

# 微结构气体探测器及其应用



20 世纪 70 年代以来，气体粒子探测器得到很大发展。微结构气

体探测器 (Micro-Pattern Gas Detector, 简称 MPGD) 目前已成为国际气体探测器研究的热点, 在高能物理实验中获得新的应用, 并广泛应用于高能物理、核探测和国民经济诸方面。

## 一、微结构气体探测器的种类

### 1. GEM

利用气体中电子在微孔内的雪崩效应使电子倍增 (Multiplication) 的新型气体探测器 GEM (Gas Electron Multiplier) 于 1997 年在欧洲核子研究中心 (CERN) 由绍利 (F. Sauli) 发明。GEM 的倍增电极是  $50\mu\text{m}$  厚的聚酰亚胺 (kapton) 膜, 上下覆盖以  $5\mu\text{m}$  铜层, 再在膜板上用光刻技术蚀刻出间距  $140\mu\text{m}$ 、直径  $70\mu\text{m}$  的圆孔, 微孔内部形状为双圆锥形, 呈三角形排列 (图 1)。微孔利用光刻、化学腐蚀等制成, 制作方法很复杂。在 GEM 的倍增电极上下两端施加适当电压, 产生的电场结构如图 2 所示。

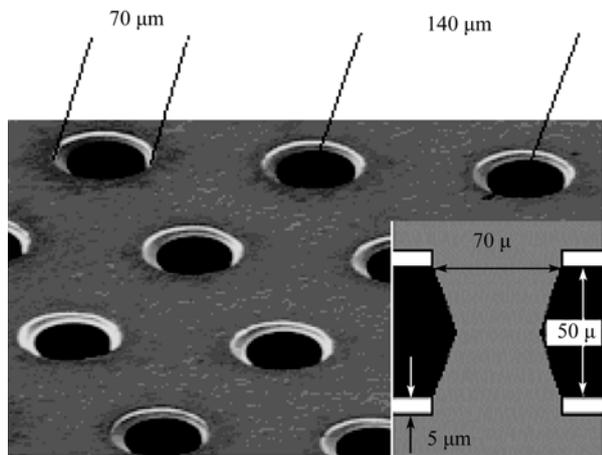


图 1 单级 GEM 膜的示意图

将几个倍增结构级联使用, 可制成多重 GEM 探测器。图 3 是三层 GEM 室体的结构示意图。最上面为阴极, 加电压约为  $-1600\text{V}$ , 阴极与第一层

谢一闪

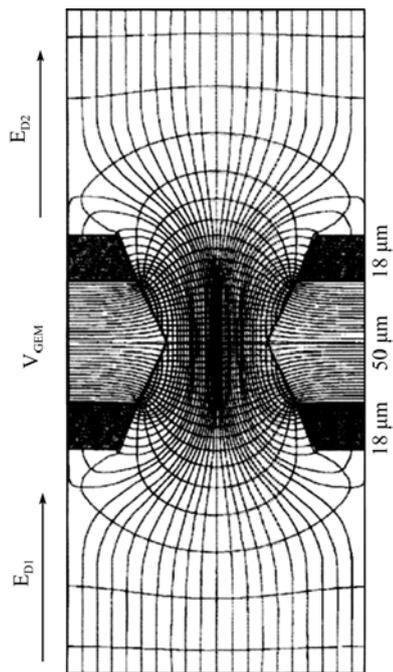


图 2 GEM 的电场结构

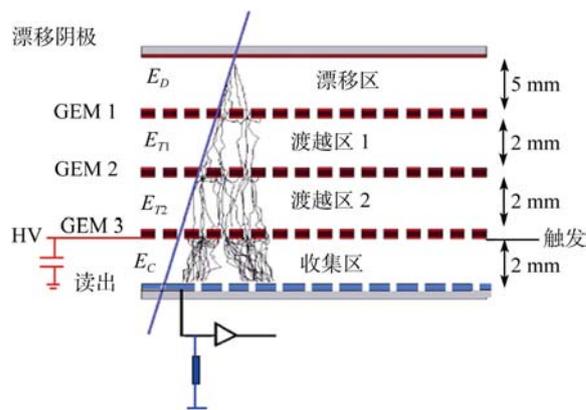


图 3 三层 GEM 室体的结构示意图

GEM 膜之间为漂移区, 待测带电粒子在此区内产生的离子对中的电子在漂移场内被导入多孔内。厚度为  $50\mu\text{m}$  的 GEM 膜上下电极之间加约  $350\sim 400\text{V}$  的电压, 在孔内形成强电场, 大到约  $8\times 10^4\text{V/cm}$ 。电子的雪崩增殖就发生在孔内。气体倍增因子是当一个电子进入孔内经雪崩后于出孔处增殖的电子数, 它的雪崩增殖原理和丝室原理是一样的, 只不过是发生在圆孔内而已。经三级雪崩增殖后得到总

的气体倍增因子，它相当于三个倍增因子相乘，再乘以电子在两个间隙中没能进入孔的因子。这些电子群进入最下层 GEM 膜与阳极之间的感应区，最后被阳极收集。单级 GEM 的气体倍增因子可达 50 左右，总的气体倍增因子可达  $10^5 \sim 10^6$  甚至更高。特别要指出的是它与丝型气体探测器的区别在于，阳极上的电信号来源于感应区内（即图中的收集区）雪崩放大后的大量电子，而不是正离子鞘为主。各层 GEM 中的正离子朝向阴极运动，而且被微孔板电极所屏蔽，不可能对阳极信号有贡献。感应区的间隙又很窄，电子群渡越到阳极的时间非常短，这就是信号极快，上升时间短，计数率高的根本原因，比丝室信号快 1~2 个数量级。GEM 的时间分辨主要由电子群在各级间特别是感应区内渡越的时间弥散（分散）程度决定，而不是电子群的渡越延迟时间决定。

