

文章编号 2095-1531(2015)05-0736-08

真空紫外分波前傅里叶变换光谱技术进展

李志刚

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:本文分析了真空紫外分波前傅里叶变换光谱技术原理、特点及其必要性,介绍了几种采用真空紫外分波前傅里叶变换光谱技术的光谱仪的代表性结构、性能和应用,探讨了国内真空紫外分波前傅里叶变换光谱技术的未来发展,为获得高分辨率真空紫外光谱提供了另一途径。

关键词:真空紫外;傅里叶变换光谱仪;分波前

中图分类号:TH744.1 文献标识码:A doi:10.3788/CO.20150805.0736

Progress of wavefront-division Fourier transform spectrometry in the vacuum ultraviolet

LI Zhi-gang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

* Corresponding author, E-mail: lizhg@ciomp.ac.cn

Abstract: The principle, characteristics and necessity of vacuum ultraviolet wavefront-division Fourier transform spectrometry are analyzed in this paper. The typical structures, performances, and applications of several spectrometers using vacuum ultraviolet wavefront-division Fourier transform spectrometry are introduced. The future development of domestic vacuum ultraviolet wavefront-division Fourier transform spectrometry is discussed. Another approach is offered for obtaining high resolution vacuum ultraviolet spectra.

Key words: vacuum ultraviolet; fourier transform spectrometer; wavefront-division

收稿日期:2015-05-18;修订日期:2015-06-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61378063)

1 引言

傅里叶变换光谱技术原理是基于通过干涉仪所产生的作为相干光束光程差函数的干涉图是入射光源光谱的傅里叶变换,因此通过干涉图傅里叶逆变换可以获取入射光源的光谱。由于宽光谱范围、高分辨率、高波长精度、多波长采集等优势,傅里叶变换光谱技术已经成为重要的光谱测量手段。

20世纪60年代,红外波段傅里叶变换光谱技术由于能提供优异的信噪比而得到迅速发展。傅里叶变换光谱仪中,所有波长光辐射被同时记录,而不是顺序记录,在红外波段,傅里叶变换光谱仪探测系统的噪声主要是探测器噪声或背景噪声,与信号大小无关,因此具有多路传输的优点。也由于干涉仪具有轴对称性,入射光阑是圆形的,在相同分辨率下,比起扫描光栅单色仪,光通量要大几个数量级,傅里叶变换光谱技术具有高光通量优点。在红外波段,傅里叶变换光谱技术由于灵敏度较高,在大多应用中超越了光栅光谱技术。红外波段傅里叶变换光谱仪逐渐广泛应用于物理化学、分析化学、大气物理及天文物理等众多领域。

20世纪70年代,傅里叶变换光谱技术向近红外、可见、近紫外波段延伸。在这个光谱区,探测器噪声与光子噪声相比微不足道。倘若光源是稳定的,噪声由光子起伏限定,且随信号大小的平方根增加,这时,傅里叶变换光谱技术的多路传输优势并不明显。但是如果向更短波段进展,对干涉仪光学与机械零部件精度要求也越来越高,技术难度增大。20世纪80年代英国帝国理工学院将傅里叶变换光谱技术延拓至真空紫外光谱区,研究者精心设计了一台扫描式 Michelson 干涉仪^[1],严格满足光学和机械方面的精度要求。分束器入射角为 5° ,而不是传统的 45° ,有利于降低偏振效应。干涉仪置于 $1.5\text{ m} \times 0.25\text{ m} \times 0.25\text{ m}$ 的真空室内,采用熔石英制作分束器,测量波长范围短至 170 nm , 200 nm 处光谱分辨率可达 2×10^6 。在仿制这台原型仪器的基础上,美国国家标

