

法程序,由大于 1.2 $|E|$ 值,估算出 201 个相角,得出 3822 个独立三重积和 177 个负四重积进行修正,其优指数为 0.091。在 $|E|$ 图上出现了强度比其他峰大 2—3 倍的 7 个强峰,这种强峰可能属于 Ba 原子。将这 7 个 Ba 原子位置输入 ARIT4 程序,进行 Rietveld 法修正,得出一套新的 $|F|$ 值,并考虑反常色散因数,重复 Fourier 合成和 Rietveld 法修正,依次确定出其他三个 Al 原子和 19 个 F 原子的位置。最后将不对称单胞内 29 个独立原子输入 Rietveld 法进行全谱峰形拟合修正,所得结果见表 3。最后得到 $R_p = 6.8\%$, $R_{wp} = 8.4\%$ 的满意结果。

参 考 文 献

[1] W. I. F. David, *Nature*, **346**(1990), 731.
 [2] G. Bricogne, *Acta Crystallgr.*, **A47**(1991), 803.
 [3] C. I. Gilmore et al., *Acta Crystallgr.*, **A47**(1991), 830.
 [4] C. M. Freeman and C. R. A. Catlow, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, (1992), 89.
 [5] K. D. M. Harris et al., *J. Amer. Chem. Soc.*, **116**(1994), 3543.
 [6] R. E. Morris et al., *J. Solid State Chem.*,

111(1994), 52.
 [7] H. P. Plug and L. E. Alexander, *X-Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials*, John Wiley and Sons, 2nd Ed., (1974).
 [8] 梁敬魁, *相图与相结构*(下册), 科学出版社, (1993).
 [9] P. E. Werner et al., *Z. Krist.*, **120**(1964), 375.
 P. E. Werner et al., *J. Appl. Cryst.*, **9**(1976), 216; **18**(1985), 367.
 [10] J. W. Visser, *J. Appl. Cryst.*, **2**(1969), 89.
 [11] D. Louer et al., *J. Appl. Cryst.*, **5**(1972), 271; **15**(1982), 542.
 [12] R. A. Young and D. B. Wiles, *J. Appl. Cryst.*, **15**(1982), 430.
 [13] A. LeBail et al., *Mat. Res. Bull.*, **23**(1988), 447.
 [14] G. S. Pawley, *J. Appl. Cryst.*, **14**(1981), 357.
 [15] G. S. Pawley, *J. Appl. Cryst.*, **13**(1980), 630.
 [16] J. Jansen et al., *J. Appl. Cryst.*, **25**(1992), 231.
 [17] J. Jansen et al., *J. Appl. Cryst.*, **25**(1992), 237.
 [18] S. V. N. Naidu and C. R. Houska, *J. Appl. Cryst.*, **15**(1982), 190.
 [19] P. Main, in "Crystallographic Computing 3", Ed. by Sheldrick et al., Oxford, Clarendon Press, (1985), 206—215.
 [20] G. E. Sheldrick, *Acta Cryst.*, **A46**(1990), 467.
 [21] Fan Hai-fu et al., *Acta Cryst.*, **A46**(1990), 99.
 [22] R. Peschar, in *Molen Molecular Structure Solution Procedures*. Vol. 3, Delft. Enraf-Nomus, (1990), 59—82.
 [23] G. Cascarano et al., *J. Appl. Cryst.*, **25**(1992), 310.
 [24] A. LeBail, *J. Solid State Chem.*, **103**(1993), 287.

关于伦琴的三篇通讯¹⁾

——纪念 X 射线发现 100 周年

宋 德 生

(广西社会科学院, 南宁 530022)

100 年前,德国物理学家伦琴(W. Conrad Roentgen, 1845—1923)在维尔茨堡大学(Würzburg University)物理研究所发现了 X 射线。

伦琴一生中发表过 58 篇论文,而以 X 射线为研究对象的只有三篇实验通讯。现在要找这三篇通讯还不太容易,在国内能集中找到这三篇通讯的书籍是尼特斯克(W. R. Nitske)写的 *THE Life of Wilhelm Conrad Roe-*

ntgen——Discoverer of the X-ray。本文所引用的是出自于这本书的附录 3—5 部分^[1]。伦琴的通讯论文安排有节号,引证比较方便。本文将这三篇论文分别简称为通讯一、通讯二和通讯三,并在引用处标注一个罗马字母和一个阿拉伯字母,前者表示出自第几篇,后者表示节

