁相互作用、退磁化场、集体磁激发和超顺磁弛豫对磁超精细分裂的影响都是重要的研究方面。所谓微晶是指线度在5~100毫微米范围内的结晶, 它们在地球上的存在非常普遍, 大气中的沉降物就经常含有粘土矿物、氧化铁和氢氧化铁的微晶, 快速冷却的熔岩中也含有微晶, 甚至在生物样品中也常常含有微晶(例如动物的贮铁蛋白中就经常包含铁的氢氧化物的微晶), 含微晶的磁性流体有十分重要的应用, 而微晶最重要的技术应用是磁带和其它磁性记忆元件。由于微晶的尺寸小, x射线衍射等常规手段常常难以研究它, 但是穆斯堡尔效应却对此十分有效^[38]。薄膜和表面层研究是研究表面效应的另一个方面。近来的研究工作主要是研究含铁薄膜层间的介面效应、研究离子注入穆斯堡尔原子在薄膜中的快速扩散, 研究极薄铁膜(甚至接近单层厚度, 例如2埃^[39])的磁性等。文献[40]是一个别开生面的工作, 它对外延Fe(110)薄膜在W(110)面上生长时的超精细相互作用进行in-situ CEMS研究, 首次测得在近乎自由的铁表面上的超精细相互作用, 并在最外层(共21层)的外延层上观察到存在EFG。

以人工超晶格形式构成的多层薄膜是在超高真空下以一定格式交替沉积二种不同元素，并控制每层的厚度在原子尺度而制成的。对人工超晶格的研究兴趣主要来自二方面，一是它构成了一个便于进行理论对照的实验体系，例如研究二维磁性体系以及在超导电性中存在的维数渡越现象；二是作为一种新材料有很大的潜在实用价值。文献〔41〕报导了在东京大学的一个研究组用不同材料的组合(Fe-V, Fe-Mg, Fe-Mn, Co-Sb和Ag-V)制备人工金属超晶格。用x衍射、电镜、穆斯堡尔谱学、中子衍射、NMR相配合研究它的多层性和磁性。在Fe-Mg超晶格中，“Fe单层”的厚度是1埃，夹在Mg层之中，在4.2K时呈现铁磁性，局域磁矩的大小的本体 α -Fe相应值差不多。当Fe层厚度小于4埃时，就发现其易磁化方向沿着表面的法线。目前在世界上还只有为数不多的实验室在从事人工超晶格的研究，但是人们预料它将会发展很快。

(五)晶格动力学、弛豫和相变的研究是另一个重要的应用领域。文献〔42〕报导了精确测定用 ^{57}Fe 增丰的带氧和带CO的肌红蛋白(MbO_2 和 MbCO)在冷冻溶液中随温度变化的无反冲分数 $f(T)$ ，同质异能移 $\delta(T)$ 和四极裂距 $\Delta E_Q(T)$ 。给出含铁活性中心的动力学情况，即 $\langle x^2(T) \rangle$ 及 $\langle V^2(T) \rangle$ 。由 $f(T)$ 的测定对 $\langle x^2(T) \rangle$ 建立了一个谐函数模型，并求出振动频率 ω ；由 $\delta(T)$ 得出 $\langle V^2(T) \rangle$ ，也建立了一个谐函数模型；关于 $\Delta E_Q(T)$ ，也给出其动力学起源。近年来，R. L. Mössbauer等用中子散射，x射线散射和穆斯堡尔辐射的瑞利散射(RSMR)研究蛋白质中的无规原子运动引起的形态起伏(conformational fluctuations)。〔43〕铁络合物的自旋是近年来研究的一个课题，文献〔43〕研究六配位Fe(II)络合物中自旋渡越的动力学，在血红蛋白中的电子交换反应通常也伴随着中心铁离子在高自旋状态和低自旋状态之间的转换，了解这种自旋交替的机理有助于了解在

血红蛋白中发生的变化过程。文献〔44〕则研究在 DyFeO_3 和 ErFeO_3 中反铁磁耦合的 Fe^{3+} 离子的自旋重取向转变(spin reorientation transition)，这种情形已在一些稀土铁氧体中观察到，它有助于了解这些材料中磁相变的机理及磁有序情况，这类研究工作通常与理论计算很好配合，从而趋向深入。