准技术研究院、瑞典隆德大学、英国帝国理工学院作了大量有益的研究^[2-15]。

但是,由于缺乏制作真空紫外波段分束器的透射材料,分振幅式的干涉仪只能工作到 $120 \sim 150\text{ nm}$ 以上波段。在远真空紫外波段,使用分振幅方式的傅里叶变换光谱技术发展陷入困境。在这种状况下,分波前式傅里叶变换光谱技术为向真空紫外更短波段的拓展提供了另一途径。在真空紫外波段由于光子噪声居主,分波前傅里叶变换光谱仪的多路传输没有优势。由于采用分波前干涉,高通量优势也丧失。但真空紫外傅里叶变换光谱技术仍然是优异的,这些理由也是促使发展结构紧凑、方便快捷的真空紫外傅里叶变换光谱仪的动力。首先,该技术可达到很高的分辨率。与光栅单色仪相比,分辨率依赖于扫描程长而不是光栅宽度。其次,由于傅里叶变换的线性特性,波数标尺是线性的,原理上波长定标只需一条参考谱线,而不是像光栅单色仪那样,在整个光谱范围内波长定标需多条参考谱线。第三是灵活性,可以轻易通过改变扫描长度进行分辨率同积分时间或信噪比的权衡^[16]。因此,真空紫外傅里叶变换光谱技术仍然是研究的前沿。由于存在材料和技术难度,国内外研究进展缓慢,研究团队也比较少。这些研究工作主要集中在法国、美国和瑞典等国家。本文重点评述了近年法国、美国和瑞典开展的真空紫外分波前傅里叶变换光谱技术的研究工作。

2 真空紫外分波前傅里叶变换光谱技术发展概况

傅里叶变换光谱仪早期工作中,由于缺乏合适的远红外分振幅型分束器,曾采用分波前技术制作傅里叶变换光谱仪,以期向远红外波段拓展^[17]。如今,这一技术在短波真空紫外得到应用与发展。

法国 de Oliveira 等人研制了基于改进型 Fresnel 双镜干涉仪结构的无分束器傅里叶变换光谱仪^[18],以 1.5×10^5 的分辨率记录了 O_2 在 190 nm 附近 Schuman-Runge 吸收带光谱。在此基

基础上,进行重建和升级,研制了与之结构颇为相似的真空紫外扫描式分波前干涉仪,作为终端站与法国 SOLEIL 同步辐射装置真空紫外光束线 DESIRS 相连,可在超高真空条件下使用,信噪比高,测量波长范围为 250 ~ 40 nm (5 ~ 30 eV),分辨率约为 1×10^6 ,波长精度为 1×10^{-7} [19-22]。真空紫外扫描式分波前干涉仪结构如图 1 所示,包括两个成 90°角真空紫外反射面的两个屋顶形光学玻璃块面向入射真空紫外波荡器光束。

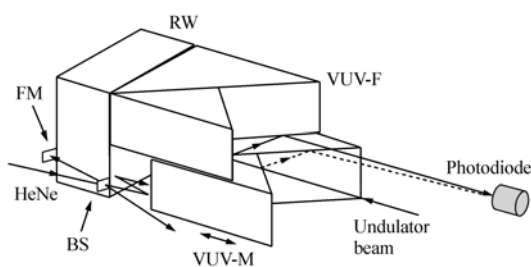


图 1 真空紫外扫描式分波前干涉仪示意图。VUV-F,参考反射器;VUV-M,移动反射器;RW,参考楔;HeNe,HeNe 稳频激光束;BS,分束器;FM,定镜

Fig. 1 Schematic of a VUV scanning wavefront-division interferometer. VUV-F: reference reflector; VUV-M: mobile reflector; RW: reference wedge; HeNe: HeNe frequency-stabilized laser beam; BS: beamsplitter; FM: fixed mirror

入射光束被两个反射器分开,分别以 45°角反射两次。参考反射器 (VUV-F) 和移动反射器 (VUV-M) 间隔 100 μm 。由于 VUV-F 在垂直方向上的微小倾斜,使得两反射光束相交并干涉。在距反射器 130 cm 处,真空紫外光电二极管置于水平狭缝后探测干涉图,狭缝宽为 50 μm ,小于空间干涉条纹间隔。DESIRS 波荡器光源能够满足分波前干涉仪对一维空间相干度的要求。扫描控制系统基于多次反射的 HeNe 激光干涉仪装置,可根据光谱范围所需提供不同采样间隔的采样信号,用于精确的干涉图采样。VUV-M 的背面作为动镜,VUV-M 的移动通过使用基于两平面镜之间多次反射的可见光干涉仪来测量,保证了在真空紫外光程差变化和可见光干涉测量控制信号之间直接而稳定的关系。在分束器之后,稳频 HeNe