## 2. THGEM

2004 年阿莫斯·布莱斯金（Amos Breskin）等用一般印制板 PCB 打孔法发明了厚型(thick)GEM，即 THGEM 或 LEM (Large GEM)，其厚度一般在 0.2~1.2 mm，甚至可达 3 mm，孔径与厚度相当，按三角形排列，其孔距约比孔径大一倍，一般有边缘 (Rim) 约 0.1 mm (图 4)，也有无边缘的。各有其特点。

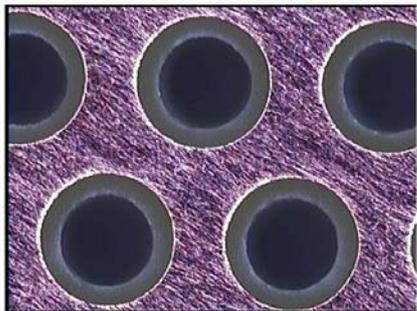


图 4 有边缘的 THGEM

THGEM 工作原理与 GEM 相同。除与 GEM 的相同之处与优点外，THGEM 还具有易于制造维护、清洁要求较 GEM 低、高气体增益、级联使用方便（单层增益  $10^3 \sim 10^4$ ，双层可达约  $10^7$ ）、相对价廉等优点。虽然它的极限空间分辨率比 GEM 稍差，但也可达到亚毫米量级。GEM 的空间分辨率主要由阳极读出电极的密集程度和到达阳极的电子群的散开程度决定，当然它能达到的最小分辨的极限值又与孔距等有联系。国内一些单位也在研制，其中中

科院研究生院和高能所研制了多种不同厚度（0.1 mm~1 mm）、孔径、孔距、有大边缘（约 0.1mm）和小边缘（约 0.007mm）的 THGEM（图 5），并已对其增益、放电、稳定性等参数进行了深入的研究。

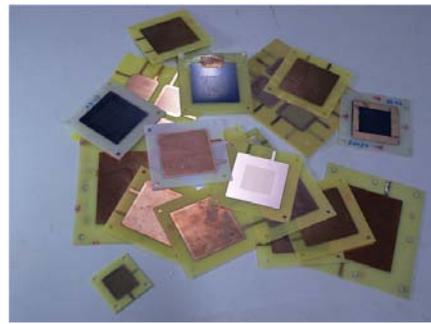


图 5 多种 THGEM

另外在 THGEM 上涂覆阻性膜（如聚酰亚胺），可以减小放电的几率和减小每次放电的电量，也是近几年来国际上很重视的问题。因它可以保护前级电路和提高气体增益，很有实用意义。此外，如在 THGEM 上涂覆碘化铯（CsI）等，用以探测紫外光，国外也在深入研究。

## 3. MicroMegas

1997 年乔马塔里斯（Y. Giomataris）在 CERN 和法国最先研制成功微网格气体探测器（MICRO MESH Gaseous Structure，简称 MicroMegas）。这种探测器在金属网（如 400~600 目的铜或不锈钢网，孔径  $20 \sim 40 \mu\text{m}$ ）<sup>①</sup>和阳极的极小间隙（如  $100 \mu\text{m}$ ）内加上很强的电场（如  $50 \text{ kV/cm}$ ）（图 6）。当粒子入射到网上方（与图 3 类似）的漂移区内时，因区内电场较低（约  $1 \text{ kV/cm}$ ），所产生的原电离电子漂移到下面的强电场区产生雪崩，雪崩主要在阳极附近几微米发展到最大。注意和 GEM 不同的是，正离子运动对感应信号也有重要贡献，这是因为在 MicroMegas 中，正离子没有被屏蔽（GEM 中的正离子在阳极附近几乎全被屏蔽了）。在离收集信号很近且窄的高电场区内，正离子反向运动，其渡越到丝网电极的速度和所需的时间非常短；而其在阳极上感应负信号，对阳极信号贡献是重要的，使信号有极好的时间性能。脉冲可窄到 10 纳秒。我们早期用直径 0.1mm 的鱼线支撑雪崩区上的金属网以精确并均匀地维持这一极窄空间，其他研究人员也使用石英丝等。新的方法是用光刻法刻蚀绝缘胶后形成的多个小绝缘柱作为支撑，如图 5 中的塑料绝缘柱。

近几年国内中科院高能所、兰州中科院近代物理所、中国科技大学皆有研制。

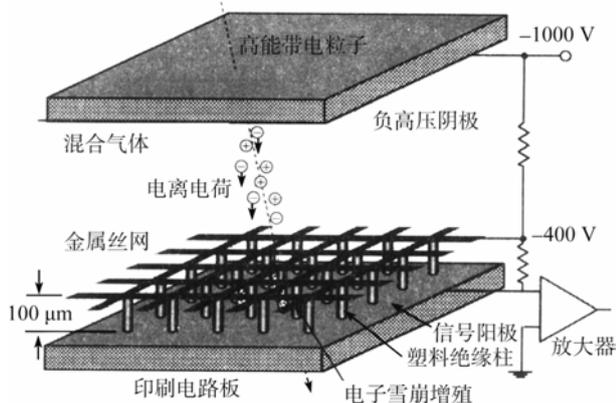


图6 MicroMegas 示意图

其他微结构探测器还有分别在 PCB 印制板、聚酰亚胺 (kapton) 膜和陶瓷上刻蚀出不同形状, 数十微米级的阳极和阴极, 如微条气体室 (MSGC); 或绝缘细条上涂覆阳极的微间隙室 (MGC) 及其改型的微槽探测器 (MGD), 还有阳极如针状的微针室。因篇幅所限, 不再赘述。

