

镀碘化铯光阴极厚GEM的 模拟和测试

谢宇广

核探测与核电子学国家重点实验室
中国科学院高能物理研究所

2012-08-16

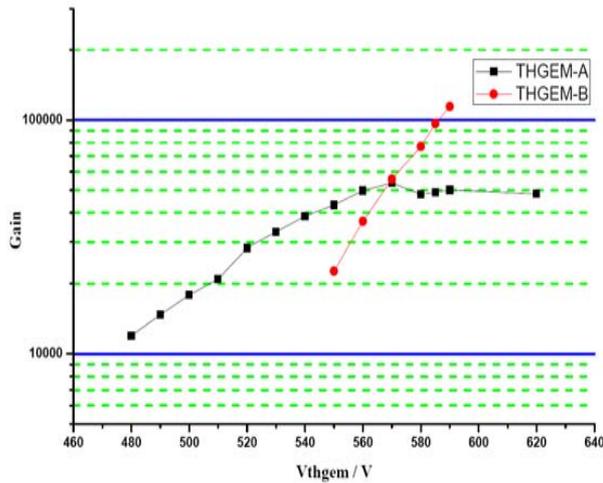
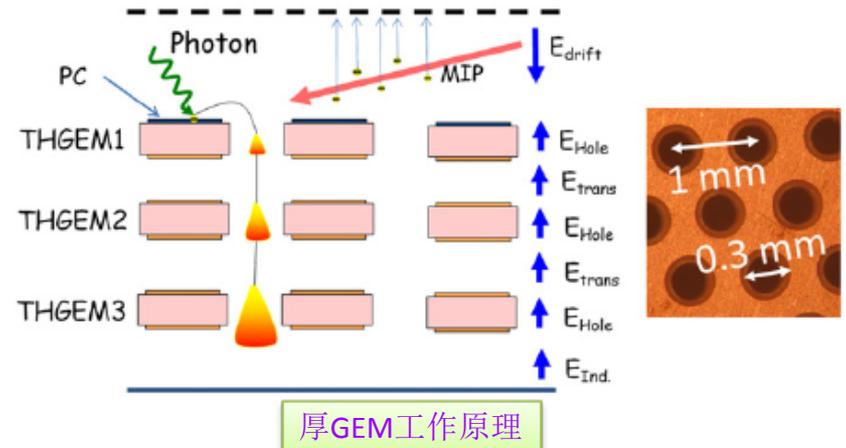
内 容

- CsI光阴极、厚GEM和GPM
- 厚GEM的二维模拟
- 镀CsI厚GEM的三维模拟
- 紫外响应测试
- 小结

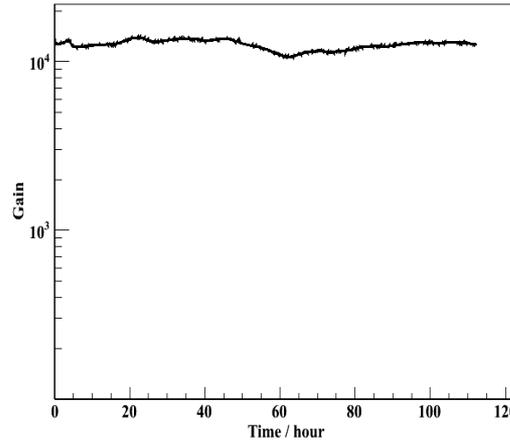
厚GEM、CsI光阴极和GPM

相对于传统GEM而言，厚GEM(THGEM)是具有工艺简单、成本低、增益高、分辨好、结实耐用的新型微结构气体探测器(MPGD)。近三五年在国内得到了较快的研究和发 展，基本实现了国产化生产制作，并开始了实际的应用研究。

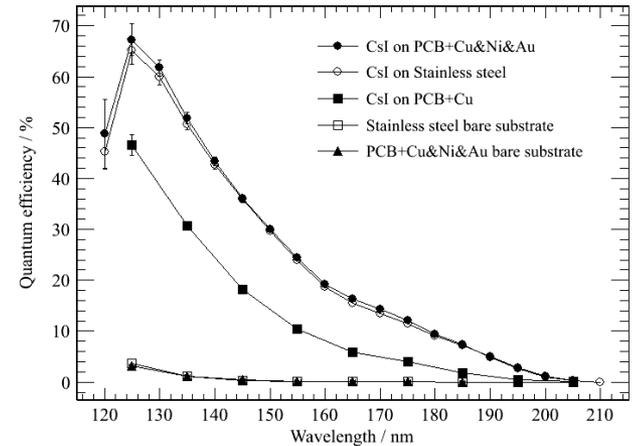
厚GEM与CsI光阴极相结合，是紫外(UV)探测和契仑科夫光环成像(RICH)，气体光电倍增管(Gaseous Photomultiplier, GPM)，以及低温惰性液体闪烁光探测很好的候选方案。可应用于高动量粒子鉴别、液氙液氡闪烁光探测、“日盲”户外报警系统等。



国产厚GEM增益



国产厚GEM增益稳定性



CsI光阴极量子效率

厚GEM的二维模拟

优化几何结构与工作电压 (MaxWell V11-2D)

(产生雪崩的场强阈值: $\sim 1.0 \times 10^6$ V/m)

◆ 电场与孔径的关系 (E VS D)

0.05, 0.1~1.0 mm/0.1mm

◆ 电场与板厚的关系 (E VS T)

0.1~1.0mm/0.1mm

◆ 电场与绝缘环的关系 (E VS Rim)