激光光束在 VUV-M 后表面和参考楔 (RW) 之间反射 p 次后返回。就 VUV-M 位移而言,可见光干涉图的周期 $\delta_x = \lambda_{\text{HeNe}}/2p'$,其中 λ_{HeNe} 表示 HeNe 激光波长, p' 等于 p 与一个几何因子的乘积。几何因子由 p 决定,其值接近于 1。激光干涉图用于每周期两次触发真空紫外干涉图采样,即采样间隔为 $\lambda_{\text{HeNe}}/4p'$ 。此系统灵敏度是通过平分正弦周期获得的,是一个非常简单的处理,并且给出准确的结果。相反,若由传统的干涉仪获得相同的灵敏度,往往需要对每个条纹进行很多的电子学细分,从而增加了采样误差风险,或要求一个精确恒定的扫描速度。这一干涉采样系统原理上极大地降低了对 VUV-M 移动速度波动的要求。 p 是一个从 8 至 15 之间的可调参量,这一调整可通过倾斜 VUV-M 来完成。最大分辨率和自由光谱范围都由参量 p 确定。安装的真空紫外分波前干涉仪如图 2 所示。

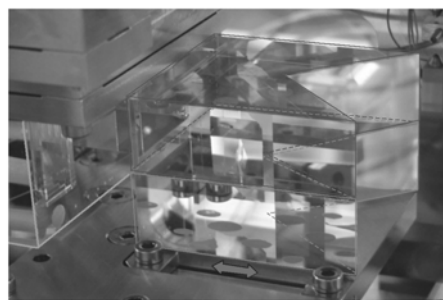


图 2 安装的真空紫外分波前干涉仪

Fig. 2 Mounted VUV wavefront-division interferometer

用这种光谱仪测得的 Kr 价电子层吸收光谱如图 3 所示,分辨率为 8.5×10^5 。图 4 给出了

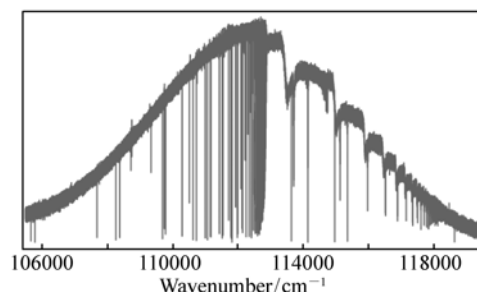


图 3 Kr 吸收光谱

Fig. 3 Krypton absorption spectrum

He 光吸收截面测量结果。同来自于 DESIRS 光束线的高分辨率光栅单色仪相比较,获取相同带宽($6\,000\text{ cm}^{-1}$)、分辨率($\delta_\sigma = 1.3\text{ cm}^{-1}$)和信噪比的实验数据,由于记录数据点之间电子学和机械因素导致的间歇时间的原因,高分辨率光栅单色仪的记录时间比此傅里叶变换光谱仪长约 30 倍。