(六)穆斯堡尔谱学常常配合其它手段，用来研究它可以研究的一些生物物质和生物过程。被研究的体系主要是：血红蛋白和酶，铁硫蛋白，贮铁蛋白等等，其它还有一些生物物质，例如某些动物的牙齿，磁细菌等等。RSMR由于其固有的高的能量分辨率($\sim 10^{-6}\text{eV}$)，成为研究蛋白质的动力学变化十分有效的手段。文献〔45〕用RSMR研究DNA的动力学，结果表明DNA与蛋白质一样，如果保持分子内的迁移率(mobility)，必须含一定量的水。〔46〕在医学上应用的可能性虽然不断有报导，但是至今还没有实际应用。

(七)穆斯堡尔谱学应用于研究煤、矿物以及海洋和湖泊沉积物被认为是一个已经全面展开的领域。最突出的是煤的研究，实际上只有十年的历史，但至今从煤的利用、鉴定其品质到煤液化中的催化过程，穆斯堡尔谱学都已成为不可缺少的手段。海洋沉积物的研究也是一个最新的领域，它与人类正在逐步开发海洋的进展有关，因为迄今为止，人们对自己居住着的这个由海洋和陆地组成的变化体系的许多地质过程和生物过程的了解是太贫乏了。与这领域相联系的是研究陨石、星际物质、考古以及环境污染。

(八)穆斯堡尔谱学应用近年来的一个重大发展是开始比较广泛地应用于工业特别是应用于新材料。穆斯堡尔谱学为半导体—金属界面研究、光导材料研究提供了重要的信息。合成金属和非晶合金在技术上十分重要，而穆斯堡尔谱学配合EXAFS等手段，用于确定这些材料的局域结构。穆斯堡尔谱学在工业上应用的一个重要特点是进行in-situ

测量。这种测量特别是用于燃料工业、催化工业和钢铁工业中，有很多成功的例子，例如研究铁的硫化物和 H_2S 在煤的直接液化过程中所起的作用，研究金属-载体间的相互作用，研究Fischer—Tropsch反应中的碳化过程^[47]。在钢铁和焦炭生产的全过程中几乎已经应用穆斯堡尔谱学。最后，值得提及，穆斯堡尔谱学近年来在磁带生产方面作出很大贡献，例如用来确定不同裹层、组分以及微晶大小对磁带性能的影响。无论录音带、录象带还是计算机记录带，磁取向是磁性材料的记录性能的一个关键参数。通常通过磁学方法来确定取向，但通过测量穆斯堡尔谱上不同谱线的强度比，也可以来确定易磁化轴的取向，将这二个方法相结合甚至可以不用极化 γ 射线就能很好估计磁极化方向的分布^[48]。

四、1985年国际穆斯堡尔谱学会议

1985年国际穆斯堡尔谱学会议于9月16—20日在比利时鲁汶(Leuven)市举行。参加者410人，来自35个国家。向大会提交的论文摘要共510篇，其中在非晶材料方面56篇，磁学和超精细场方面83篇，化学和电子结构方面63篇，表面和催化43篇，金属和合金55篇，地质矿物和考古36篇，离子注入、辐照损伤和后效应41篇，稀释体系、晶簇和孤立基质方面12篇，弛豫、相变和晶格动力学方面34篇，生物体系方面27篇，工业应用方面12篇，穆斯堡尔谱学方法学48篇。以上报告中约三分之二被选入会议论文集，刊于1986年第2期《Hyperfine Interaction》杂志。除了上述工作报告外，会议还从一百余个提名中挑选了二十二篇特邀报告。日本大阪大学藤田英一教授作大会总结，他说：“这次大会是最成功、最有成果、最有国际性和组织得最好的穆斯堡尔谱学国际会议之一”。

在会议期间，国际穆斯堡尔谱学咨询委员会举行了一次会议。经选举表决，丹麦技术

大学的S. Mørup教授新任国际穆斯堡尔谱学咨询委员会主席。会议一致感谢前任主席、慕尼黑技术大学G. M. Kalvius教授杰出的工作。会议详细讨论了1987年国际会议的筹备情况，确认1987年8月17—21日在澳大利亚墨尔本(Melbourne)举行。经过激烈争论和表决，确认1989年会议在匈牙利举行，建议1991年国际会议在中国举行。按委员会惯例，只确认最近二届会议，因此1991年会议地点的最后确认将在1987年会议上，并且在该会议上我国必须就筹备打算提出书面报告。