0.0~120mm/20mm, 150 μ m

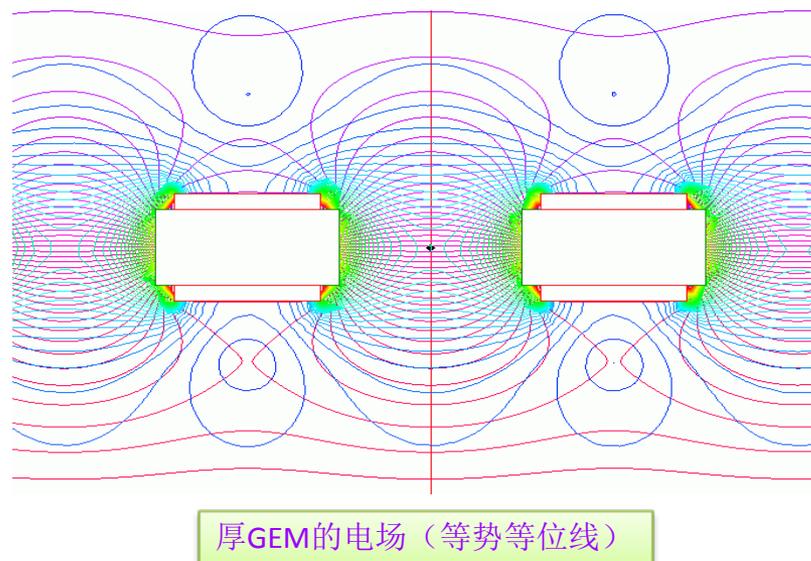
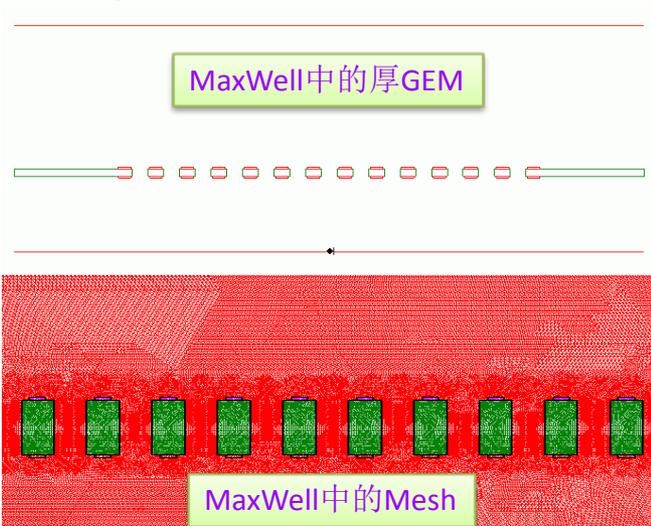
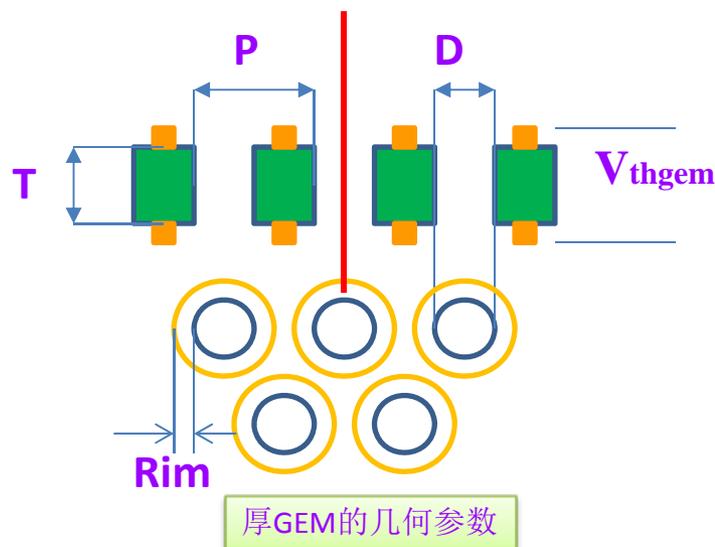
◆ 电场与孔间距的关系 (E VS P)

0.45 ~0.9mm/0.05mm

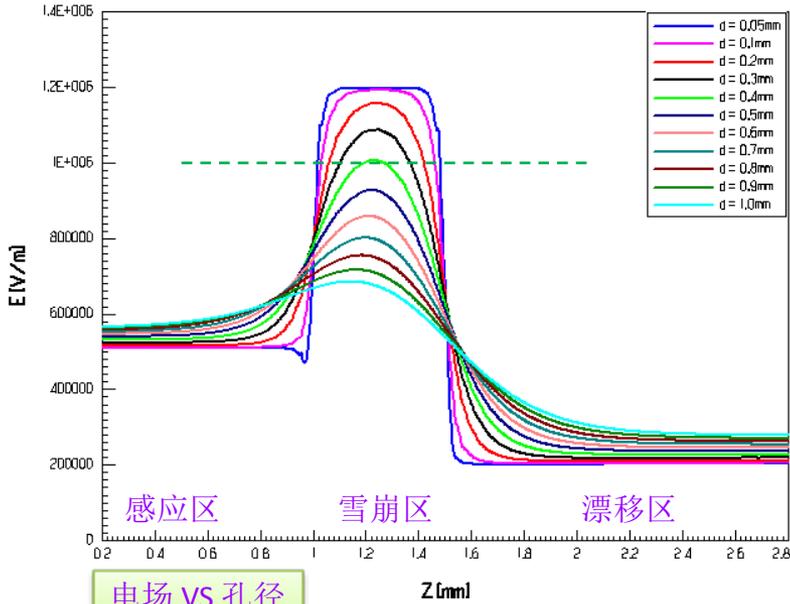
◆ 电场与板间电压的关系 (E VS V)

0.3~1.0kV/0.05kV

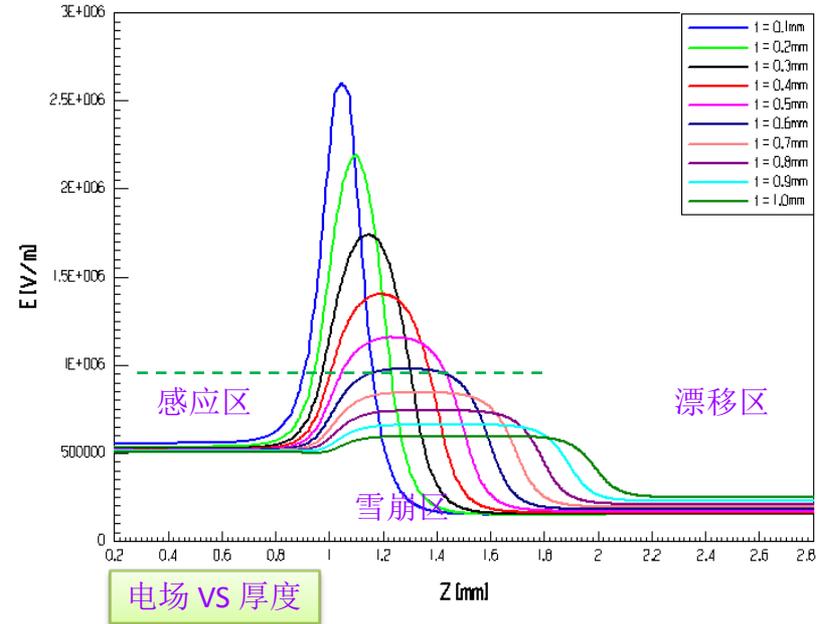
比较孔轴线场强



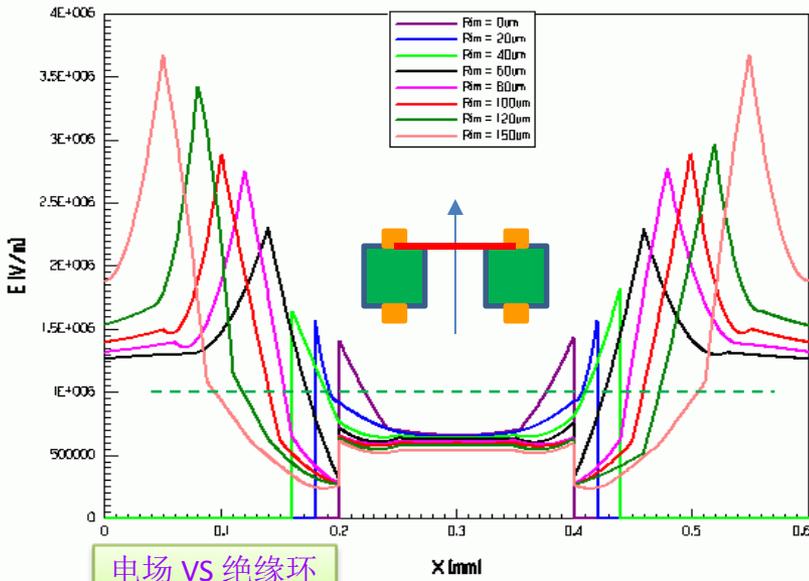
E VS diameter (t=0.5mm, g = 0.2mm)