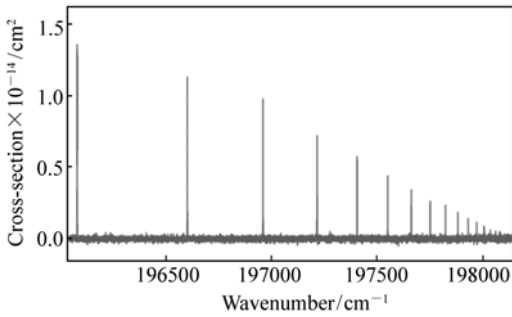


图 4 He 光吸收截面
Fig. 4 Helium photoabsorption cross-section

法国 de Oliveira 及其合作者共同研制的仪器代表了吸收傅里叶变换光谱学在真空紫外光谱区的一项重大突破。这一新型基于傅里叶变换的仪器,由于其前所未有的分辨率、绝对谱线位置精度、宽光谱范围和其高效的数据采集效率,将很快在气相吸收光谱学整个真空紫外波段产生不同寻常的结果。在真空紫外波段,傅里叶变换光谱仪可以在天体物理学、星际介质和行星大气有关的项目中得以应用,满足诠释地基光谱仪和望远镜数据以及高分辨率实验室精确数据库的迫切需要,还可应用于地球大气和燃烧过程的研究。如能提供高亮度真空紫外辐射源,傅里叶变换光谱仪亦可应用于发射光谱学以研究高电离原子态。

20 世纪 90 年代,在真空紫外光谱区的软 X 射线波段,美国 Howells 等人^[7]提出采用分波前傅里叶变换光谱技术研究 He 60 ~ 80 eV 附近吸收光谱的技术方案(如图 5 所示)。照射气体池中样品的软 X 射线辐射来自于 Lawrence Berkeley 国家实验室同步辐射光源 ALS 弯转磁铁光束线 9.3.2 上的球面光栅单色仪。

设计中将 Mach-Zehnder 干涉仪变为菱形,采用掠入射方式,波长为 10 ~ 100 nm。通过直线移

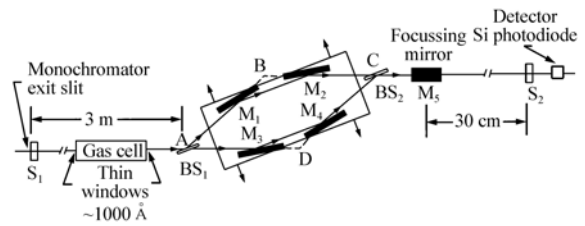


图 5 软 X 射线干涉仪实验示意图
Fig. 5 Schematic diagram of the soft X-ray interferometer experiment

动载有 4 片平面反射镜的平台来改变两干涉光束的光程差,光程差可达 1 cm。在 65 eV 处,分辨率达 5×10^5 。谱仪光学系统设计中,使用两块分波前分束器(BS_1 和 BS_2),由单晶硅采用微细加工技术制成。分束器设计采用透射光栅结构(如图 6 所示),通过有效区域内栅条表面的反射和狭缝的透射得以实现分波前。分束器刻蚀槽缝宽为 $25\ \mu\text{m}$,深为 0.5 mm,反射表面斜率误差小于 $0.75\ \mu\text{rad}$ 。基于这一设计概念,研究人员开展了仪器研制工作^[24]。图 7 为软 X 射线干涉仪示意图,整个干涉仪安装于高真空室内,与超高真空光束线之间通过薄箔窗口分隔。

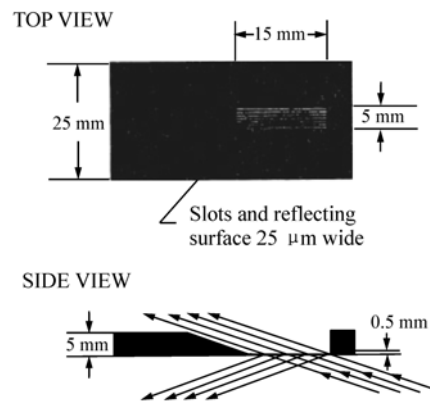


图 6 透射光栅式硅分束器方案设计
Fig. 6 Proposed design of the transmission-grating silicon beamsplitter

干涉仪中动镜台由双动液压活塞驱动,反射镜的位置采用外差式激光干涉仪测量。动镜台必须有足够的移动以引入所需的光程差,并且必须保持角度准直以确保两光束在探测器处相干重组。谱仪的总移动范围约为 1.5 cm,整个范围内