¹⁾ 1995 年 3 月 1 日收到初稿, 1995 年 4 月 14 日收到修改稿。

号,如(1,5)系指“通讯一”第5节。

1 从“通讯一”看伦琴怎样发现 X 射线

1895年12月28日,伦琴向维尔兹堡物理学和医学学会递交了第一篇X射线研究通讯——《一种新射线》(Eine neue Art von Strahlen (vorläufige Mittheilung)),宣告发现了X射线。可以说,凡从事阴极射线研究的人都“看见”过X射线,然而在伦琴之前,没有人能够确认它是一种新射线。较早将X射线明显暴露出来的至迟可以追溯到1859年普吕克(J. Plücker)的阴极射线管实验^[2]。后来,普吕克的学生希托夫(J. W. Hittorf)在1869年进行的实验^[3],1876年戈德斯坦(E. Goldstein)的实验^[4],以及1879年克鲁克斯(Sir W. Crookes)用带有马耳他十字形云母障碍物的阴极射线管所做的实验^[5],都已经一步一步地把X射线暴露出来。很遗憾,他们因困惑于阴极射线到底是以太横向振动还是带电粒子流这样一个问题,竟未能“越雷池一步”,让眼皮下的新射线溜过去了。及至1892年和1893年,赫兹(H. Hertz)和勒纳(P. Lenard)又分别做了阴极射线“穿透”金属屏障^[6]和铝窗^[7]的实验,但因同样原因(他们都是以太波动论者),把X射线当作了“穿透”力极强的“硬”阴极射线或“外阴极射线”。

在此以前,伦琴主要从事压力对电介常数的影响及介质在电磁场中的性质等方面研究,他因在1879年发现介质在电磁场中的位移电流获得了国际声誉。1894年6月,伦琴注意力转向了阴极射线。

伦琴起初实验时,将阴极射线管放在一个黑纸袋中,关闭了实验室灯源,隔断了放电线圈火花对荧光屏的闪射。他发现,当开启放电线圈电源时,一块涂有氰亚铂酸钡的荧光屏发出荧光,“离设备两米之处仍可看到这种荧光”(1,1);而且用一本1000页的书,两叠纸牌,2—3cm厚的松木板,或几厘米厚的硬橡胶板插在放电管和荧光屏之间,也能看到荧光屏上荧光

闪烁如初。他又用盛有水、二硫化碳或其他液体的云母容器进行实验,实验结果表明它们“也是透明的”。铜、银、金、铂、铅等金属也能让射线通过,只要它们不太厚。“铂0.2mm仍然透明,银和铜甚至可以更厚一些。铅1.5mm厚实际上就不透明了”;“一块厚度大约15mm厚的铝板虽然会大大减弱效应,但并非造成荧光完全消失”。伦琴惊奇发现,“如果一只手插在放电设备和荧光屏之间,就能看见在手的朦胧的影象中出现了较深的手骨阴影”(1,2)。至此他已经认识到一种新射线的存在,于是在这一节以注释的形式引进了X射线一词。他说:“为了方便,我使用射线一词,而为了将它们与其他[射线]相区别,我将使用名词X射线”。

由于X射线具有极强的穿透力,伦琴自然希望发现一些与这种穿透力有关的因素。他发现相同厚度的不同物质,对X射线的“透光度”“首先决定于它们的密度”;但这不是唯一的,因为对于密度相近的玻璃、铝、方解石和石英,方解石“明显比其他物质的透光度小得多”(1,3)。这里涉及到物质的结构和元素的性质,深入探讨是他力所不能及的。他还发现,物质对X射线的“透光度随着物质的厚度与密度之积的减小而以更快的速度增加”(1,5)。这里涉及到物质对X射线的吸收与质量的关系,也是当时条件还无法给予精确解释的现象。