## 二、微结构气体探测器的应用

近十年来微结构气体探测器由于其突出优点, 已在高能物理、核探测和国民经济许多方面得到了愈来愈多的应用, 在我国也有初步开展。以下只能选择几方面做简单介绍。

### 1. 高能物理

几种重要的微结构气体探测器都是首先由欧洲核子中心提出, 近几年来这一地区发展也最快。特别是已开始运行的世界最高能量的质子-质子对撞机 LHC 上的四个大型实验, 如 ALICE、LHCb 目前正在使用。ATLAS、CMS 计划升级也都分别选用了 MicroMegas 和 GEM 这类微结构气体探测器, 以适应 LHC 升级后的更高亮度需求。另外已利用或准备利用 THGEM 和 GEM 的还有大型国际合作, 如 CERN 的旨在研究质子自旋等的 COMPASS 和美国的重离子对撞机上的 STAR 谱仪等。它们大都用于测量  $\mu$  子和鉴别粒子的切伦科夫探测器等。

下面简单介绍一下切伦科夫探测器的原理。因介质折射率  $n$  大于 1, 因此介质中的光速比在真空中的速度小 ( $c/n$ )。当快速带电粒子的速度  $v$  大于光在该介质中的速度时, 就会产生一种光辐射, 就像飞速的子弹在空气中传出啸声或快艇在水中产生的

锥形波阵面沿一定的圆锥角发展, 分别是因为它们的速度高于声音在空气中传播速度或水波速度的效应一样。与它们类似, 利用测量这种光锥辐射就可以检测出速度高于一定值 (称为阈值) 的粒子, 这种探测器称为阈式切伦科夫探测器。近年来发展的环形成像型称为环形成像切伦科夫探测器 (Ring Imaging Cherenkov Counter, 简称 RICH) (图 7)。这种探测器由一中心位于相互作用点 (靶), 半径为  $R_M$  的球面镜和一个与球面镜同心, 半径为  $R_D$  的光探测器组成。由靶产生的高速带电粒子 (图中粒子 1, 粒子 2) 经过位于球面反射镜和光探测器之间的辐射体 (如有机气体  $C_4F_{10}$ 、 $C_6F_{14}$ 、气凝硅胶、有机玻璃、特种玻璃等), 产生切伦科夫光锥, 再经过球面反射镜聚焦到多单元光探测器上, 形成两个张角为  $\theta_{D1}$ ,  $\theta_{D2}$  的圆环 (因为截面图, 圆环未标出)。根据环的半径就可以确定粒子的速度  $v$  和入射粒子位置。同其他探测器 (测量动量、能量、单位长度的能量损失等) 相结合就可以确定粒子种类。这种光锥辐射的强度与波长平方成反比, 分布在紫外光和可见光区, 波长上限由石英窗 (或其他材料窗) 的截止波长决定 (约 160~700nm)。利用 THGEM 多孔板上涂覆的碘化铯光电转换物质, 将光子转换为电子并利用 THGEM 探测器将信号放大就得到了环状图像, 从而得到入射高能粒子的速度和方向。20 世纪 90 年代, ALICE 和 COMPASS 的 RICH 都是用的多丝正比室, 但因雪崩放大后正离子形成空间

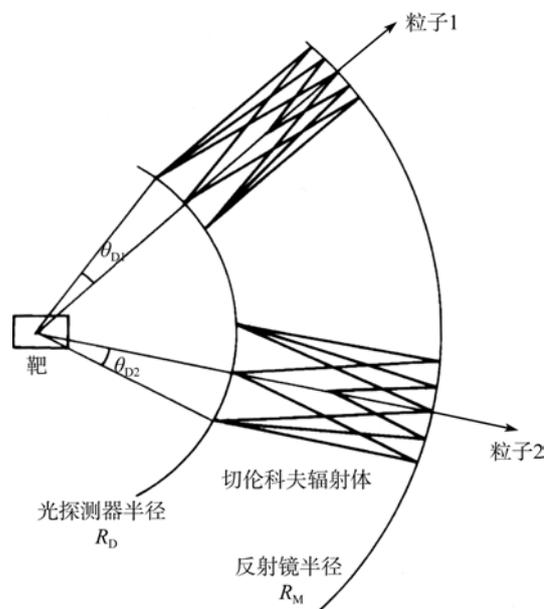


图7 环形成像切伦科夫探测器 RICH

电荷限制了气体增益的提高等原因，近几年都决定替换丝室，改用 THGEM。最近，COMPASS 的意大利 Trieste 组正在研制  $60 \times 60 \text{ cm}^2$ ，厚度为 0.4mm（孔径 0.4mm，孔距 0.8 mm）的板，用  $8 \times 2$  个单元做成 THGEM 光探测器（图 8），整个探测器的尺度也相当大。