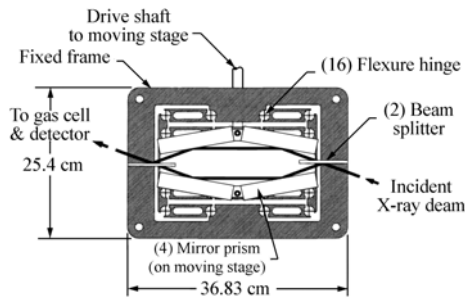


图 7 软 X 射线干涉仪示意图

Fig. 7 Schematic of soft X-ray interferometer

的角度公差为 $\pm 0.5 \mu\text{rad}$ 。采用单片马氏体时效钢板经电火花线切割加工制作的、安装 4 块反射镜的柔性铰链线性移动台是使之得以实现的关键。分波前分束器反射表面的平面度要求小于 $1 \mu\text{rad}$ ，表面粗糙度约为 0.3 nm RMS 。图 8 为分束器示意图，槽宽为 $50 \mu\text{m}$ ，周期为 $100 \mu\text{m}$ ，采用单晶硅片制作，反射表面镀钼膜。

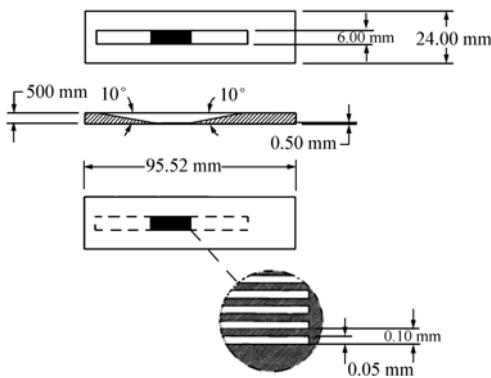


图 8 硅分束器

Fig. 8 Silicon beamsplitter

瑞典 Agåker 及其合作者共同研制了改进型 Mach-Zehnder 干涉仪^[25]，用于超软 X 射线发射光谱学研究。干涉仪（如图 9 所示）包括一块分束器，一块光束混合器和两块平面反射镜，掠入射角为 10° 。

入射光由分波前式分束器分至两臂，在光束混合器处复合。CCD 探测器记录所生成的干涉图。可通过扫描改变两臂程差，最大程差可至 $100 \mu\text{m}$ ，相当于 12 meV 的分辨率。通过转动分束器和其中一块平面反射镜的组合完成干涉仪光程差的改变，位于分束器表面的转动轴垂直于光

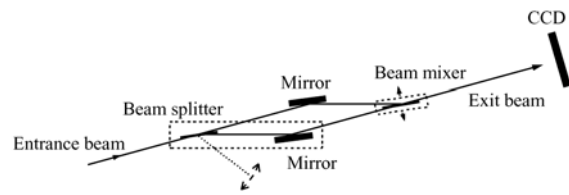


图 9 改进型掠入射 Mach-Zehnder 干涉仪示意图

Fig. 9 Schematic of the modified grazing-incidence Mach-Zehnder interferometer

路方向。分束器/平面镜组和的转动使用压电倾斜台，角度范围为 12 mrad ，精度为 $0.2 \mu\text{rad}$ 。由于组合的转动使得两路光在光束混合器上的重聚处位置发生变化，通过对光束混合器的移动来补偿这一变化。光束混合器安装于三轴压电台上，可提供 $10 \mu\text{m}$ 位移和两个方向亚微弧度分辨率的倾斜。由于强吸收，在软 X 射线波段，干涉仪中采用半反半透镜作分束器十分困难。对镜子不但要求厚度极薄而且极平，这使得镜子的加工难度极大。为避免这一困难，采用具有透射光栅结构的高精度分波前式分束器。采用适合短波段应用要求的掠入射方式，部分光束直接通过分束器，另一半经狭缝间的反射栅条镜表面反射。若光相干宽度大于分束器狭缝结构周期，干涉仪通过不同臂的光束将会在光束混和器后干涉。改进型掠入射 Mach-Zehnder 干涉仪照片如图 10 所示。高质量光学元件是保证由干涉产生的光强变化获得最大对比度的必要条件。表面粗糙度应尽量减少以降低散射，表面面形误差必须非常小以避免在光束混合器处光束的偏离。

