

陶瓷THGEM的性能研究

颜嘉庆,谢宇广

核探测与核电子学国家重点实验室

高能物理研究所

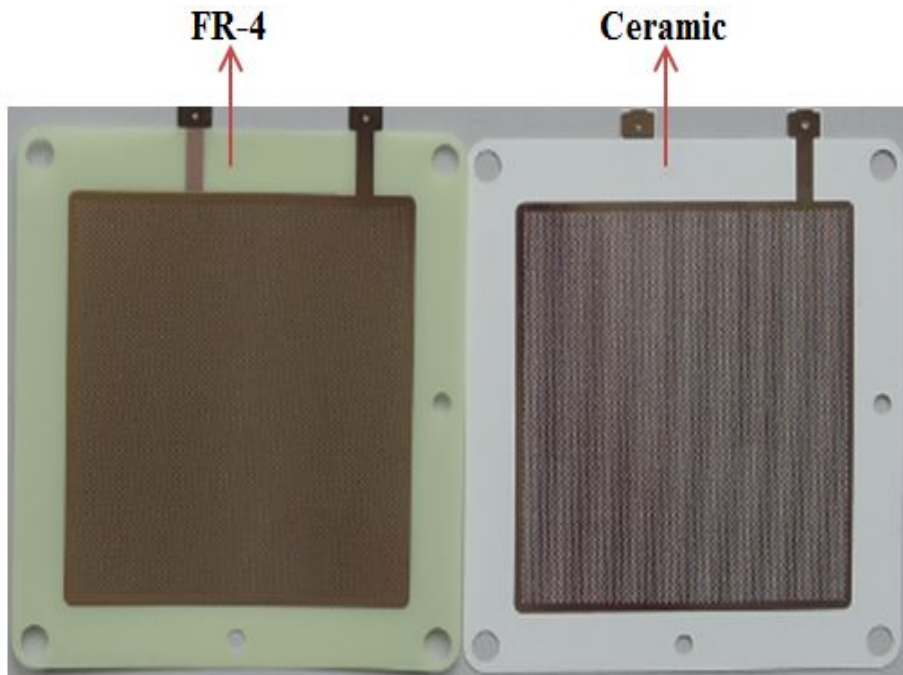
2014-7-19

第四届中国微结构气体探测器会议，山东，威海

目录

1. 介绍
2. Geant4 模拟
3. 放射性测量
4. 陶瓷THGEM的性能
 - 4.1 实验装置
 - 4.2 增益
 - 4.3 能量分辨率
 - 4.4 稳定性
 - 4.5 α 响应
5. 总结

1.介绍



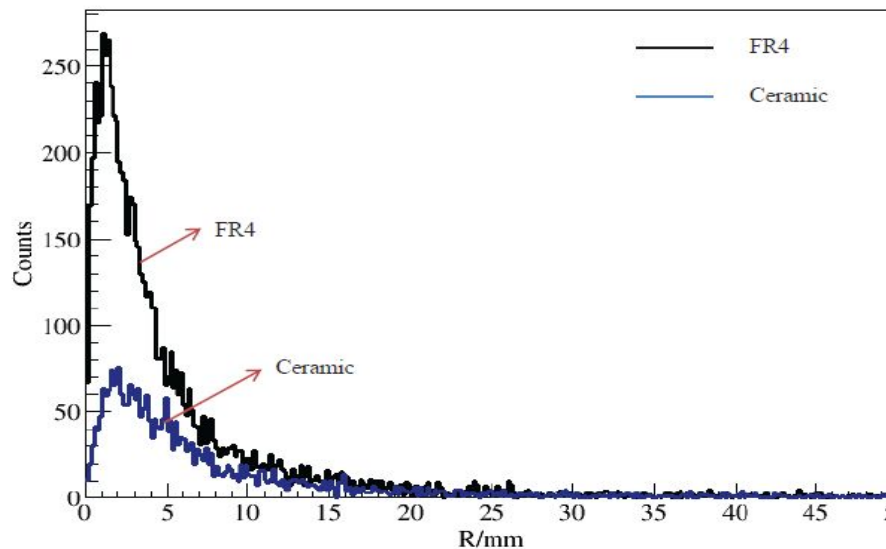
The same geometry of THGEM with ceramic substrate and FR4 substrate