伦琴深受德国以太波动论影响,认为X射线是以太的某种振动形式,因此希望找到X射线是否具有可见光的那些性质。他用30度角的硬橡胶、铝以及盛有水、二硫化碳的棱镜形云母容器做实验,未发现X射线折射;他用大的硬橡胶和玻璃透镜做实验,未发现聚焦(1,7)。他说,“看来它们在所有物质中以相同速度运动”(1,8)。伦琴承袭了赫兹的作法。赫兹在证明电磁波的横波性时使用了一个很大的硬沥青三棱镜,因此伦琴认为用一个一般大小的三棱镜也能使X射线折射,殊不知赫兹处理的波具有上百米的波长,而他所面临的波的波长只有0.1Å的量级。后来人们才懂得用晶体衍射的方法能够观察到X射线的折射、干涉和衍射

等现象，劳厄（M. von Laue）等人在1912年解决了这个问题。伦琴唯一能够肯定的是X射线的直线传播，这是他用针孔照相机拍摄所获得的结果。

既然X射线是一种不同于阴极射线的新射线，就得寻找这两种射线的区别。伦琴发现X射线不带电，这就是他的一个基本根据。在他较早的实验中，他用阴极射线撞击玻璃管壁产生X射线，因此他能用磁铁在管外调节X射线的方向。他发现荧光屏上的荧光并未因磁铁的作用而发生位移。他说：“我由此得出结论，X射线与阴极射线是不同的，但它们是阴极射线撞击放电设备的玻璃壁产生的”（I, 12）。

伦琴进一步指出X射线也不同于紫外线。这只是他的不完全判断所得到的正确结论，因为他未发现X射线具有紫外线的折射、反射、偏振及衍射这些性质。另外，物质对紫外线的吸收受到多重因素影响，而他发现X射线被物质吸收似乎只与物质密度有关（I, 17）。

当时伦琴还不知道X射线对人体的危害，不知多少次用肉眼（他还患绿色色盲）直接观察X射线。他说：“眼睛的视网膜对这些射线是不敏感的。把眼睛靠近放电设备，什么也看不见，显然，根据实验眼睛里包含的介质对于传输这些射线是足够透明的”（I, 6）。随后不久，X射线烧伤人的事件出现了，以致有人指责伦琴不该发现这种“死亡射线”^①。

由于伦琴一方面相信X射线是一种以太的波动，另一方面又没有观察到X射线具有可见光的那些性质，因此他就认为X射线是以太的纵向振动。他在“通讯一”最后一段中说道：“我必须坦白，我在研究过程中越来越相信这个思想，因此我冒昧提出这个理论，虽然我完全知道所给出的解释需要进一步给予肯定”（I, 17）。

2 “通讯二”涉及的两个问题

伦琴对他的实验守口如瓶，直到1895年12月22日他才告诉他的夫人发现了X射线。当天，他领她进入实验室，给她拍了手的照片，照

片将她的手骨连同手指上的两个戒指清楚地显示出来，以至于这张照片在公众面前比任何实验数据都更具说服力。当人的手骨照片公布于众时，所引起的轰动是可想而知的。1896年元月5日，《维纳尔时报》率先向公众披露了伦琴的发现。接着，英国《自然》和《电学家》、法国《电学》以及美国《科学》等杂志相继刊登出伦琴“通讯一”的译文。伦琴的名字一下就传扬开来了。学者、学生、记者、官员纷至沓来。伦琴本想抓紧时间解决那个“需要进一步给予肯定”的问题，可是他再也无法安定下来。稍后他又进入实验室，但不知什么原因，他没有再去证明X射线的“纵波”性质。也许这对他对科学的发展都是一个有益的转变。

1896年3月9日，伦琴向维尔兹堡物理学和医学学会递交了第二篇通讯——《一种新射线（续）》（Eine neue Art von Strahlen (Fortsetzung)）。它是“通讯一”的续文，全文仅有4节，是三篇通讯中最短的一篇。

“通讯二”只讨论了两个问题，一是X射线辐射使带电物体放电，二是哪些物质可以产生X射线。第一个问题实际涉及X射线的光电效应。伦琴在“通讯二”中说道：“在我第一篇论文发表时我已经知道X射线能够使带电物体放电。我怀疑，在勒纳实验中他所说的无变化地通过他的设备铝窗并使远处带电物体放电的东西，也是X射线，而不是阴极射线”。这里所说的勒纳实验，是指他在1893年做的有铝窗阴极射线管实验。那个实验表明，阴极射线撞击铝窗产生了X射线，而X射线照射空气分子又产生了光电效应，勒纳却认为是阴极射线穿过铝窗后产生的效应。伦琴不同意勒纳的解释，他要重新进行观察。