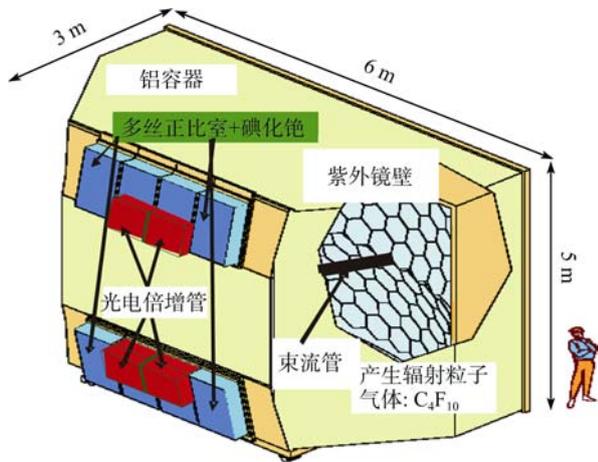


图 8 THGEM 光探测器

意大利 Frascati 国家实验室完成的欧洲核子中心 LHCb 的前向  $\mu$  子探测器选用几十个  $20 \times 24 \text{ cm}^2$  为单元的三层标准 GEM 探测器，目前已顺利运行。该实验室在其  $\Phi$  工厂 DAFNE 对撞机上的 KLOE2 大型谱仪升级的内径迹探测器选用了圆筒形 GEM，图 9 为其模型装置。完成后的三层 GEM 大圆筒的表面积为  $60 \times 210 \text{ cm}^2$ ，是目前国际上最大的 GEM 膜之一。

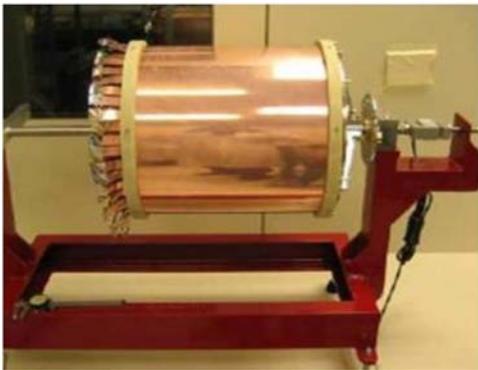


图 9 KLOE2 内径迹探测器 GEM 模型装置

为适应 LHC 亮度升级要求，欧洲核子中心 ATLAS 国际合作的前向  $\mu$  子探测器计划用大面积 MicroMegas 探测器（简称 MAMA）代替目前已使用的多丝阴极条室。现已试制成面积约为  $40 \times 200 \text{ cm}^2$  的样机（图 10）。



图 10 MicroMegas 探测器样机

未来大型直线对撞机 ILC 上的几个探测器系统，如时间投影室等有选用 GEM 的计划，高精度强子量能器有选用 THGEM 作为其取样探测器。国内有用于测量宇宙线  $\mu$  子的  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  小型描述仪，由两个双层 THGEM 探测器组成（图 11）。因为能量为 GeV 的  $\mu$  子的贯穿性很强，是一种最小电离粒子。为了得到能测量到的信号，探测器的漂移区较深（此处为 1.5 cm）和有较高的气体增益是很必要的。得到的  $\mu$  子径迹示意图如图 12。

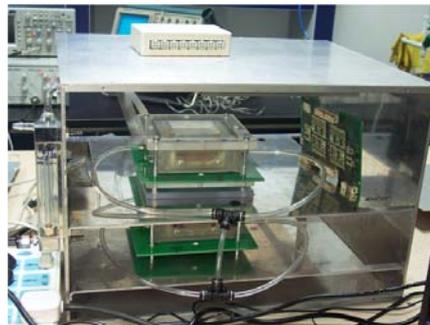


图 11 双层 THGEM 探测器

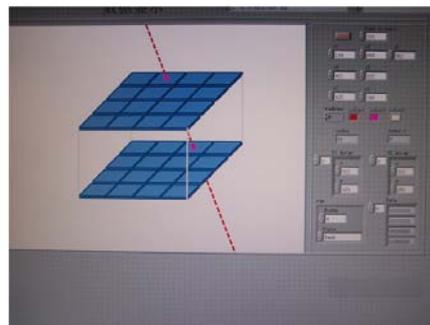


图 12  $\mu$  子径迹示意图

## 2. X射线和同步辐射

X射线、 $\gamma$ 射线成像已应用于治疗和工业探伤多年，一般用闪烁探测器和电离室以及 CCD 和气体正比管等。由于 GEM 和 THGEM 等具有响应快的特点，特别有利于研究微秒级的物质变化（如生物大分子的演化等）。其多路读出比闪烁和电离室探测器容易灵活处理且相对价廉，虽不如 CCD 像素多，但可发挥其快响应的优点。另外，同一般的电流电离室相比，由于它的气体增益是随意可调的，因此也可以用于积累模式在很大动态范围内进行束流分布测量监控和衍射测量等。北京同步辐射中心的初级束线的 X 射线能量大约在 5~20 千电子伏(keV)，也可产生软 X 射线 (<1 keV) 和真空紫外能量 (~10 eV) 的光子束，供全国 200 多个用户做多种实验。

欧洲核子中心气体探测器组 GEM 的发明人夏帕克 (G. Charpak) 等，于 2002 年用 X 射线管束线打铜靶产生的 8 keV X 射线照射哺乳动物青蛙，用  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  GEM 探测器得到清楚的像 (图 13)。部分 X 射线光子在探测器漂移区内因光电效应转换为光电子，进而在两层 GEM 孔中雪崩倍增，被阳极 X-Y 条感应收集引出负信号。阳极 X-Y 读出条是用上下敷铜的聚酰亚胺 (kapton) 膜刻蚀形成 (图 14)，可记录快到  $10^5/\text{mm}^2$  的计数率。但值得注意的是，当事例率超过  $10^5$  以上时，这种条状的读出如出现两次或两次以上的信号击中的话，就不能确定其确切位置了。