陶瓷基材是一种复合材料，一般由粘土、石英和长石组成，氢元素的含量几乎为0。

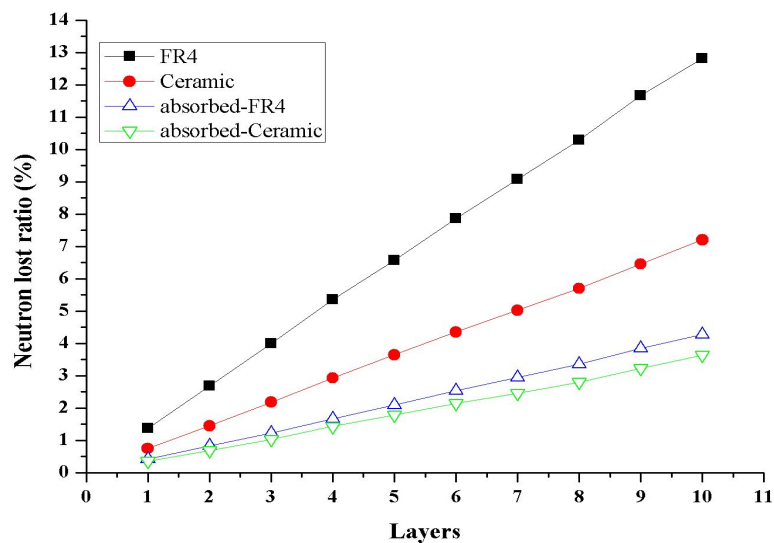
陶瓷基材不同于FR4，是由于它有对中子散射少，放气小，放射性低等优点，所以陶瓷THGEM运用到去探测中子是非常有优势的。

左图是几何尺寸相同的陶瓷THGEM和FR4-THGEM，灵敏面积是5 cm × 5 cm，孔径0.2 mm，孔间距0.6mm，厚度0.2 mm。

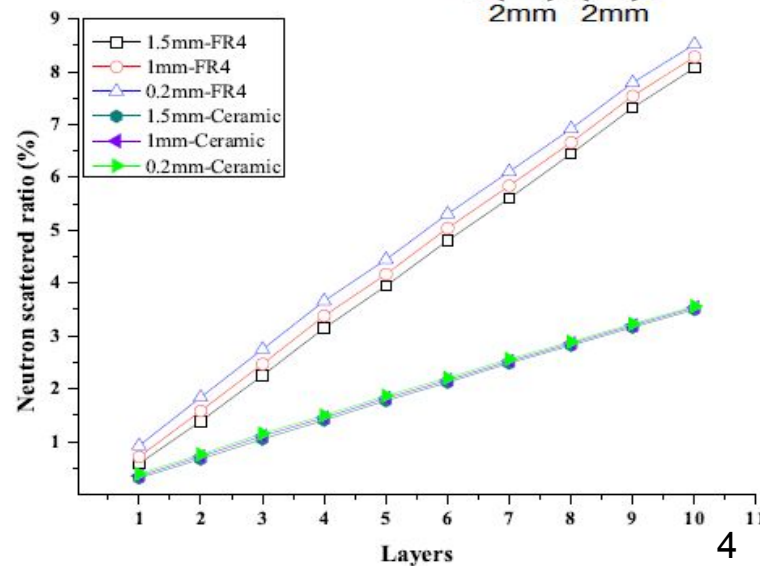
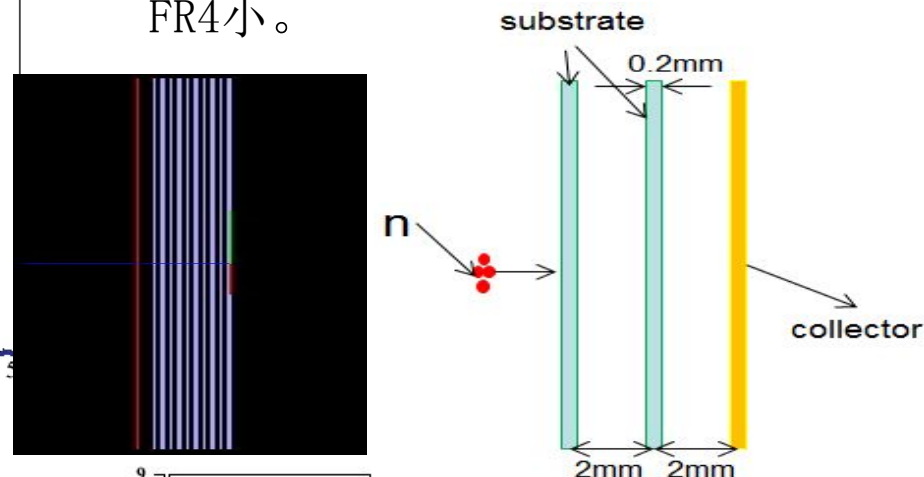
2. Geant4 模拟