伦琴在实验中发现（II, 18）：（1）“物体在空气中无论带正电还是带负电，如果受到X射线的照射就会产生放电。射线强度越大，放电的速度就越快。”（2）带电物体如果不是被空气包围，而是被其他绝缘物包围着，受X射线作用时仍可以放电。（3）如果包围带电物体的绝缘物被一根导线接地，带电体似乎不能放电。（4）

带电物体在干燥氢气中比在空气中放电的速度慢一些。(5) 带电体在真空中比在空气中放电的速度更慢。

值得说明的是, 伦琴实验和勒纳实验所发现的都是光电效应, 而他们又都是以太波动论者, 因此一些科学史学家认为这一发现对于他们坚持波动论自设了障碍, 相反对导致光量子假说起了积极作用^[7]。

下面让我们看看伦琴在“通讯二”讨论的第二个问题。

为了便于考察哪些物质可以产生 X 射线, 伦琴改进了实验设备。他在隆姆柯尔夫 (Ruhmkorff) 感应线圈和放电管之间插入一个特斯拉 (Tesla) 变压器和电容器的组合电路, 以获得稳定阴极电流 (II, 19)。经过多次实验他得到如下结论: “没有固体物质在阴极射线作用下是不能产生 X 射线的。但在我看来也还没有明摆着的理由可以解释在同样条件下为什么液体和气体不产生这种效应” (II, 20)。

为了比较铂和铝产生 X 射线的的能力, 伦琴做了一个双金属实验。所谓双金属是指用来产生 X 射线的板的一半由铝片做成, 另一半是铂片, 各厚 1 mm 和 0.3 mm。实验时, 他用针孔照相机拍照, 结果发现铂片产生的 X 射线更强。他说, “根据我至今的实验, 铂最适合用来产生最高强度的 X 射线”。接着他对从阳极板后面产生的 X 射线拍照, 其结果就不同了, “从铂片上几乎没有 X 射线发射, 而从铝片发射的相对的多” (II, 20)。

伦琴还发现, 金属无论作不作阳极, 所产生的 X 射线都是同一的。他说: “我应当提出这样一个结论, 就 X 射线强度而言, 这些射线是否由阳极产生, 都是无关紧要的” (II, 21)。由于不作阳极的金属是在受到由其他物体 (如射线管的玻璃壁) 产生的 X 射线的照射才发出 X 射线, 实际上是一种二次发射, 因此伦琴这一发现又暗示着一级 X 射线和二级 X 射线的同一性。

3 伦琴第三篇通讯及其他

伦琴又经过一年实验研究, 在 1897 年 3 月 10 日向普鲁士科学院递交了第三篇通讯论文——《对 X 射线性质的进一步观察(第三篇通讯)》(Weitere Beobachtungen an den Eigenschaften von X Strahlen (Dritte Mittheilung))。伦琴这篇论文主要是报道他对 X 射线性质的进一步研究成果。他在此提出了物质对 X 射线的“透光度”(transparency)、“比透光度”(specifictransparency) 等概念。这篇论文是三篇论文中最长的一篇, 分 11 节, 不再作为“通讯二”的续文, 节号是从 1 开始。

如前所述, 伦琴已经在“通讯二”中指出 X 射线可以使空气中或其他介质中的带电物体放电。现在他要研究空气对 X 射线是否具有散射作用。他发现, 即便把荧光屏放在一块可以完全盖着它的障碍板后面, 仍然可从荧光屏的边缘看到荧光。他又做了一个实验, 把荧光屏放进一个铅筒, 铅筒一端盖上一块不透 X 射线的板, 另一端留着观察使用, 然后将 X 射线投向铅筒, 这时荧光屏没有闪烁。他在解释前一实验时有两种考虑, 一是前一实验本身似乎说明“所说的现象很可能是由波长很长的射线的衍射产生的”。二是, 根据后一实验观察, 似乎起关键作用的不是衍射, 而是受激空气, 因此第一个实验中荧光屏边缘出现的荧光, 很可能是由“受辐射的空气”引起的。最后他还是倾向于后一解释 (III, 1)。