参考文献

- [1] E. Gerdau, R. Ruffer, H. Winker, W. Talksdorf, C. P. Klages, J. P. Hannon, Phys. Rev. Lett. 54, 835 (1985)
- [2] G. V. Smirnov, Book of Abstracts (ICAME, 1985) INV. 18.
- [3] U. Van Bürck, Book of Abstracts (ICAME, 1985), INV. 19.
- [4] R. L. Mössbauer, Second Seehem Workshop (Ed. P. Gülich and G. M. Kalvius), P. 86, 1983.
- [5] J. A. Sawicki and B. D. Sawicka, Hyperfine Interactions 13, 199 (1983)
- [6] T. Toriyama et al, Nucl. Instr. Meth. 232 (B4), 170 (1984).
- [7] Y. Yonekura, et al, Hyperfine Interactions, 15—16, 1005 (1983).
- [8] M. Fujinami et al, Hyperfine Interactions, to be published (1986)
- [9] S. Ohnishi et al, Phys. Rev. B 30, 36 (1984)
- [10] R. Feder (Ed.), Polarized Electrons in Surface Physics, World Sci. Pub., Singapore, 1985
- [11] J. Korecki et al, Hyperfine Interactions, to be published (1986)
- [12] S. Nasu et al, Book of Abstracts (ICAME, 1985), № 12. 36.
- [13] B. D. Dunlap and G. M. Kalvius, in "Handbook on the Physics and Ch

- emistry of the Actinides" (Eds. A. J. Freeman and G. H. Lander), Chap. 5, Elsevier Sci. Pub., 1985.
- [14] G. Czjzek, Book of Abstracts (ICAME, 1985), №. 1. 23.
- [15] Ch. Sauer, et al, Book of Abstracts (ICAME, 1985) №. 2. 10.
- [16] W. Potzel et al, Physics Lett. 88(A), 307 (1982)
- [17] Th. Obenhuber et al, Hyperfine Interactions, to be published (1986).
- [18] G. M. Kalvius, 私人通讯, 1985.
- [19] B. Bednarek et al, Book of Abstracts (ICAME, 1985), №. 12. 34.
- [20] L. Blaes, U. Gonser, H. G. Wagner, Book of Abstracts (ICAME, 1975), №. 12. 27.
- [21] J. G. Mullen, et al, Book of Abstracts (ICAME, 1985), №. 12. 08.
- [22] J. G. Mullen et al, Nucl. Instr. Meth., to be published, 1986.
- [23] J. Chappert, Hyperfine Interaction 13, 25 (1983).
- [24] L. J. de Jongh, Book of Abstract (ICAME, 1985), INV. 9.
- [25] W. Keune, Book of Abstract (ICAME, 1985), INV. 10.
- [26] U. Gonser, Hyperfine Interaction 13, 1 (1983).
- [27] G. Worimann, Book of Abstract (ICAME, 1985) INV. 22.
- [28] G. Weyer, Book of Abstract (ICAME, 1985) INV. 21.
- [29] G. L. Whittle and S. J. Campbell, J. Phys. (F) 15, 693 (1985).
- [30] R. A. Dunlap et al, Book of Abstract (ICAME, 1985), №. 5. 05.
- [31] M. Eibschütz and M. E. Lines, Book of Abstract (ICAME, 1985) INV. 5.
- [32] H. Topsøe, B. S. Clausen and S. Morup, Book of Abstract (ICAME, 1985) INV. 20.
- [33] M. Pasternak, Book of Abstract (ICAME, 1985) INV. 15.
- [34] H. I. Andreassen, et al, Book of Abstract (ICAME, 1985), №. 8. 10.
- [35] H. Micklitz, et al, Book of Abstract (ICAME, 1985), №. 8. 12.
- [36] I. Nowik, Hyperfine Interaction 13, 89 (1983).
- [37] D. Liljequist et al, Phys. Rev. (B) 31, 4131 (1985); 31, 4137 (1985).
- [38] S. Morup, Second Seeheim Workshop (Ed. P. Gülich and G. M. Kalvius) p. 2, 1983
- [39] N. Hosoi et al, Book of Abstract (ICAME, 1985), №. 4. 20.
- [40] J. Korecki et al, Book of Abstract (ICAME, 1985), №. 4. 30.
- [41] T. Shinjo, Book of Abstract (ICAME, 1985), INV. 17.
- [42] W. W. Wise et al, Book of Abstract (ICAME, 1985), №. 9. 05.
- [43] H. Winkler, et al, Book of Abstract (ICAME, 1985), №. 9. 10.
- [44] A. S. Sharma et al, Book of Abstract (ICAME, 1985), №. 9. 15.
- [45] I. V. Kurinov, et al, Book of Abstract (ICAME, 1985), №. 10. 08.
- [46] V. I. Goldanskii et al, Mol. Biol. (Sov.) 17, 532 (1983)
- [47] P. A. Montano, Book of Abstract (ICAME, 1985) INV. 13.
- [48] R. A. Poit, et al, Book of Abstract (ICAME, 1985), №. 11. 11.