The scattering radius distributions of the thermal neutrons after two layers of ceramic and FR-4 substrates



从以上三个图可以看出无论是中子吸收，还是中子散射陶瓷基材都比FR4小。



3.放射性测量

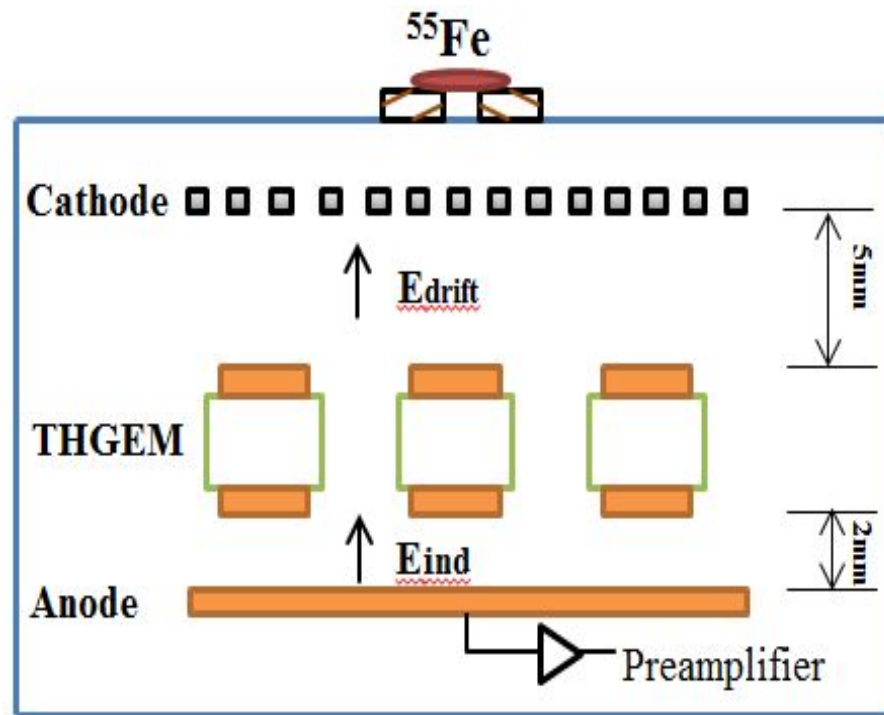
the radioactivity of ceramic and FR-4 substrate

	^{232}Th		^{238}U		^{40}K	
Specific radioactivity	(Bq/Kg)	σ	(Bq/Kg)	σ	(Bq/Kg)	σ
Ceramic	9.01	0.47	7.43	1.66	9.31	0.64
FR-4	27.22	0.84	19.60	4.32	21.92	1.35

在低本底实验室，用HPGe探测器对面积为5 cm × 5 cm，2mm厚的陶瓷和FR4基材的放射性进行分析。从上面表格可以看出，陶瓷基材的放射性要比FR4基材小，特别是陶瓷基材 ^{232}Th 的比活度是FR4基材的1/3。