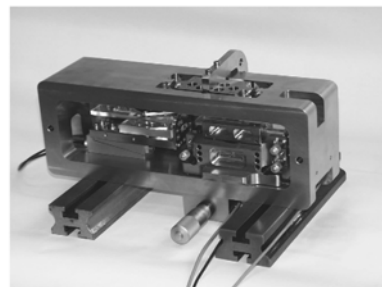


图 10 改进型掠入射 Mach-Zehnder 干涉仪装置照片

Fig. 10 Photograph of the modified grazing-incidence Mach-Zehnder interferometer set-up

分束器和光束混合器由镜坯制作,尺寸为(50 mm × 110 mm × 5 mm)。通光孔径为(25 mm × 30 mm),结构周期为200 μm。分束器栅条周期结构如图 11 所示。反射镜和分束器要求表面粗糙度小于 0.5 nm RMS,面形误差低于 1 μrad RMS。

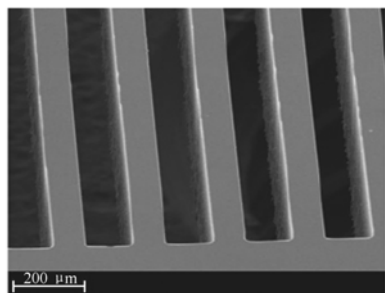


图 11 分束器部分反射表面扫描电镜照片

Fig. 11 SEM picture of partially reflective surface of beamsplitter

图 12 给出了改进型掠入射 Mach-Zehnder 干涉仪在瑞典隆德 MAX-lab NIM 光束线 I3 测得的干涉图快速傅里叶变换光谱^[26]。测试结果表明,能够用于波长至 22.5 nm 的真空紫外波段光谱测量。这一光谱仪是基于分波前式分束器,扫描长

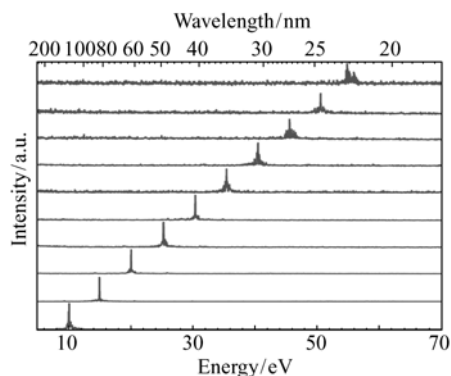


图 12 改进型掠入射 Mach-Zehnder 干涉仪测得的干涉图快速傅里叶变换光谱

Fig. 12 Fast Fourier transform spectra of interferograms measured with a modified grazing-incidence Mach-Zehnder interferometer

度短于法国的真空紫外扫描式分波前干涉仪,因而在分辨率上还不能与之相比。

3 结束语

在天体物理学领域的宇宙学、星际介质和恒星大气研究,地外大气和燃烧过程研究及等离子体物理和高电离态原子物理研究的推动下,真空紫外傅里叶变换光谱技术发展十分迅速。研制 200 ~ 0.2 nm 真空紫外傅里叶变换光谱仪有重要的学术意义和应用价值。20 世纪 80 年代英国帝国理工学院研制成扫描式真空紫外 Michelson 干涉仪,将傅里叶变换光谱技术延拓至真空紫外光谱区。但由于缺乏合适的分束器,限制了分振幅傅里叶变换光谱技术向真空紫外波段 150 ~ 120 nm 以下的更短波长的拓展。这种情况下,分波前式傅里叶变换光谱技术在真空紫外光谱区得到了新的应用。法国 de Oliveira 等人基于 Fresnel 双镜干涉原理,研制了分波前傅里叶变换光谱仪,波长范围 250 ~ 40 nm (5 ~ 30 eV)。瑞典 Uppsala 大学 Agåker 及其合作者基于改进型 Mach-Zehnder 干涉仪,采用微细加工技术制作的分波前型分束器,研制了另一种分波前傅里叶变换光谱仪。波长范围 10 ~ 100 nm。