值得提出的是：目前国外已有各种形式的阳极读出，如方形、六角形和“狗骨头”等的微片电极 (pad) 形状，由电极印制板背部独立引线或电互联等可得到高计数率二维读出的效果等。随着特殊

集成电路 (ASIC) 的飞速发展和高速大数量粒子记录的需求，pad 读出方式使用越来越多，这就使开发多层印刷电路板 (PCB) 技术，研制特殊阳极读出领域成为应用上十分重要的问题。另外，有人用一种新型二维的阳极区阻性读出方案，可使用较少的电子学路数得到很高的位置分辨率，在阳极读出 (PCB) 上覆盖阻性材料，形成多个正方形单元，每个单元由高电阻组成并用低阻边框隔开。各单元的四个角与电子学相连，可得到高位置分辨的图像 [图 15 (a)]。只用了  $9 \times 9$  路电子学读出得到同百万像素的数码照相机结果相当的图像 [图 15 (b)]。

在 X 射线，紫外光等的探测中，平面型的气体探测器容易造成像差，从而影响大角度散射测量的空间分辨率。特别是探测器放在近靶区，因为光子都是沿半径方向射出，这就使像差更为严重。欧洲核子中心于 2010 年已制成球面 X 射线 GEM 探测器 (图 16)，其制作工艺和数据读出都十分复杂。

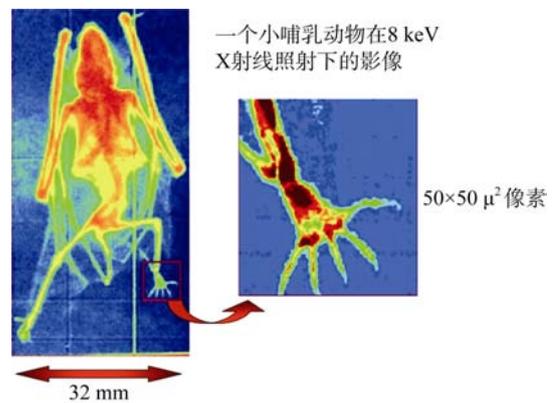


图 13 GEM 探测器得到的青蛙像

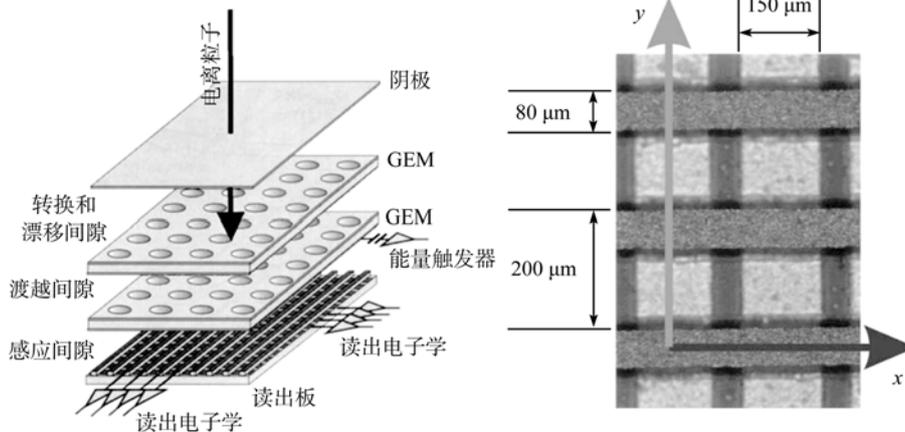


图 14 多层 GEM 探测器及二维微条读出

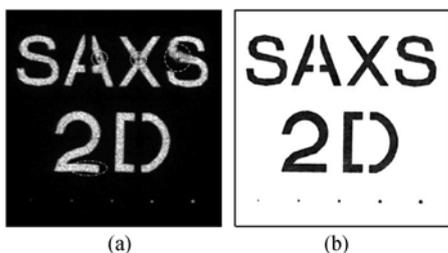


图 15 (a) 新型二维阳极区阻性读出得到的图像;  
(b) 百万像素相机得到的图像



图 16 球面 X 射线 GEM 探测器

国内几个研究所和大学近年来已开展了一定的工作。如中科院高能所利用欧洲核子中心供应的  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  GEM 膜研制成 3 层 GEM 和 96 路数字量读出的系统, 得到不同的物件图像。图 17 为移动铀  $\alpha$  源做的北京谱仪 (BES) 图像。

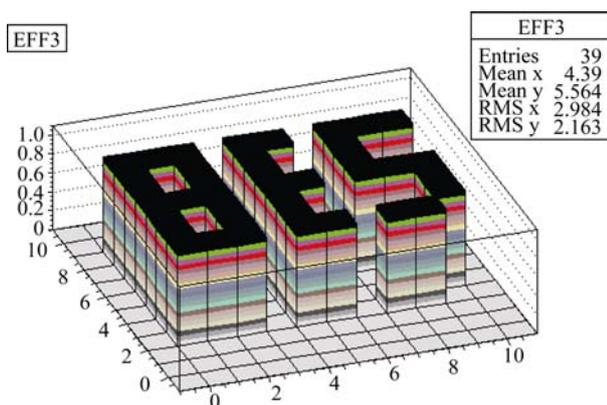


图 17 3 层 GEM 得到的北京谱仪 (BES) 图像

近两年来中国科学院高能物理所利用欧洲核子中心提供的  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  GEM 膜研制成 3 层 GEM 膜室体, 并用 PCB 板制成多路 X-Y 条读出。其结构特点是: X 方向为铜条 (周期: 约  $0.75 \text{ mm}$ ), Y 方向由与 X 条在同一侧的多个微片 (约  $0.4 \text{ mm}$  方形) 组成, 这些微片于 PCB 板背部 (反面) 相连。读出用模拟量的重心法, 从而得到了好的空间分辨率 (半高全宽为  $174 \mu\text{m}$ )。X 和 Y 共约 700 路。在 X 射线