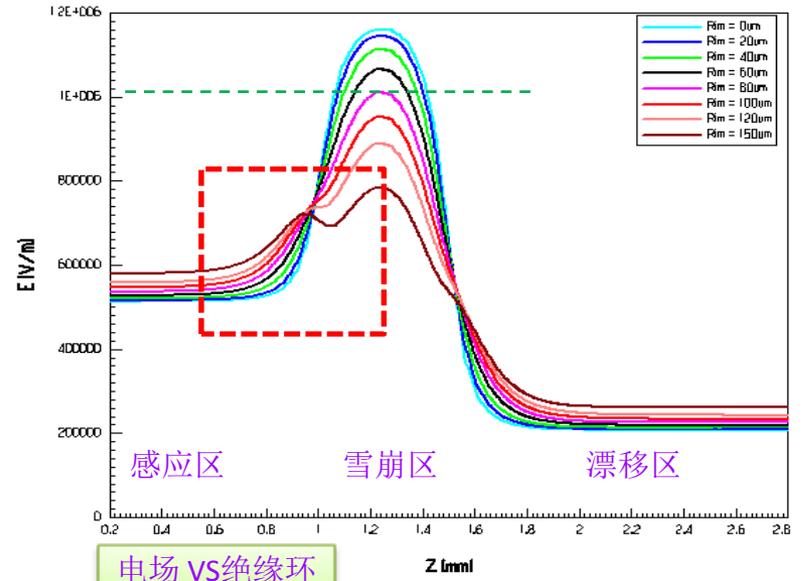
E VS thickness (d=0.2mm, p=0.4mm)



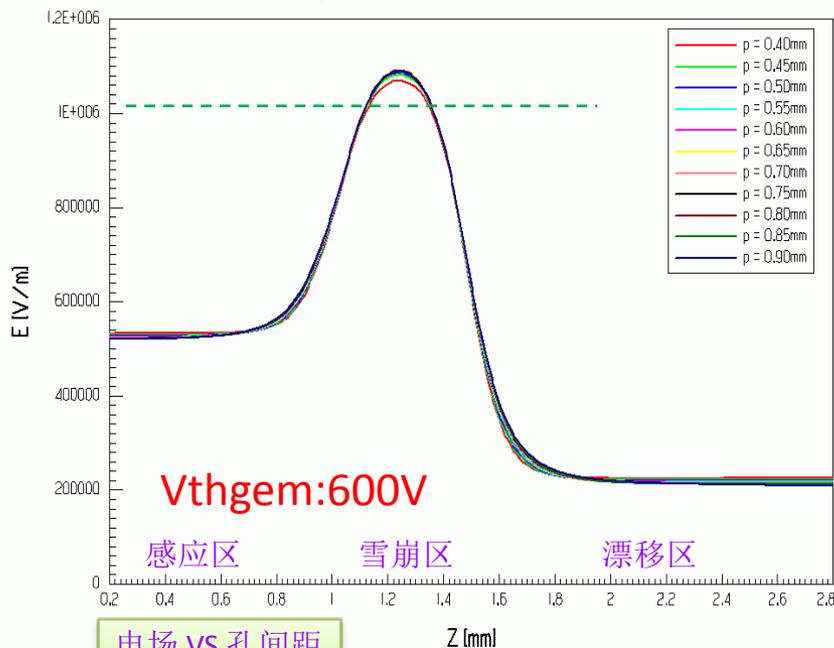
E VS Rim (d=0.2mm, t=0.5mm, p=0.6mm)



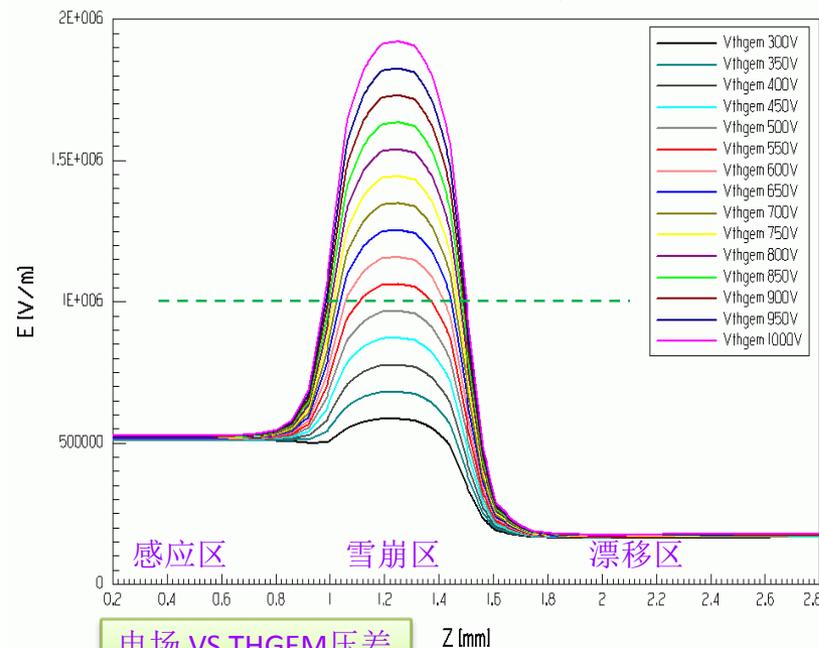
E VS Rim (d=0.2mm, t=0.5mm, p=0.6mm)



E VS pitch (d=0.2mm, t=0.5mm, rim=50um)



E VS V (t=0.5mm, d=0.2mm, p=0.4mm)



◆ 电场与孔径的关系 (E VS D)

孔径 $\leq 0.5\text{mm}$ 为宜

◆ 电场与板厚的关系 (E VS T)

板厚 $\leq 0.6\text{mm}$ 为宜

◆ 电场与绝缘环的关系 (E VS Rim)

$20 \leq \text{Rim} \leq 120\mu\text{m}$

◆ 电场与孔间距的关系 (E VS P)

电场对孔间距不敏感

◆ 电场与板间电压的关系 (E VS V)

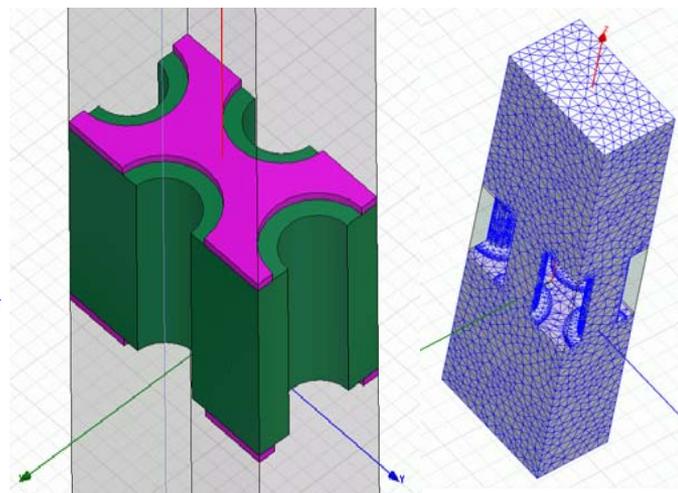
对厚度0.5mm、孔径0.2mm的厚GEM，产生雪崩的THGEM工作压差 $>500\text{V}$