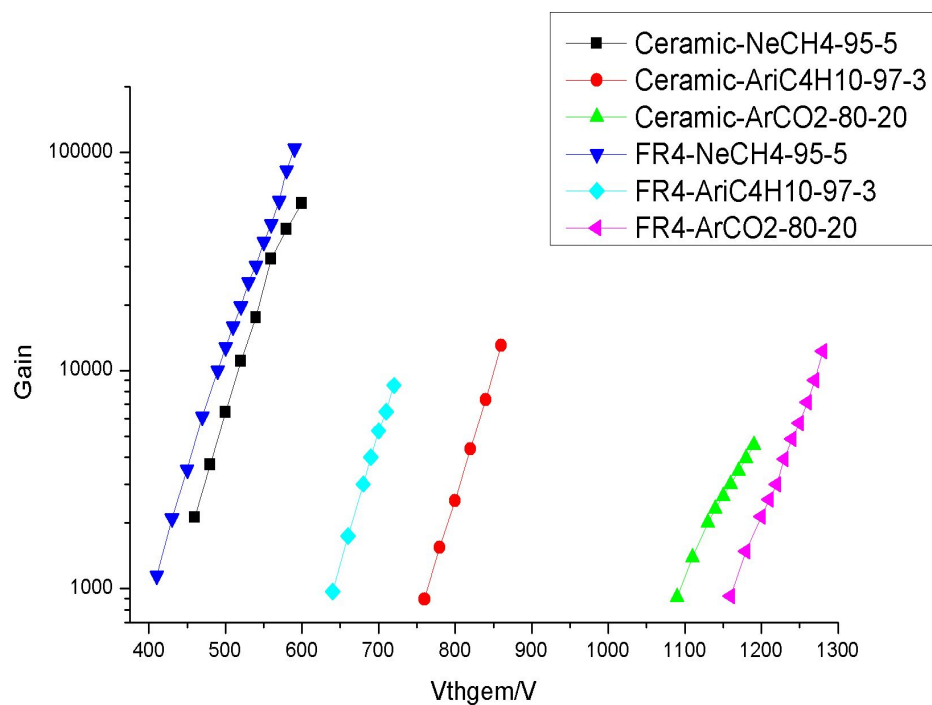
4. 陶瓷THGEM的性能

4.1 实验装置



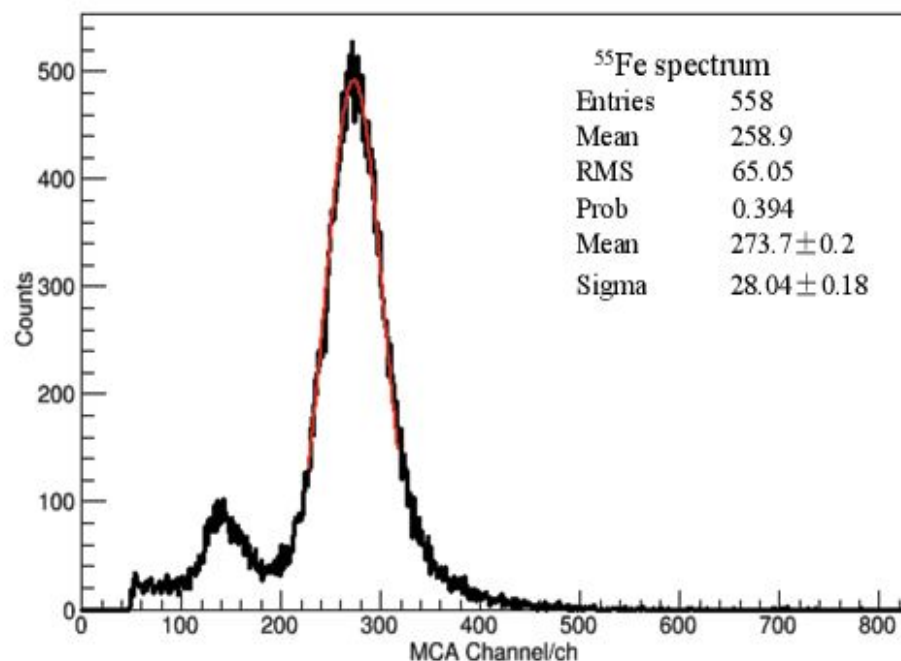
如左图所示的实验装置，用 5.9keV ^{55}Fe X射线源对单层陶瓷THGEM进行测试。漂移电场 $E_{\text{drift}} = 1\text{kV/cm}$ ，感应极电场 $E_{\text{ind}} = 4\text{kV/cm}$ ，输出的信号经过前放、主放，再经过多道，最后连到电脑上。