机 (铜靶产生  $8 \text{ keV}$  X 射线) 以及在所内同步辐射中心大分子实验站的束流 (宽  $20 \mu\text{m}$ ,  $8 \text{ keV}$ ) 上均测得相当好的图像, 得到  $\text{SiO}_2$  的衍射环, 有高能所标志的图像 (图 18), 小树叶 (图 19) 等。为今后散射成像和研究微秒级的生物大分子瞬时动态效应等提供条件。这种微秒级的研究是用 CCD 等照相法难以得到的。

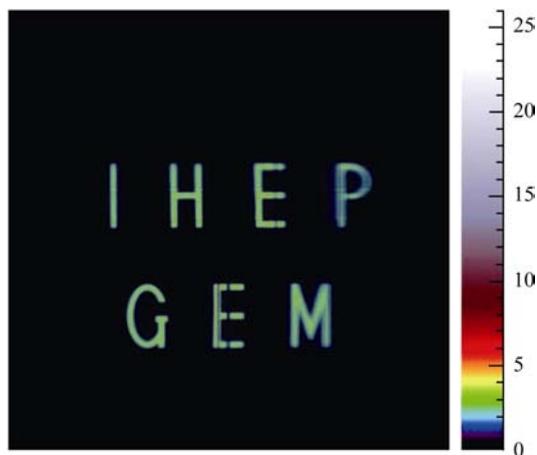


图 18 X 射线机照射 GEM, 多路读出得到的图像



图 19 同步辐射束流照射得到的树叶图像

考虑到同步辐射是相对稳定的周期性信号, 因此采用直流模式测量其累积效应, 也是一种互补的模式。特别是在距靶样品较近且束流较强的条件下测量时, 圆弧形探测器特别有利。类似于图 16, 利用薄型 (厚  $200 \mu\text{m}$ ) THGEM 易于弯曲的特点, 中科院研究生院初步组装了一维单层或双层 THGEM 和多路读出的用于 X 射线衍射测量的探测器 (图 20)。

### 3. 热中子、快中子探测器

各种能量的中子探测历来是粒子探测器领域的重要分支。总的说来, 利用中子转换体可以将各能区的中子转换成带电粒子, 再用一般探测器即可。



图 20 圆弧形探测器

慢中子测量利用它与浓缩硼 ( $n+^{10}\text{B}\rightarrow\text{Li}+\alpha$ ) 产生  $\alpha$  粒子的核反应, 利用同氦 ( $^3\text{He}$ ) 产生质子与氦的核反应以及同钆 ( $\text{Gd}$ ) 作用产生几种由原子核里面产生电子的核反应; 而快中子一般用含氢的物质 (如聚乙烯等有机材料) 通过质子这些轻核 (如碳、氢等) 做弹性碰撞, 通过测量这些反弹出的带电粒子即可测到不同能量的中子。特别是散裂中子源在几个发达国家已相继建成, 同它相关的探测技术已快速发展。其中利用 GEM、THGEM 和 MicroMegas 等作为新一代散裂中子源用的气体探测器也有很好的应用前景。我国已批准建造散裂中子源这一大科学装置。

前面谈到慢中子转换体用硼的同位素  $^{10}\text{B}$ , 为了提高效率, 常用经天然硼浓缩的, 其浓缩度可达 95%。值得一提的是, 近一两年来, 有高探测效率的氦 ( $^3\text{He}$ ) 气体涨价十倍左右, 各国都在寻求代用方法, 其中用多层 GEM 或 THGEM 是一个可行的方面。近来已有多达十层的表面涂覆  $^{10}\text{B}$  的 GEM-THGEM 探测器在日本与德国等问世。如图 21 所示, 室体最上层的阴极铝箔内面涂硼 ( $^{10}\text{B}$ ), 以下几层 THGEM, 其上下皆涂硼层作为中子转换体; 但 THGEM 孔内电场为零, 没有雪崩。最后中子信号被阳极 (图中 X-Y 各 120 条) 收集。国内也已筹备散裂中子源用的上述慢中子监测器和多层高探测效率多路读出的中子探测器。

另外国际上热核能源日益受到重视, 开发这一比裂变核能更为清洁的能源领域技术更显迫切, 可以彻底避免裂变能源的污染问题。用于热核反应装置的等离子体诊断的远紫外 X 射线 (VUV) 和快中子探测器也在一些发达国家发展, 如意大利核能源

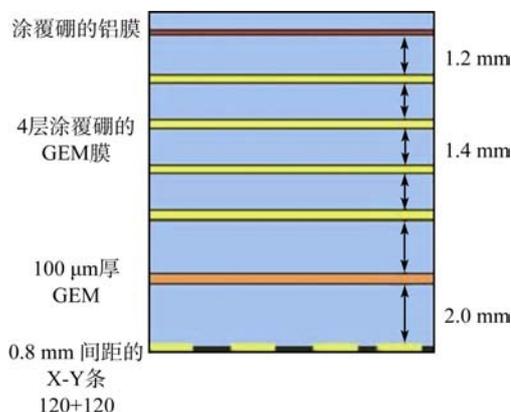


图 21 表面涂覆  $^{10}\text{B}$  的 GEM-THGEM 探测器

部 ENEA 研究所的热核反应装置托克马克 NSTX 上, 需要利用快中子-质子散射诊断等离子状态。该所与 Frascati 国家实验室合作, 利用聚乙烯作为转换体产生的质子  $p$  结合 3 层 GEM 探测器室测量快中子的空间分布 (图 22)。它的优点是可以在很强的  $\gamma$  辐射本底下工作。