镀CsI厚GEM的三维模拟

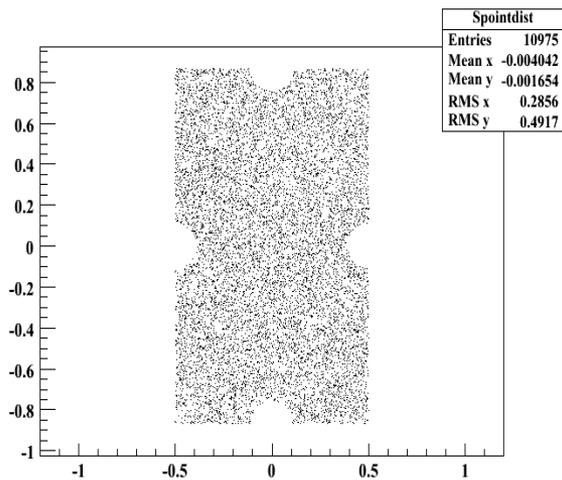
最优化光电子入孔效率和收集效率

(MaxWell V11-3D+Garfield9)

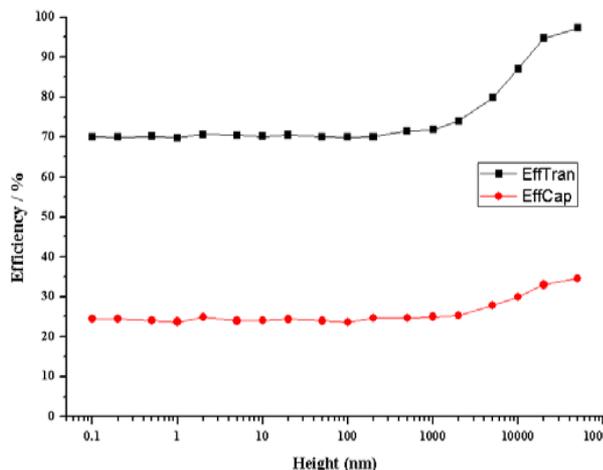
1. MaxWell进行单元建模、计算电场，导出电场数据文件。(单元可有多种选择, 较小有利)
2. Garfield读入几何和电场数据文件, 模拟光电子运动
3. 光电子在光电面(光阴极)上 $<1\mu\text{m}$ 处随机产生
4. 光电子运动结束后的Z坐标小于PCB上表面Z坐标, 即 $(z < Z_{\text{pcb_up}})$, 为进入孔内。
5. Z坐标等于感应极Z坐标, 即 $z = Z_{\text{ind}}$, 为被俘获。



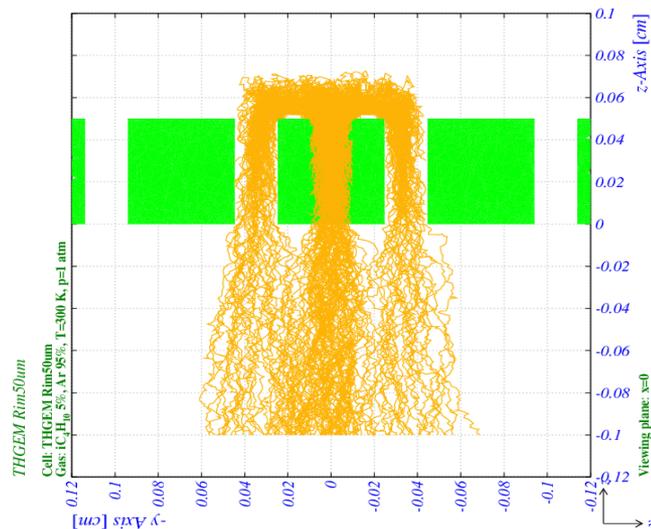
MaxWell 3D 建模和网格划分



光电子初始位置分布



光电子初始高度对效率的影响

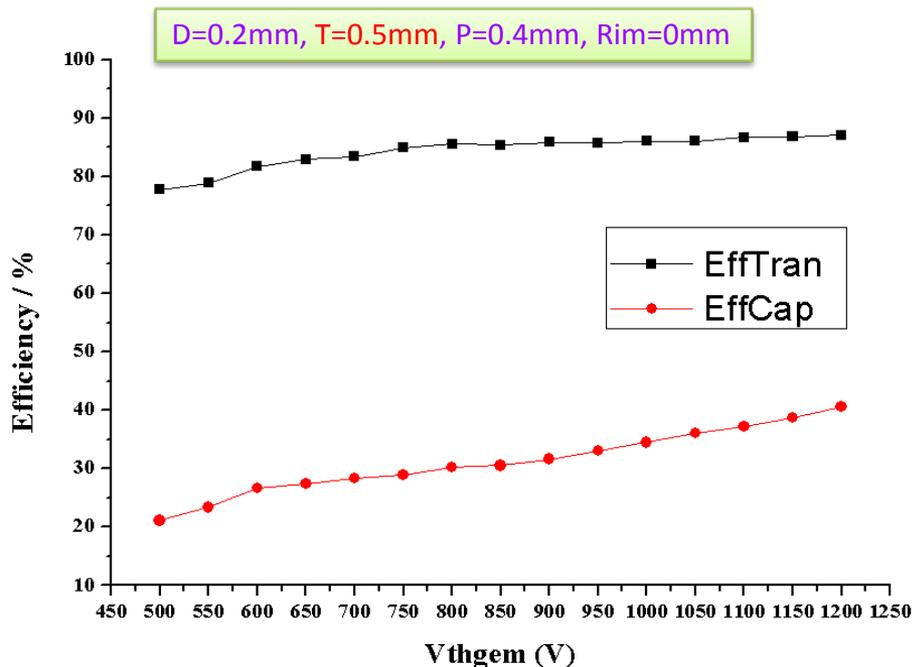


Garfield 3D 的光电子径迹

效率与板间电压的关系 (Eff VS Vthgem)

500~1200V/50

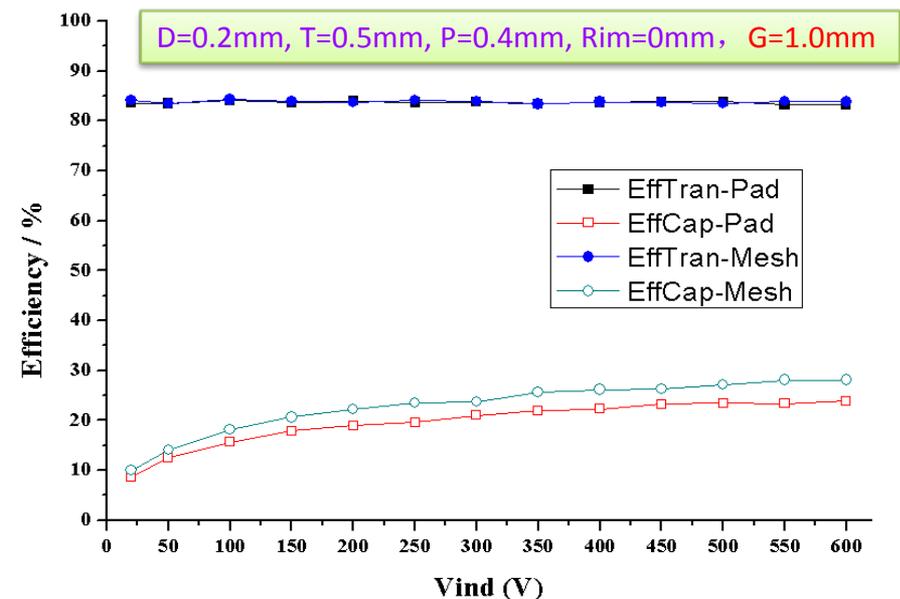
- Vthgem对入孔效率影响很小, Vthgem很大时, 入孔效率略微提高, 约10个百分点。
- Vthgem对俘获效率的影响相对较大, Vthgem很大时, 俘获效率提高了约20个百分点。
- 因此效率对Vthgem不敏感。