4.2 增益



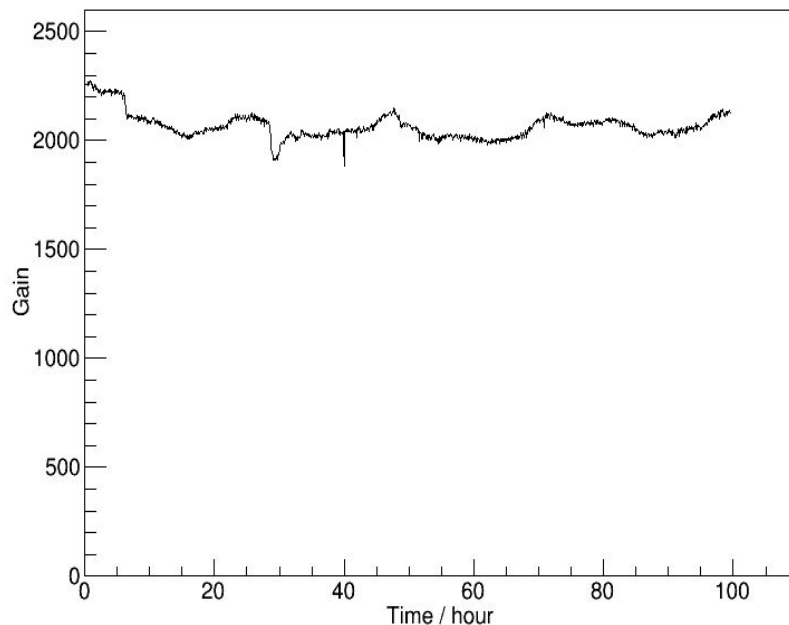
左图比较了单层陶瓷 THGEM 和 FR4-THGEM 在工作气体 $\text{Ne} + \text{CH}_4 = 95:5$, $\text{Ar} + i\text{C}_4\text{H}_{10} = 97:3$ 和 $\text{Ar} + \text{CO}_2 = 80:20$ 中的增益。除了在 ArCO_2 中, 在其他两种工作气体中陶瓷 THGEM 和 FR4-THGEM 的增益都相似。

4.3 能量分辨率



左图是单层陶瓷THGEM在Ar + i C₄H₁₀ = 97:3工作气体中，板间电压 $V_{\text{THGEM}}=800\text{V}$ 时，测得如左图所示的 ^{55}Fe 能谱图，经过公式 $\text{FWHM} = 2.35 \times \sigma$ 和 $\text{energy resolution} = \text{FWHM}/\text{Peak} \times 100\%$ 得陶瓷THGEM的分辨率为24%。

4.4 稳定性

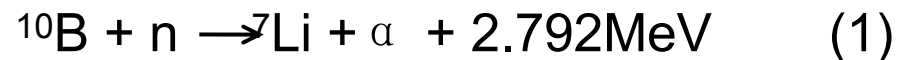


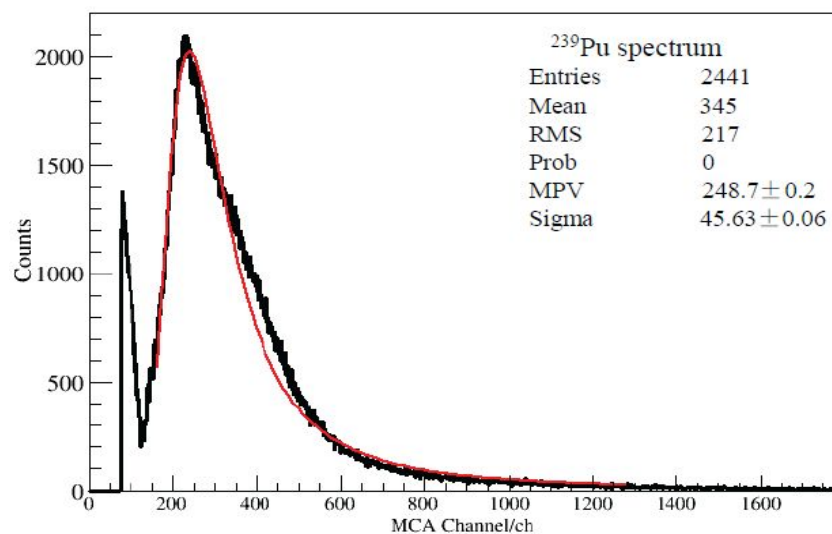
在Ar + CO₂ = 80:20的工作气体中，陶瓷THGEM在板间电压 $V_{\text{THGEM}}=1150\text{V}$ ，并100个小时不间断工作，每隔10分钟取一个能谱，再拟合全能峰，最后将全能峰对应的增益值连接起来就得到如左图所示的图像。如左图所示增益波动不是很明显，涨落大概为 $200/2050 \times 100\% = 9.8\% < 10\%$ 。