“通讯三”的一个显著特点, 是用较大的篇幅处理 X 射线实际应用所迫切需要解决的问题, 其中包括 X 射线最佳发射角, 射线强度与电流强度的关系, 物质的透光度, 以及射线对感光体的作用等等。X 射线的发现首先推动了医学技术和与之相关的 X 光机设备技术的发展。在这种情况下, 他把研究方向转到为实际应用服务的方向是很自然的。归纳说, 他在“通讯三”中提供了如下具有参考价值的信息:

(1) 关于 X 射线的发射角。伦琴的结论

是：“阴极射线以45度入射[阳极]最为合适”。在这种情况下X射线在发射角小于80°角的范围内没有明显变化，大于80°角时才稍微减弱，而在89°—90°角之间出现锐减。他说：“铂板与荧光屏或与照相板之间的夹角越大，[所截获得X射线]就越强”，因此，“宜推荐把放电管放在这样一种位置，在这个位置上用来产生图象的射线以尽可能大的角度离开铂[阳极]板，只要不超过80度就行。按这种方法可以获得最为清晰的图象”（III,3）。

(2) 关于物质对X射线的透明度。伦琴为此提出了物质对X射线的“透光度”和“比透光度”。他说：“我在第一篇通讯中已将物质的透光度设计成荧光屏的亮度比，即一块垂直于X射线并且紧置于[待测]物背后的荧光屏的亮度对同样条件下没有插入物质的亮度之比。物质的比透光度等于这种物质相对于单位厚度的这种物质的相对亮度；它等于透光度的 d 次根， d 是在X射线方向上测量得到的穿过物质层的厚度”（III,4）。值得说明的是，这两个量都是相对量。伦琴之所以使用相对量，是因为尚有许多因素无法测量；而且，他对距离的考虑也是置于光照强度与距离平方成反比的大前提下的。这样，伦琴就可以用“同等条件”来概括不必涉及的内容。另外，他所提出的根式关系只有在设置透光度大于1的时候才能成立（而他给出的所有透光度都是小于1的数值）。但是，该根式关系反映了物质对X射线的吸收不随物质的厚度线性减弱的规律，这是积极的。例如，他在“同等条件”下测得1mm厚和2mm厚的铝板的透光度分别为0.45和0.30（III,4），表明物质对X射线的吸收与物质的厚度不存在线性关系。他还发现，“两块等透光度的不同材料的板的厚度之比，还决定于物质本身的厚度和材质”（III,6）。例如，他发现一块0.0026mm的铂片的透光度等于单片厚度为0.0299mm的6块铝片的透光度，而6块这样铂片就不再等于12块这样铝片的透光度（III,5）。

(3) 关于X射线的强度。伦琴依据X射线的穿透力来区别阴极射线管的“软”、“硬”。他

说，“放电管因其结构或玻璃厚度只有微小的区别，而主要因其含气体的真空度和放电电势改变其性质”。他发现，在等透光度下，铂箔对铝箔的厚度比与射线管的性质明显有关，管子越“硬”，厚度比就越小。透视手的结果是：“用一个非常软的管子获得一个骨骼不太突出的昏暗图象；但用一个较硬的管子，骨骼的所有细节与软组织的比较就变得十分清楚”（III,7）。他还发现，管子真空度越大，X射线就越硬；但是，一只硬管用过一段时间会变得更硬，他认为这是由于“发生了逐步的自我抽真空”（III,8）。

他又用同一个管子做实验，将荧光屏放在刚刚可以发出荧光的位置，然后调节放电电压，再改变管子的位置，比较实验数据，结果发现：“那些距离之平方几乎与对应的电流强度是同一比值”（III,8）。这实际上把光照强度定律与光源的性质联系起来。之所以能够这样，是因为空气对X射线的吸收与波长有关，即波长越大就越易被空气吸收。伦琴还敏锐发现，任何管子发射的X射线都是复合的射线（当时还未发现特征X射线），正如白光那样。