效率与收集电场的关系 (Eff VS Vind)

0~600V/50V

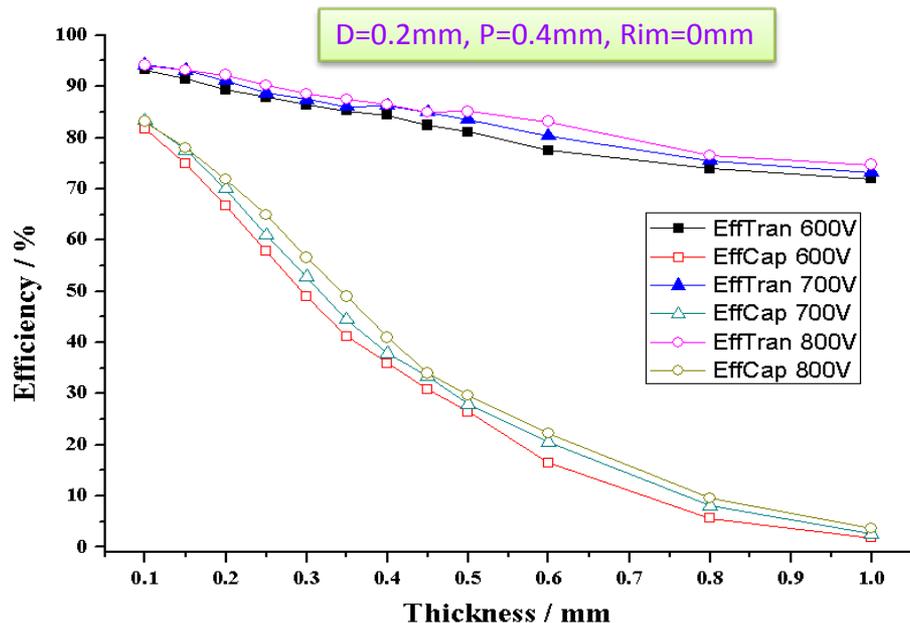
- Vind对入孔效率没有影响。
- 当Vind<200V, 俘获效率变化明显, 随着Vind的增加, 俘获效率基本保持在稳定水平。
- 同时比较了感应电极为整个Pad与Mesh网结构对效率的影响。
- 俘获效率类似。
- ±100V不同板间电压效率差别不大。



效率与板厚的关系 (Eff VS T)

0.1~1.0mm/0.05mm

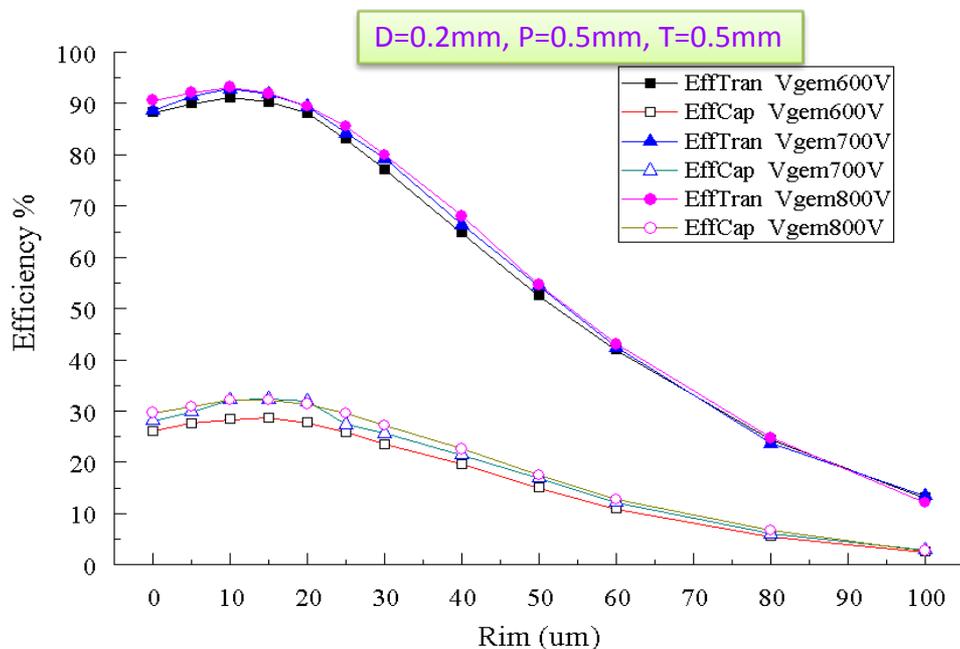
- 当板厚<0.8mm, 入孔效率>80%。
- 俘获效率当板厚>0.3mm时已急剧下降。
- ±100V不同板间电压效率差别不大。
- 因此板厚较小都比较有利, 工作电压也较低。



效率与绝缘环的关系 (Eff VS Rim)

0~100um/5um

- 当5um<Rim<30um, 入孔效率达到峰值, 随着Rim增加, 效率较快下降。因此Rim并非越大越好。但是另一方面, 大Rim有利于防止打火, 且通常在较大Rim时增益才能够达到较高的水平, 所以Rim也不能够太小, 对与CsI结合的THGEM, 20um<Rim<60um应该较为合适。
- 俘获效率类似。
- ±100V不同板间电压效率差别不大。

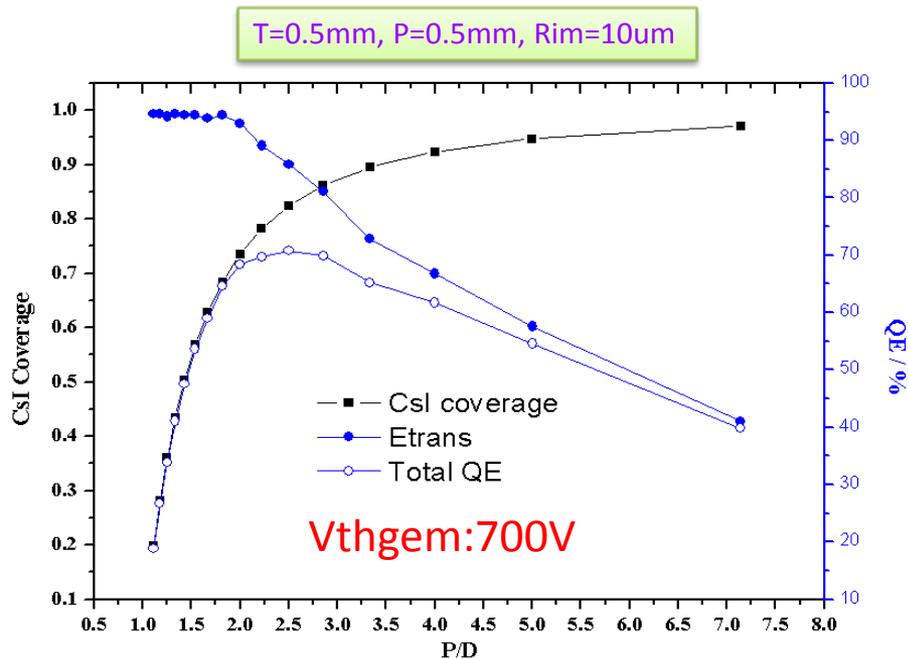


效率与孔间距/孔径比的关系 (Eff VS P/D)

