

# 一本有助于推动我国软 X 射线/极紫外光学发展的专著

## ——《软 X 射线与极紫外辐射的原理和应用》简介

吴自勤<sup>1</sup> 崔明启<sup>2</sup> 蒋诗平<sup>3</sup>

(1 中国科学技术大学物理学院 合肥 230026)

(2 中国科学院高能物理研究所北京同步辐射装置 北京 100039)

(3 中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230027)

1999 年,阿特伍德(Attwood D T)的专著《软 X 射线与极紫外辐射的原理和应用》(Soft X-rays and extreme ultraviolet radiation: principle and applications)出版。在出版之前的 1998 年 7 月,作者就利用参加国际会议之际请与会的中国的张杰博士将此书介绍给中国读者。经过张杰教授等人挤时间艰苦的翻译,中译本于 2003 年 9 月由科学出版界出版发行。这一本很好的科学专著,它的出版有助于推动我国软 X 射线/极紫外光学的发展。

这本书是加州大学伯克利分校阿特伍德教授在上世纪末 14 年中教授同名课程的“精华结晶”,它总结了近 50 年迅速发展起来的软 X 射线/极紫外(extreme ultraviolet, EUV,《英汉物理学名词》译为“极端紫外”)光学的进展。按照作者采用的对光波的细分法,软 X 射线与极紫外光的范围分别是:

软 X 射线 光子能量 4keV—250eV (波长 0.3nm—5nm)

极紫外光 光子能量 250V—30eV (波长 5nm—40nm)

这种划分是不严格的,对光波的更细的分法是软 X 射线、极紫外(EUV)、真空紫外(VUV)、深紫外(DUV)、紫外(UV),更粗的分法是软 X 射线、真空紫外(VUV)、紫外(UV),为了方便,我们在下面笼统地把“软 X 射线/极紫外”称之为“软 X 射线”。

由于软 X 射线被各种材料显著吸收(不能做成透光的厚透镜)、正入射镜面时的反射率很低(不能做成常规的反射镜,只能做成掠入射角约为 1°的像差大的反射镜),以及缺乏良好的光源、特别是激光源,软 X 射线学的发展相对光学和(硬)X 射线学来说,发展要迟缓得多。光学发展了 300 多年,X 射线学发展了 100 年,软 X 射线学是 50 年前才开始迅速

发展的。其原因是:

(1)良好光源、首先是同步辐射的出现;

(2)良好光学元件、首先是菲涅耳半波带片和周期性多层膜的出现;

(3)重大科技项目的需要、首先是高温高密度等离子体表征、软 X 射线激光表征、100nm 以下尺寸光刻技术的需要。

由于劳伦斯-利弗莫尔国家实验室的同步辐射装置(Advanced light source, ALS, 先进光源)就在加州大学伯克利分校校园的小山上,作者长期利用此光源从事软 X 射线光学前沿研究工作,因此作者在专著中除了在第 1—3 章中介绍软 X 射线的产生、散射和转播的基础理论之后,在第 4 章中分别介绍新的光学元件周期性多层膜及其在软 X 射线显微术、天文学和光刻技术中的应用(另一种光学元件菲涅耳半波带片在后面的软 X 射线显微术一章中介绍)。在第 5 章中介绍新的光源同步辐射、扭摆器、特别是能产生极好软 X 射线的波荡器(两者是第三代同步辐射的标志的)的原理和性能。在第 6 章中介绍高温高密度等离子体的物理基础及其软 X 射线表征。在第 7 章中介绍软 X 射线激光的产生及表征。在第 8 章中介绍软 X 射线的相干性及其提高的途径,以便改善软 X 射线在一些应用中的性能。在第 9 章中介绍菲涅耳半波带片的衍射物理,由半波带片和周期性多层膜为光学元件的软 X 射线显微术,以及软 X 射线显微术在生物科学和物理科学、材料科学方面的多项应用。在第 10 章中介绍深紫外(DUV,利用波长为 248nm、193nm、157nm 的激光)光刻,下一代的极紫外(EUV,利用波长 11—13nm 的光)光刻和软 X 射线(利用波长 1nm 量级的光)光刻。