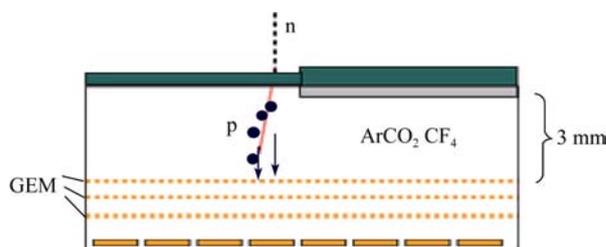


图 22 三重 GEM 快中子探测器示意图

#### 4. 宇宙学研究的双相暗物质探测器

暗物质是近些年来研究宇宙和空间的一个重要方面, 特别是近几年来已成为很热门的课题。国际天文和物理学界已普遍认识到, 我们所生存的宇宙, 其“实体”物质世界, 如地球和各个星系只占 4%, 而暗物质和暗能量却分别占 22% 和 74%。这对宇宙起源和膨胀以及黑洞和天体运行规律等都有极重要的意义。根据科学家的预言, 暗物质的一种表现形式为相互作用极弱的粒子, 其中最受重视的一种称为 WIMP (弱作用重粒子, 是暗物质粒子候选者)。这些暗物质粒子同介质作用产生次级效应, 如在某些晶体中产生光和核反冲; 也可同低温下工作的液氦 (图 23) 或液氙等较重的原子核碰撞, 可使这些核受到反冲, 其反冲动能小于 100 keV。国外如在意大利的 Gran Sasso 国际粒子天体实验室的 WArP 和 DarkSide 两个国际合作实验, 其装置类似图 23。

WArP 国际合作实验就是利用反射型碘化铯和 THGEM (他们也称 LEM) 测量弱光, 也可以测量产生的电子漂移从液相过渡到气相后, 经雪崩放大最终被顶部的阳极收集。LEM 气体探测器中既测量液体中的光信号, 又测量气体中比光晚到的电子信号, 有人也称双相探测器。另外国外也有用 Micromegas 做弱光测量的。这些粒子所产生的弱闪烁光可用四周大量光电倍增管测量, 反冲粒子的径迹位置可由其二级粒子在液氙中漂移的时间和其投影在末端部的位置灵敏探测器确定。这种装置就称为液氙 (或液氙) 时间投影室。我国一些大学和研究所已筹备在四川西部大山山洞内某水电站附近建造。

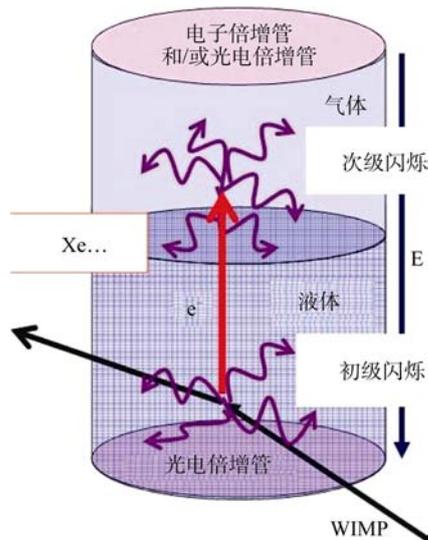


图 23 液氙暗物质双相探测装置示意图

### 5. 航天天体 X 射线探测器

在航天领域已有利用 GEM 探测器研究宇宙空间全方位 X 射线的工作, 如芬兰空间研究计划 (Finland space research program) ANTARES 的一部分。该计划是国际性合作“高能天体物理与空间天体研究 (High Energy Astrophysics and Space Astronomy) HESA 的一部分。该探测器作为全天候 X 射线相机 (all-sky camera) 安置在人造卫星上, 直接测量新星和  $\gamma$  爆伴生的 X 射线。

该探测器样机的有效面积为两层  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  GEM 膜, 空间分辨率小于  $0.2 \text{ mm}$  (在  $5.9 \text{ keV}$  能量下测得)。为便于测量更硬的 X 射线 ( $>50 \text{ keV}$ ), 气体选用氙 (Xe)。这个探测器最重要的特点是全密闭式, 所有的部件包括前级放大器在内都要在前

期做烘烤排气处理。部件长期的出气率极低, 也不用流气方式。

### 6. 反恐用宇宙线多次散射系统

2004 年以来, 由于国际反恐形势严峻, 特别是探寻和区分破坏力很大的核燃料 (原子序数一般大于 82) 材料方面, 美国的原子能研究单位开始利用大面积气体漂移室, ATLAS 国际合作作用的多个漂移管以在被测对象 (如海关, 检查关口的货车等) 的上下排成多层阵列, 利用天然宇宙线  $\mu$  子对不同物质的多次散射角的原理, 探查重核物体尺度和位置, 并给出断层图像。随后瑞典和意大利等国利用其他气体探测器也相继开展了此项工作。2009 年美国的佛罗里达技术研究所 (Florida Institute of Technology) 在美国安全部门的支持下, 利用欧洲核子中心供给的 GEM 膜开展了此项工作。目前用了 6 个  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  的 GEM 膜上下各有三层 (图 24), 阳极用 X-Y 条方式读出。2010 年他们计划和欧洲核子中心等合作研制  $100 \times 100 \text{ cm}^2$  的装置。由于这种尺度对检测大型车辆等还相距甚远, 但也可用于小型断层成像检测等。当然利用 THGEM 也是可行的。