改变D: 70,100~450um/25um

P/D 1.1 ~7.14

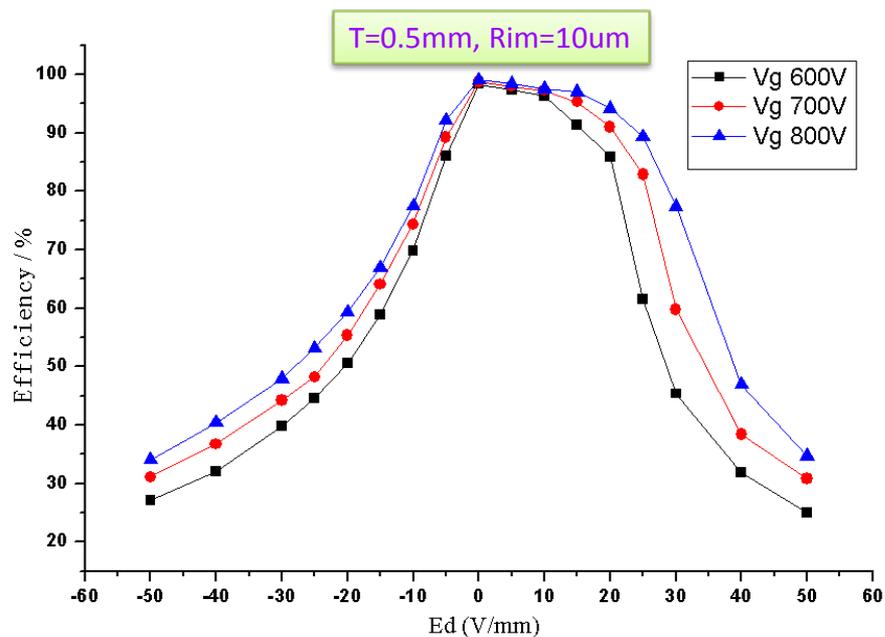
- CsI覆盖率随P/D增大而非线性增大。
- 同时入孔效率随P/D增大而下降。
- 总效率当P/D在2.0~3.0之间达到峰值，P/D为2.5比较优化。
- ±100V不同板间电压效率差别不大。



效率与漂移场强的关系 (Eff VS Ed)

-50~50V/mm, /5V/mm

- 当Ed在0V/mm附近时，入孔效率达到峰值，Ed为正增加时，效率先缓慢微降，后快速下降；Ed为负减少时，效率快速下降。可见Ed的影响是非常明显的，且应当取在+5V/mm左右，这也意味着Ed对光电子增益的贡献损失掉了，通常情况Ed需要>100V/mm。因此对CsI+THGEM结构，至少需要两层THGEM，通常需要三层THGEM才能够达到单光电子探测水平（增益： $>1 \times 10^5$ ）。
- ±100V不同板间电压，在Ed ∈ ±20V/mm范围内时，效率差别不大。

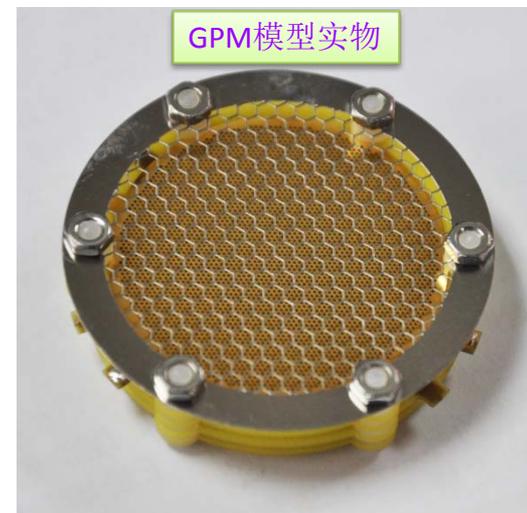
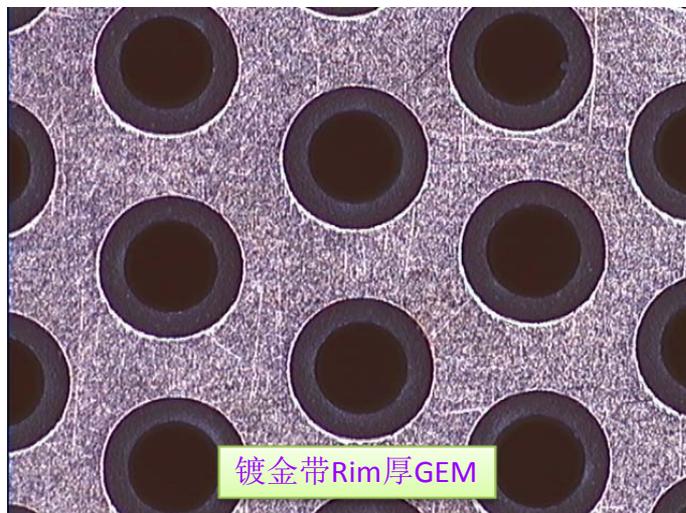
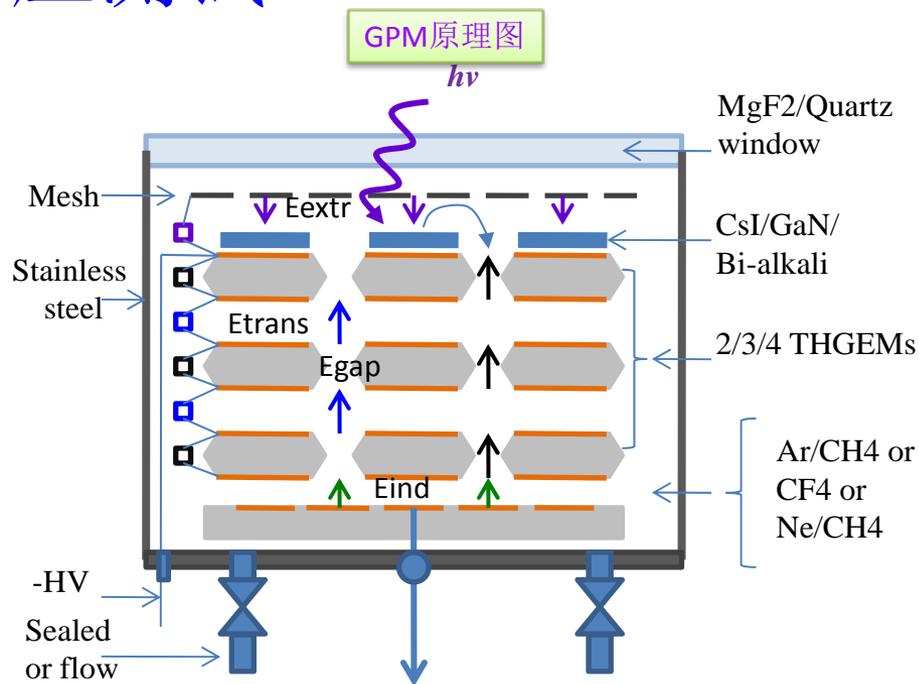


