

Vernier 型光子计数探测器阳极电容仿真与试验研究

邢妍 陈波 王海峰 张宏吉 何玲平 金方圆

Simulation and experiment for electrode capacitance based on Vernier anode photon counting detector

Xing Yan Chen Bo Wang Hai-Feng Zhang Hong-Ji He Ling-Ping Jin Fang-Yuan

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 080702 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.080702

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.080702>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I8>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

一种基于 BLT 方程的孔缝箱体屏蔽效能计算方法

A BLT equation-based approach for calculating the shielding effectiveness of enclosures with apertures

物理学报.2015, 64(1): 010701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.010701>

一种考虑小孔尺寸效应的孔阵等效建模方法

An equivalent approach to modeling aperture array with considering size effect of apertures

物理学报.2014, 63(12): 120701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.120701>

球形压头与单晶铝材料纳米接触过程的多尺度分析

Multi-scale analysis of nanoscale contact process between spherical indenter and single crystal aluminium

物理学报.2013, 62(18): 180702 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.180702>

石墨烯等二维原子晶体薄片样品的光学衬度计算及其层数表征

The numerical-aperture-dependent optical contrast and thickness determination of ultrathin flakes of two-dimensional atomic crystals: A case of graphene multilayers

物理学报.2013, 62(11): 110702 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.110702> 温度梯度对晶粒生长行为影响

的相场模拟

Effect of temperature gradient on grain growth behavior from phase field simulations

物理学报.2011, 60(10): 100701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.60.100701>

Vernier型光子计数探测器阳极电容仿真与试验研究*

邢妍¹⁾²⁾ 陈波^{1)†} 王海峰¹⁾ 张宏吉¹⁾ 何玲平¹⁾ 金方圆¹⁾²⁾

1) (中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

2) (中国科学院大学, 北京 100049)

(2014年10月27日收到; 2014年11月27日收到修改稿)

根据 Vernier 型光子技术探测器的工作原理, 论述了电子云质心解码与阳极面板形成的微小极间电容和电路前端噪声有着密切的关系; 根据泊松方程, 建立了 Vernier 阳极的数学模型. 利用有限元软件 ANSYS 计算出同面多电极不规则图形的电容值与极间电容值, 解决了如何计算不规则形状电容值的问题; 利用皮秒激光器在镀有金膜的石英基底上刻蚀出与仿真参数一致的 Vernier 型阳极, 并测量其电容值. 将测量电容值与仿真值进行比较, 验证了建立模型的正确性, 优化了 Vernier 阳极的设计参数.

关键词: 光子计数探测器, Vernier 阳极, 极间电容, 有限元法

PACS: 07.87.+v, 07.05.Tp, 02.70.Dh

DOI: 10.7498/aps.64.080702

1 引言

地球等离子体层是内磁层重要的活跃区域之一, 其分布和变化对人类的无线电通信和航天活动有直接影响, 在揭示地球磁场众多复杂的相互作用过程中, 是一个关键的研究对象^[1-3]. 2000年, 美国的 IMAGE (Imager for Magnetopause to Aurora Global Exploration)^[4] 飞船成功拍摄到第一张全球等离子体的影像. 2013年, 中国开展的嫦娥三号工程^[5] 成功实现了月基观测地球等离子体层, 获得了信噪比较高的图像, 并从图中准确判定地球轮廓和等离子体层位置信息. 光子计数探测器在微光探测方面具有极大潜力, 具有电子增益高、暗噪声小、空间分辨率高等特点^[6-8], 是目前观测地球等离子体层的重要手段. 国外在光子计数探测器方面的研究起步较早, 各种探测器技术成熟, 如: MAMA 型阳极、交叉型阳极、延迟线阳极、楔条型阳极 (wedge-strip anode, WSZ) 等. 国外当前主

要研究热点是一些能兼顾时间与空间分辨率的混合型结构的阳极探测器. 与国外相比, 国内的光子计数探测器研究处于落后地位, 主要以 WSZ 阳极为主, 但 WSZ 阳极由于自身设计的非线性^[9], 使阳极面板的大小受到限制, 很难提高自身的空间分辨率. 为提高我国空间环境监测和预报能力, 亟需开展一种性能更好的光子计数成像探测器的研究.