研制真空紫外光谱区傅里叶变换光谱仪需解决相干光源应用、分波前型分束器研制、超高精度光学元件加工、分波前干涉仪高精度扫描驱动系统研制等四项关键技术,其中尤以高精度分波前型分束器微细加工难度大。从真空紫外傅里叶变换光谱仪研制和应用现状看,法国分波前傅里叶变换光谱仪方案先进、可行,避免用微细加工制作分波前分束器引发的一系列问题,值得深入探讨与采纳,并可作为我们拟研制的采用相干光源的真空紫外分波前傅里叶变换光谱仪器的切入点。

可以预期,随国内天体物理、地外大气物理、等离子体物理、高电离态原子物理等“大工程、大科学”研究的展开,分波前真空紫外傅里叶变换光谱技术将迎来全新发展时代。

参考文献:

- [1] THORNE A P, HARRIS J, WYNNE-JONES I, *et al.* A Fourier transform spectrometer for the vacuum ultraviolet: design and performance[J]. *J. Phys. E*, 1987, 20:54-60.
- [2] SANSONETTI C J, NAVE G, READER J, *et al.* Comprehensive observations of the ultraviolet spectrum and improved energy levels for singly ionized chromium (Cr II) [J]. *Astrophys. J. Suppl. Series*, 2012, 202:15.
- [3] NAVE G, SANSONETTI C J. Wavelength of the $3d^6(^5D)4s\ a^6D-3d^5(^6S)4s4p\ y^6P$ multiplet of Fe I (UV 8) [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2011, 28:737-745.
- [4] GURELL J, WAHLGREN G M, NAVE G, *et al.* Wavelengths, energy levels and hyperfine structure constants in Ho II [J]. *Phys. Scr.*, 2009, 79:035306.
- [5] KERBER F, LINDLER D, BRISTOW P, *et al.* Performance of the GHRs Pt-Ne hollow-cathode lamps after their return from space and comparison with archival data [J]. *SPIE*, 2006, 6266:62663A.
- [6] NAVE G, LI Z, SANSONETTI C J, *et al.* Atomic oscillator strengths in the vacuum ultraviolet using Fourier transform and grating spectroscopy [J]. *Phys. Scr.*, 2005, T119:35-39.
- [7] BLACKWELL-WHITEHEAD R J, PICKERING J C, PEARSE O, *et al.* Hyperfine structure measurements of neutral manganese with Fourier transform spectroscopy [J]. *Astrophys. J. Suppl. Series.*, 2005, 157:402-409.
- [8] NAVE G, SANSONETTI C J. Reference wavelengths in the spectra of Fe, Ge, and Pt in the region near 1935 Å [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2004, 21:442-453.
- [9] NAVE G. Atomic transition rates for neutral holmium (Ho I) [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2003, 20:2193-2202.
- [10] IVARSSON S, LITZÉN U, WAHLGREN G M. Accurate wavelengths, oscillator strengths and hyperfine structure in selected praseodymium lines of astrophysical interest [J]. *Phys. Scr.*, 2001, 64:455-461.
- [11] NAVE G, GRIESMANN U. New energy levels and classifications of spectral lines from neutral and singly-ionized dysprosium (Dy I and Dy II) [J]. *Phys. Scr.*, 2000, 62:463-473.
- [12] GRIESMANN U, BURNETT J H. Refractivity of nitrogen gas in the vacuum ultraviolet [J]. *Opt. Lett.*, 1999, 24:1699-1701.
- [13] GRIESMANN U, KLING R, BURNETT J H, *et al.* The NIST FT700 vacuum ultraviolet Fourier transform spectrometer: applications in ultraviolet spectrometry and radiometry [J]. *SPIE*, 1999, 3818:180-188.
- [14] NAVE G, JOHANSSON S, THORNE A P. Precision vacuum-ultraviolet wavelengths of Fe II measured by Fourier – transform and grating spectrometry [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1997, 14:1035-1042.
- [15] NAVE G, JOHANSSON S, AXNER O, *et al.* Analysis of the $3d^64s(^6D)6d$ subconfiguration of Fe I by laser-enhanced ionisation and emission spectroscopy [J]. *Phys. Scr.*, 1994, 49:581-587.
- [16] THORNE A. Fourier-transform spectroscopy into the vacuum-ultraviolet [J]. *Nature Photon.*, 2011, 5:131-133.
- [17] STRONG J, VANASSE G A. Lamellar grating far-infrared interferometer [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1960, 50:113-118.
- [18] DE OLIVEIRA N, JOYEUX D, PHALIPPOU D, *et al.* A Fourier transform spectrometer without a beam splitter for the vacuum ultraviolet range: from the optical design to the first UV spectrum [J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 2009, 80:43101.
- [19] DE OLIVERIA N, ROUDJANE M, JOYEUX D, *et al.* High-resolution broad-bandwidth Fourier-transform absorption spectroscopy in the VUV range down to 40 nm [J]. *Nature Photon.*, 2011, 5:149-153.
- [20] NAHON L, DE OLIVEIRA N, GARCIA G A, *et al.* DESIRS: a state-of-the-art VUV beamline featuring high resolution and variable polarization for spectroscopy and dichroism at SOLEIL [J]. *J. Synchrotron Rad.*, 2012, 19:508-520.
- [21] DE LANGE A, DICKENSON G D, SALUMBIDES E J, *et al.* VUV Fourier-transform absorption study of the Lyman and Werner bands in D₂ [J]. *J. Chem. Phys.*, 2012, 136:234310.
- [22] UBACHS W, SALUMBIDES E J, EIKEMA K S E, *et al.* Novel techniques in VUV high-resolution spectroscopy [J]. *J. Electron. Spectrosc. Relat. Phenom.*, 2014, 196:159-164.
- [23] HOWELLS M R, FRANK K, HUSSAIN Z, *et al.* Toward a soft X-ray Fourier-transform spectrometer [J]. *Nucl. In-*