紫外响应测试

GPM模型制作：CsI+厚GEM， 双层

利用国产厚GEM，基于以上模拟优化几何参数，制作了GPM模型。克服了带绝缘环镀金厚GEM板的工艺困难，并对CsI光阴极进行有效的保护。

CsI采用蒸发镀膜，膜厚为500nm，镀膜速率控制在 $10\sim 20\text{\AA}/\text{s}$ ，已经完成了多个GPM模型的镀膜和测试。

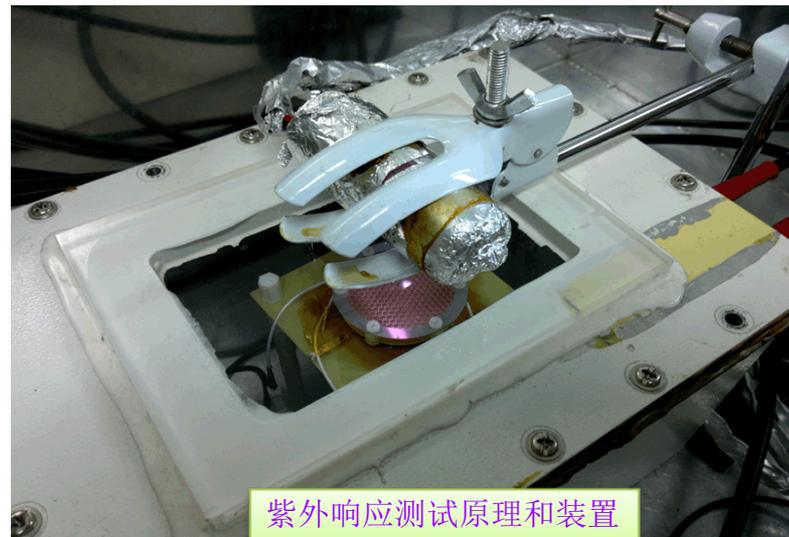
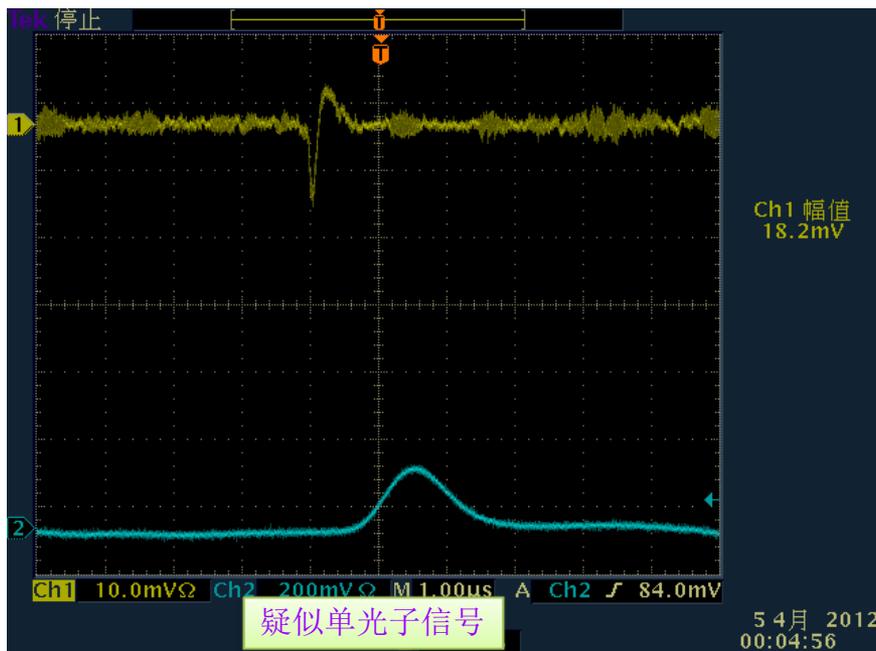
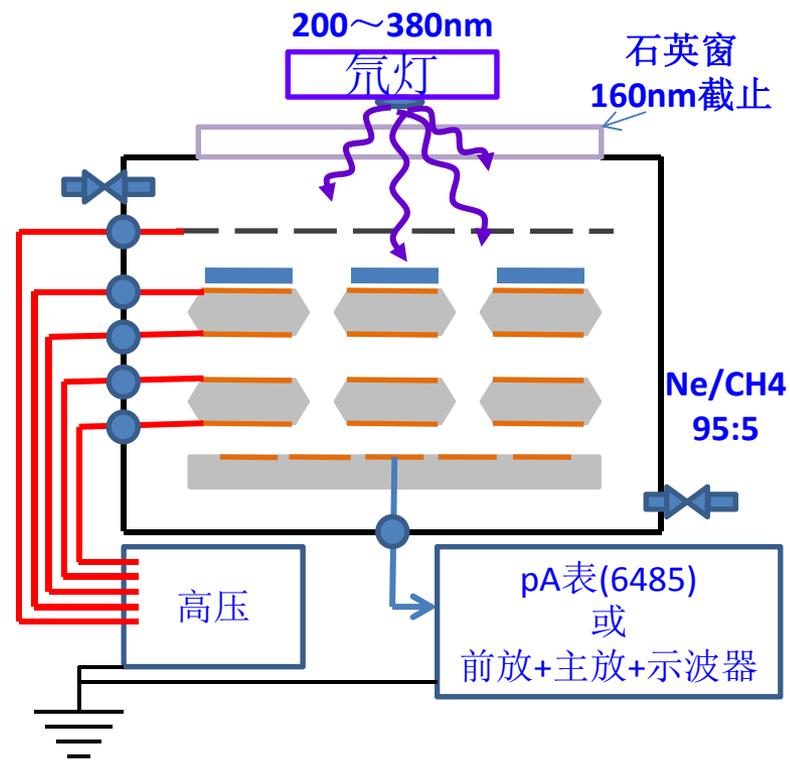


GPM测试装置

在镀CsI光阴极前利用相同的装置测试了CsI+厚GEM的GPM模型的增益，确认其能够正常工作。然后将组装的厚GEM转移到镀膜设备进行镀膜。为了减少空气对CsI光阴极的影响。完成镀膜后的GPM在N₂气或干燥气体的保护下快速转移到测试装置进行测试。