此专著的特点是着重叙述前沿领域的进展. 例如书中仔细讲解了 EUV 光刻的方案:用吸收 13nm 的 EUV 光的薄膜材料图样覆盖在多层膜平面反射镜上,从没有吸收图样处反射出来的 EUV 光就是物,经过两次多层膜非球面镜的反射,在光刻胶(像平面)上可以形成缩小 4 倍的像,完成面积大于  $1\text{cm}^2$ 、线条尺寸为 100nm 以下的光刻图形. 这里的一个关键是多层膜材料、周期和光子能量的配合. 例如,周期为 6.7nm 的 Mo/Si 多层膜使用 92.5eV (13.4nm)的光,使正入射光垂直反射出来,这种光不能激发 Si 的 L 电子(吸收边能量是 99eV),从而不易被 Mo/Si 多层膜中的 Si 层吸收,使入射光的反射率达到 67.5%. 书中仔细讲解了以半波带片为光学元件的软 X 射线显微术的成像原理和达到的 50nm 的分辨率,并且用多幅彩色照片显示活体细胞的生命过程. 在突出当前学科进展的同时,此专著对于已经在光学和 X 射线学中处理过的问题、如像差的非球面镜校正问题、X 射线的波谱(WDS)和能谱(EDS)测量问题等仅简单提及.

目前国内的同步辐射软 X 射线学的研究和应用已经取得显著进展. 北京同步辐射装置(BSRF)的软 X 射线光学研究起始于 1980 年代后期,软 X 射线显微术研究工作获得 0.3nm 的分辨率. 1990 年代,高温高密度激光等离子体诊断、软 X 光学元件及光学系统的研制、空间天文软 X 射线光学观察系统等项目得到发展. 然而当时国内没有软 X 光学测量分析手段,因此要求建造此类装置的呼声很高. 1992 年,BSRF 在 3B1 光束线上建造了国内第一套软 X 射线(能量范围 50eV—1keV)多层膜反射率计装置. 该装置获得 2000 年度国家技术发明奖二等奖. 1995—2005 年,BSRF 软 X 射线光学组研究人员陆续建造了 3W1B 软 X 射线光栅单色器光束线(能量范围 50eV—1.5keV)、3B3 中能 X 射线双晶单色器光束线(能量范围 1.2—6keV)、软 X 射线综合测量分析装置、软 X 射线绝对光强监测系统及探测器标定装置等. 根据国内大科学工程项目和软 X 射线光学技术发展的需要,目前已建成国内开展软 X 射线光学技术综合应用研究的实验平台和研究基地. 在应用方面,对惯性约束聚变研究各种探测元器件及大型探测设备的性能进行了系统的研究,提供了一批性能可靠的探测器. 在国家载人航空间天文分系统项目中,为搭载“神舟二号”的天文观测用软 X 射线探测器进行了系统的标定,并进一步修正了软 X 射线探测器的有关设计参数,为获得好的天文

观察结果奠定了基础.

合肥同步辐射国家实验室(NSRL, Hefei)是第二代同步辐射装置,它是能量较低、适合做软 X 射线学研究的真空紫外(VUV)环,其特征波长在 2.4nm(500eV). 目前合肥光源建设有软 X 射线显微术、光刻、计量、光电子能谱以及其他谱学研究等多个实验站. 这些实验站为国内科研人员提供了比较先进的研究平台. 例如,软 X 射显微术实验站已有数十家用户先后发展了软 X 射线同轴全息、全息 CT 以及全场成像等多种显微技术. 但是,由于二代光源的通量和亮度远不如第三代同步辐射,相关研究与国际先进水平相比还有差距. 波带片是软 X 射线显微术重要的光学元件之一. 国内的相关研究很少,与国外差距相当明显. 目前国内仅能制造最外环宽度为亚微米的波带片,而国际上已经研制出最外环宽度小于 15nm 的波带片. 国内的软 X 射线光刻、光电子能谱以及其他软 X 射线谱学研究也同样存在着明显的差距.

为了赶超国际先进水平,除了期待上海第三代同步辐射光源以及波荡器等相关插入件的尽快建成,同时还需要培养更多优秀的软 X 射线科学技术人才. 这里很需要翻译出版国际先进的专著,使专著成为从事软 X 射线尖端科学研究的研究人员、教师和高年级大学生的富有启发性的参考书. 应该承认,国内翻译先进专著的工作还没有得到足够的重视.

显然,这本专著中译本的出版有助于广大读者系统掌握有关的前沿知识,有助于推动我国软 X 射线光学的发展. 值得读者赞赏的是,在一线担任繁重科学研究和行政管理的译者为完成翻译任务需要从早到晚在物理所工作十几个小时.

这本专著中译本的不足之处是把原版的 20 多幅彩色照片改成黑白图片,书中还有一些文字差错,包括少量的明显差错. 希望能在再版时得到改进.

这里顺便提一个建议:为了组织好一流科学专著的翻译出版工作,最好由出版社组成专门编辑组,在做好选题(例如从 Verlag—Springer 出版社光学丛书和固体物理丛书中选题)之后,一方面和国外出版界商定较低的版权费,另一方面组织国内专家(包括退休专家)集体翻译,争取以丛书方式迅速及时地出版.