strum. Methods Phys. Res., 1994, A347:182-191.

- [24] MOLER EJ, DUARTE R M, HOWELLS M R, *et al.*. First measurements using the ALS soft X-ray Fourier transformspectrometer[J]. *SPIE*, 1997, 3154:117-122.
- [25] AGÅKER M, ANDERSSON J, ENGLUND C J, *et al.*. Novel instruments for ultra-soft X-ray emission spectroscopy[J]. *Nucl. Inst. Meth Phys. Res. A*, 2009, 601:213-219.
- [26] AGÅKER M, ANDERSSON J, ENGLUND J C, *et al.*. Spectroscopy in the vacuum-ultraviolet[J]. *Nature Photon.*, 2011, 5:248.

作者简介:



李志刚(1972—),男,吉林长春人,博士,研究员,2000年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事空间光学遥感技术及辐射定标方面的研究。E-mail:lizhg@ciomp.ac.cn

《发 光 学 报》

—EI 核心期刊 (物理学类; 无线电电子学、电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊,曾于1992年,1996年,2000年和2004年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”,并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年;美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自2000年;美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年;日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自2003年已定期收录检索该刊论文;2008年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊;2010年被美国“EI”确定为源期刊。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中,《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。2004年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。本刊内容丰富、信息量大,主要反映本学科专业领域的科研和技术成就,及时报道国内外的学术动态,开展学术讨论和交流,为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》自2011年改为月刊,A4开本,144页,国内外公开发行。国内定价:40元,全年480元,全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿。

地 址:长春市东南湖大路3888号

《发光学报》编辑部

邮 编:130033

电 话:(0431)86176862, 84613407

E-mail: fgxbt@126.com

国内统一刊号: CN 22-1116/04

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国内邮发代号: 12-312

国外发行代号: 4863BM

http://www.fgxb.org