图 24 利用 GEM 膜制作检测系统

### 7. 辐射防护的微区剂量探测系统

在核安全防护方面, 放射性剂量测量是重要领域, 特别是最近的国外反应堆严重泄漏事故更引起全世界的重视。快速微区剂量测量是该领域发展的重要方面。2010 年最新提出的一种测量微小区域剂量分布的设想就是利用 THGEM。测量中子剂量的原理是利用快中子先慢化, 然后射入慢中子转换体转换成带电粒子。若转换体是硼则为  $\alpha$  粒子进入探测器的漂移区, 电离电子在 THGEM 中雪崩放大最后由读出电极收集。经软件换算成中子剂量的二维

分布。另一种方式是在 THGEM 上部两侧用有机材料 (Rexolite) 包围, 产生的反冲质子在 THGEM 上部空间中产生质子电离径迹, 再经 THGEM 雪崩放大后读出信号。

### 8. 气体光电倍增管

20 世纪末提出并研究了气体光电倍增管 GPMT 课题。2002 年前后已出现用陶瓷封装的小型圆柱形密封式气体光电倍增管 (图 25)。内部基本部分用 3 层 GEM 组成。支撑柱等部件都要用出气 (outgas) 极低的材料, 如陶瓷等 (图 26)。国内也初步开展了用 THGEM 的密闭式 GPMT。THGEM 多孔板也要事先烘烤排气。引脚除高压电极需用的 5~7 个以外, 其他可以作为 16 个左右的多阳极读出引脚。由于主要是用来测量紫外光。其端窗需同玻璃或陶瓷外壳很好密接。可采用内涂碘化铯 (CsI) 层的石英窗或 CsI 涂在 THGEM 上表面的反射型, 它比目前常用的真空光电倍增管 PMT 要短很多, 可制成简单、廉价、小巧的紫外光多阳极器件, 不用流气式, 便于携带。目前国外很重视 GPMT 发展, 但对于一

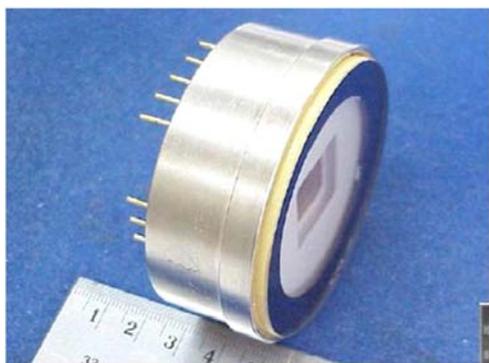


图 25 小型圆柱形密封式气体光电倍增管

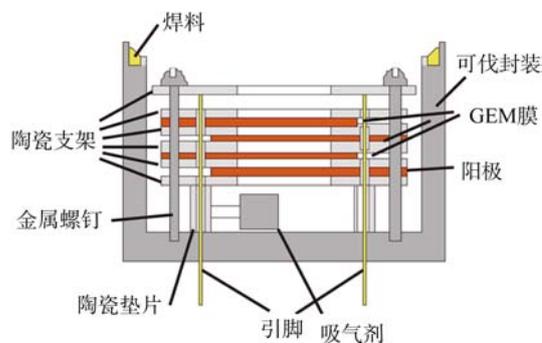


图 26 气体光电倍增管结构示意图

般的可见光使用还存在问题, 这是因为目前商用的 PMT 大都是用作可见光电转换的双碱类光阴极, 但由于它同 THGEM 的工作气体有可能有不利的作用, 作为可见光探测器, 这个问题尚有待进一步解决。

微结构气体探测器是国际气体探测器研究的热点已在多方面得到应用, 并会有更广阔的应用前景。在国外发展很快, 每年相关内容的国际会议频繁召开。国内一些单位也积极开展研究, 做了很好的工作。目前探测器发展比较快, 电子学相对落后。我们还需积极努力、脚踏实地开展工作, 解决研制中的关键技术, 推动读出电子学的研究, 以促进国内微结构气体探测器的尽快发展。

(中国科学院高能物理研究所 100049)

①目数是孔数, 即每平方英寸上的孔数目。一般来说, 目数×孔数(微米)=15000。400 目筛网的孔径为 38μm, 600 目筛网的孔径为 28μm。



## 科苑快讯

### 改写生命密码

利用基因工程设计生命体以获取蛋白质, 需要编辑自然界的标准遗传密码——以字母 C (胞嘧啶)、T (胸腺嘧啶)、A (腺嘌呤)、G (鸟嘌呤) 表示——这个过程漫长复杂、代价高昂。美国耶鲁大学的艾萨克 (Farren Isaacs) 和同事找到一种方法, 可以随心所欲地编辑遗传密码。

在 DNA 中, 每三个密码子组成一个基因。TAG

或 TAA 表示“停止”, 其他组合则表达为各种氨基酸。研究者将酵母菌株中的 TAG 替换为 TAA, 移除 TAG 密码子后, 他们有效地空出位置以容纳表达氨基酸 (化学家制造出的几千种“非自然”氨基酸) 的密码子, 这就可以生产前所未有的蛋白质。这种方法可以构造非常奇异的生命体, 对各种病毒均具有免疫力, 而且不会与自然的生命体发生杂交现象。

(高凌云编译自 2011 年 8 月《欧洲核子中心快报》)