(4) 对感光体的研究。不同的感光材料对X射线的反映是不同的，最突出的是荧光屏和照相胶片对X射线的反映。伦琴做了这样一个实验，他将一块半边为铝半边为铂的金属片放在感光材料和放电管之间，分别用一个“硬”管和一个“软”管照射各边，调整两个管子的位置，以使两束射线在同一个荧光屏上产生荧光的亮度相等。然后用照相底片代替荧光屏，结果发现胶片上的阴影出现了差异，“被硬管照射的那一半比另一半的阴影程度大为减弱”（III,10）。前一实验表明，光照强度大体遵循距离平方的反比定律；而后一实验则说明，“硬”管发射的X射线中含更多的短波成分，尽管两束射线在感光体上照度相同，但因短波不易被空气吸收，因此硬X射线在底片上更能激发化学反应，从而造成被“硬”管照射的那一半底片的阴影程度低的结果

致谢 在本文撰写过程中笔者得到中国科学院物理研

究所李国栋研究员的鼓励、支持和帮助,在此谨向他表示深切谢意。

参 考 文 献

- [1] W. R. Nitske, The Life of Wilhelm Conrad Roentgen, The University of Arizona Press, (1971), 310, 336.
[2] T. W. Chalmers, Historic Researches in Physoc Science, Morgan Brothers, London, (1949), 198.
[3] J. W. Hittorf, *Annalen Der Physik Und Che-*

mic, **126**(1869), 1.

- [4] 宋德生、李国栋, 电磁学发展史, 广西人民出版社, (1987), 366—369.
[5] H. Hertz, *Annalen Der Physik*, **45**(1892), 28—32.
[6] P. Lenard, *Annalen Der Physik*, **51**(1894), 225—268.
[7] B. R. Wheaton, Philipp Lenard And The Photoelectric Effect, 1889—1911, In R. McCormarch Ed., The Historic Studies in Physical Sciences, **9**(1978), 229.

中国物理学会第六届全国会员代表大会暨学术报告会简讯

中国物理学会第六届全国会员代表大会暨学术报告会于1995年5月11日至15日在北京中科院物理所召开,与会代表135人。中国科协主席朱光亚、国家自然科学基金委主任张存浩、著名老一辈物理学家王淦昌、王大珩、马大猷、黄昆、彭桓武、李林等出席了会议。会议民主选举了第六届理事会,由107人组成。会议期间还颁发了第四届胡刚复、饶毓泰、叶企孙、吴有训物理奖,中国科学院高能物理研究所谢家麟的《对我国射频电子直线加速器技术的开创与发展的贡献》获胡刚复物理奖;中国科学院物理研究所杨国桢、顾本源的《光学系统中振幅-相位恢复的普遍理论及应用》获饶毓泰物

理奖;中国科学院近代物理研究所石双惠、中国原子能科学研究院周书华等的《 ^{187}Hf , ^{237}Th , ^{202}Pt , ^{90}Ru 和 ^{208}Hg 新核素的鉴别》获吴有训物理奖;中国科学院高能物理研究所杜东生的《重味物理与 CP 不守恒》获吴有训物理奖。

会议还按各分支学科举行了学术报告会,有34位物理学家分别做了学术报告,内容丰富,反映了我国物理学研究工作的新进展,引起了与会代表的很大兴趣,获益匪浅。大会在隆重热烈的气氛中圆满结束。

(中国物理学会办公室 程义慧)

采用直接外延方法生长的量子线结构及其光学性质¹⁾

汪兆平 邢益荣

(中国科学院半导体研究所,北京 100083)

摘要 本文介绍利用分子束外延方法在 GaAs 的某些特殊表面上原位直接生长 GaAs/AlAs 量子线结构的几种方法,包括采用(311)等高指数面、(001)邻晶面以及(110)解理面二次生长。着重讨论量子线结构的形成机理及其光学特性。这些方法能避开目前纳米尺度刻蚀技术的困难,可能成为制备低维结构的有希望的途径。

关键词 量子线,直接外延生长,光学性质

1970年美国IBM公司的江崎和朱兆祥首先提出超晶格的概念。在外延生长期间,如果组分或杂质周期地变化,当周期生长的薄层厚度小于电子的德布罗意波长或电子平均自由程时,就要考虑量子尺寸效应。这时,沿生长方向

形成周期交替的势阱和势垒,势阱中的电子能量状态量子化,电子运动呈现二维特性。由于以分子束外延(MBE)和金属有机物化学汽相

1) 1994年7月20日收到初稿,1994年10月13日收到修改稿。