4.5 α 响应

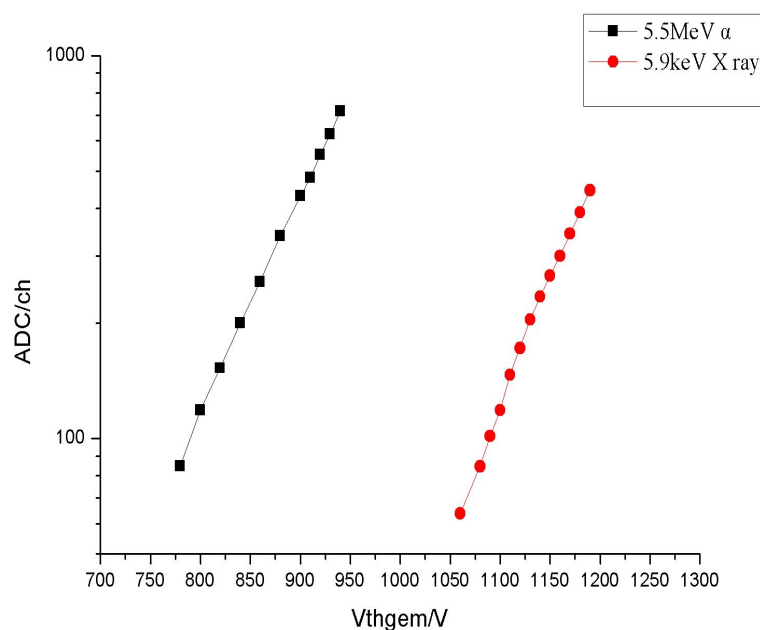
由于中子是电中性的粒子，与物质中的电子不存在库伦作用，而磁矩引起的电磁作用也很小，因此不能直接在物质中引起电离，即中子通过物质时的行为主要取决于中子与原子核的相互作用。

为了探测热中子，我们需要将热中子转换成带电的粒子，引起工作气体电离，所以可以在THGEM上表面涂一层热中子转换物质 ^{10}B ，将热中子转换成 α 粒子，进而对 α 粒子进行探测， ^{10}B 与热中子反应式如下所示。





左上图是用陶瓷 THGEM 在 $\text{Ar} + \text{CO}_2 = 80:20$ 工作气体中，板间电压 $V_{\text{THGEM}} = 850\text{V}$ ，对 α 粒子进行探测得到的 ^{239}Pu 的能谱图。



左下图是用 ^{239}Pu α 粒子源和 ^{55}Fe X 射线源，在 $\text{Ar} + \text{CO}_2 = 80:20$ 工作气体中，测得陶瓷 THGEM 的板间电压 V_{THGEM} 与多道数值之间的关系。

从左边两个图可以看出有陶瓷 THGEM 不但有非常清楚的 α 粒子能量沉积分布，还有较强的 n/gamma 分辨能力。

5. 结论

- 陶瓷THGEM与FR4-THGEM相比，也能够很好的在 $\text{Ne} + \text{CH}_4 = 95:5$, $\text{Ar} + \text{i C}_4\text{H}_{10} = 97:3$ 和 $\text{Ar} + \text{CO}_2 = 80:20$ 等气体中工作。
- 利用5.9keV ^{55}Fe X射线进行的性能测试能得到较好的结果。
- 由于陶瓷THGEM有对中子散射少，放气小，放射性低，清楚的 α 粒子能量沉积分布，和n/gamma分辨能力强等优点，所以运用去探测中子是很有优势的。
- 下一步将在THGEM上表面涂一层 ^{10}B 的转换体，用中子源进行探测；并尝试研制出一种更薄的陶瓷THGEM，以及灵敏面积达到 $200\text{mm} \times 200\text{ mm}$ 的陶瓷THGEM，以更有利于减少对中子的散射和吸收。

**Thank you
for your attention !**