单光子信号测试

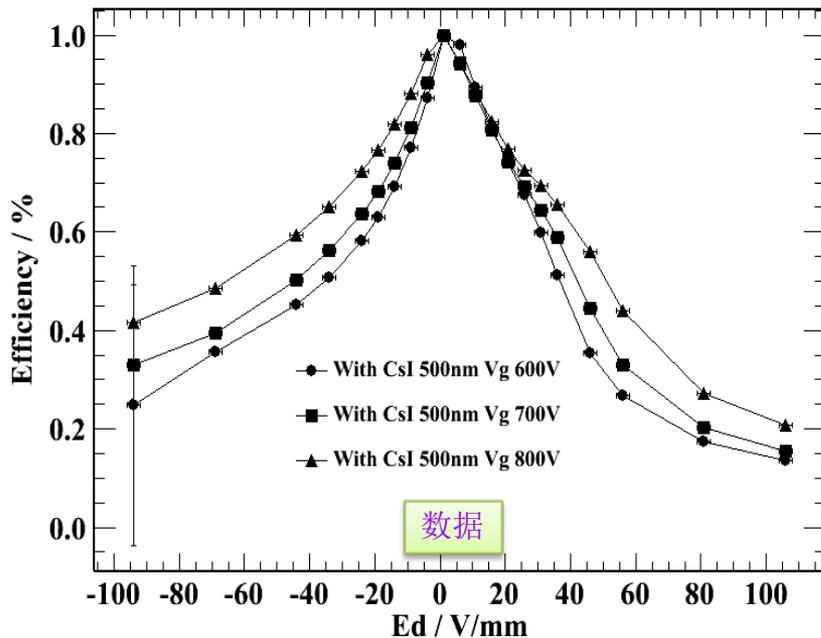
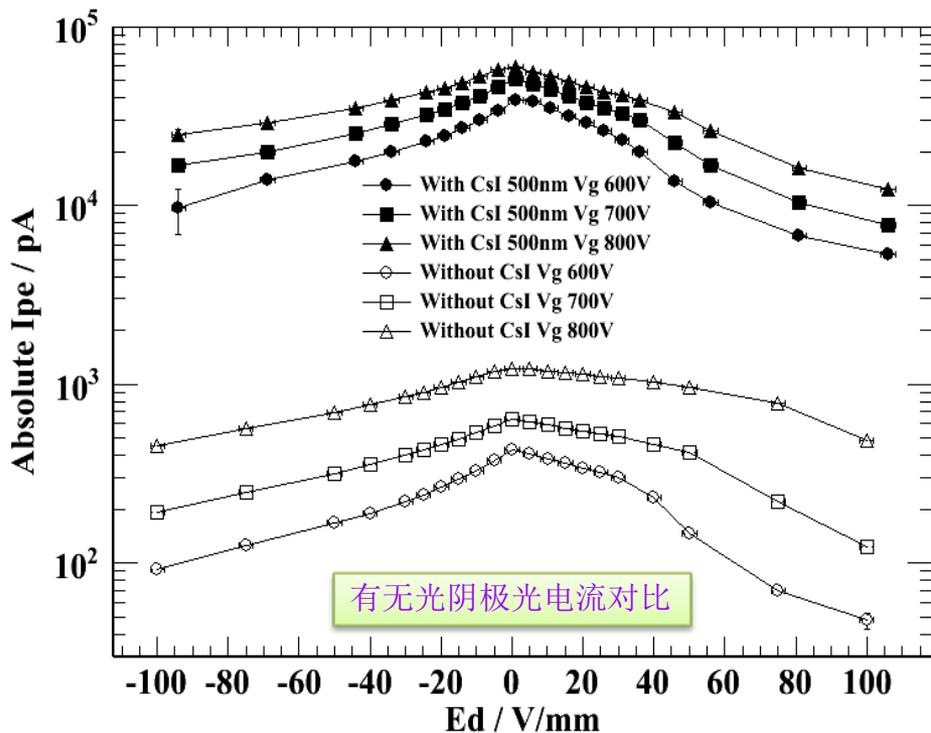
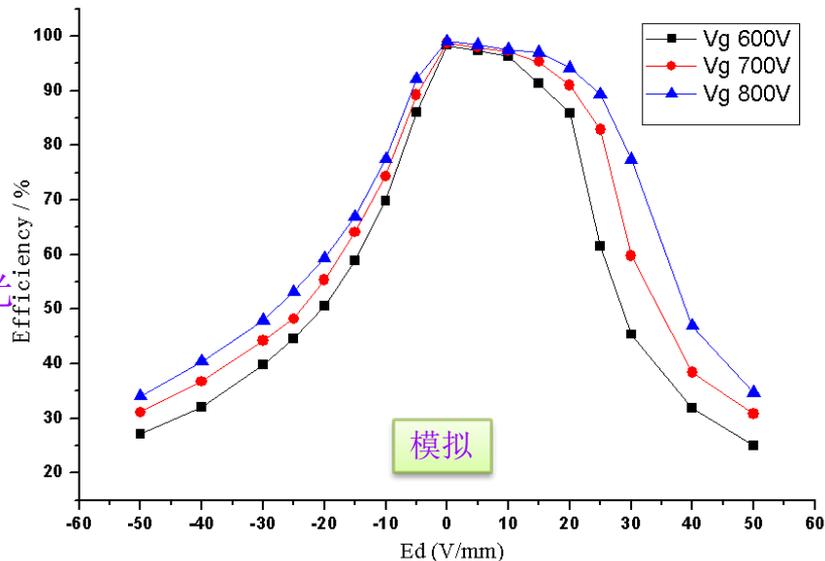
通过示波器直接看到单光子信号是我们的目标。实验过程不经任何前放基本没有信号。经过放大电路再进入示波器，有疑似单光子信号，但是由于计数率太低，不能够确定是宇宙线还是光源信号。



直流测试

对比了镀与未镀CsI光阴极的感应电流，前者比后者高出两个量级，达到几十nA水平，这充分说明了光阴极的光电效应作用。通过对比开与关紫外光源感应电流的变化也同样确定了这一效应。

通过调节漂移场强，得到了与模拟比较符合的光电子入孔效率随Ed的变化。实验过程包含有雪崩影响，在Ed为正时，数据与模拟有一些差异。



小 结

- 国产厚GEM已经取得了很好的进展，可推广于许多实际应用的场合，如X射线探测、UV探测及中子探测。
- 通过MaxWell2D对厚GEM的电场进行了全面的模拟，为优化厚GEM几何参数提供参考和依据。孔径 $\leq 0.5\text{mm}$ 为宜；板厚 $\leq 0.6\text{mm}$ 为宜； $20 \leq \text{Rim} \leq 120\mu\text{m}$ 。
- 通过MaxWell3D和Garfield对镀CsI厚GEM的光电子入孔效率进行了全面的模拟，确定了P/D、Ed、Rim和板厚为主要的电场和几何参数，并优化了其范围。总效率当P/D在2.0~3.0之间达到峰值，P/D为2.5比较优化；Ed $\in \pm 20\text{V/mm}$ 时入孔效率较高，Ed=0V/mm存在峰值；当板厚 $< 0.8\text{mm}$ ，入孔效率 $> 80\%$ ；对与CsI结合的THGEM， $20\mu\text{m} < \text{Rim} < 60\mu\text{m}$ 应该较为合适。
- 紫外光响应测试结果表明：有CsI光阴极时，GPM对紫外光的光电流比没有光阴极时高出2个量级，达到几十nA水平，说明了CsI光阴极的光电效应明显。而对单光子脉冲信号，还未能够确认，需要进一步实验。

谢 谢！

感谢刘宏邦和章爱武博士！