Vernier 阳极是一种新型高分辨率阳极, 与 WSZ 型阳极同属电荷分隔型阳极, 但以其独特的设计与位置编码算法, 使电极线性变化, 阳极面板大小将不受限制, 能得到比 WSZ 阳极更高的空间分辨率. Vernier 型光子计数探测器已被应用于国外的 J-PEX sounding rocket experiment 项目中进行极紫外探测, 并获得 15 μm 的空间分辨率^[10]. 国内对 Vernier 阳极探测器技术的研究尚处于起步阶段, 研究重点侧重于质心解码以及图像畸变的校正算法, 存在许多问题亟需解决, 其中之一便是阳极面板设计优化^[11,12]. Vernier 阳极由于自身独特的面板设计, 形成了许多不规则形状的同面微小电

* 国家自然科学基金 (批准号: 10878004/A03) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: chenb@ciomp.ac.cn

容. 工作时, 电容之间彼此串扰, 导致感应电荷出现, 生成极间电容. 极间电容值关系到电极输出量的准确性, 与后续电路中电子云质心位置解码息息相关. 此外, 阳极板的电容值作为前置放大电路的容抗输出, 其大小直接影响到探测器的系统噪声. 因此, 计算出 Vernier 型阳极面板电容值对质心解码与后续电路噪声有着重要的意义. 目前, 还没有统一的解析公式来获得不规则形状导体的精确电容值. 但在优化结构参数设计中, 有限元提供了一种有效的方法. 故本文采用有限元方法对 Vernier 阳极面板形成的多阳极电容值进行三维仿真计算, 并修改阳极面板的不同设计参数, 以电容值大小为参考, 为 Vernier 阳极板设计提供依据.

2 Vernier 型阳极光子计数探测器系统

图 1 所示为 Vernier 型阳极光子计数探测器系统的基本结构^[13], 由汞灯、衰减片、微通道板 (micro-channel plate, MCP)、前端放大整形电路和数据采集系统构成. 从汞灯光源发出的光, 通过衰减片变成一个个单光子, 经过 MCP 的光电转化, 实现电子倍增形成电子云. 电子云在真空室加速电场的作用下, 撞击在 Vernier 阳极板上. 阳极负责收集电子, 产生电信号. 阳极输出信号通过后续电路的整形放大, 最后输入到数据采集系统中, 进行电子云质心的位置解码过程.

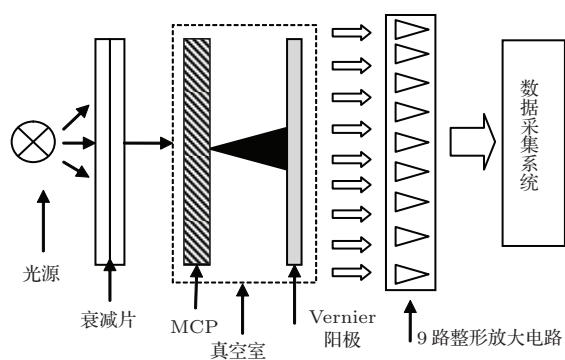


图 1 Vernier 阳极单光子计数探测器系统简图

Fig. 1. Framework plot of the photon counting detector based on Vernier anode.

2.1 Vernier 型阳极探测器电子云质心解码算法

图 2 为两个周期的 Vernier 型阳极结构, A, B, C 三块条形单元按周期排列组成, 其中每一单元由两条波长和振幅相同, 相位差 120° 的正弦曲线分

割. 一个周期的 Vernier 阳极由 9 个独立阳极组成, 共有 Q_{A1} , Q_{A2} , Q_{A3} , Q_{B1} , Q_{B2} , Q_{B3} , Q_{C1} , Q_{C2} , Q_{C3} 9 路输出通道.

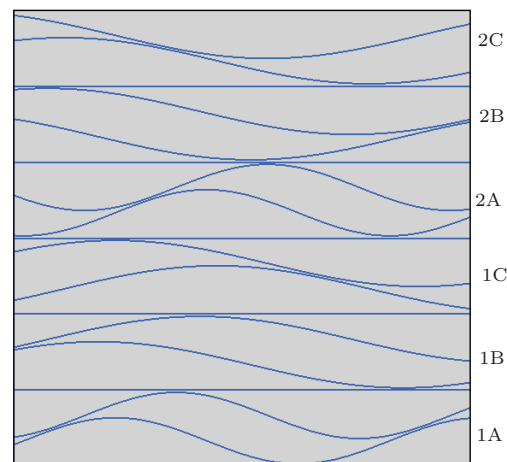


图 2 两个周期的 Vernier 阳极面板结构

Fig. 2. Schematic diagram of Vernier anode with two pitches.

图 3 为 Vernier 基本电极单元 A. 以图 3 为例, 讲述 Vernier 阳极编码过程^[14].

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{N}{9} + b \sin(\theta_A + \varphi), \\ A_2 &= \frac{N}{9} + b \sin\left(\theta_A + \varphi - \frac{2\pi}{3}\right), \\ A_3 &= \frac{N}{9} + b \sin\left(\theta_A + \varphi - \frac{4\pi}{3}\right), \end{aligned} \quad (1)$$

式中, N 为阳极的周期宽度; b 为正弦曲线的振幅; φ 为绝缘沟道 A1 的初始相位;

$$\theta_A = \frac{2\pi}{\lambda_A} x, \quad (2)$$

其中, λ_A 为正弦绝缘沟道的波长, θ_A 与 x 坐标成线性关系.

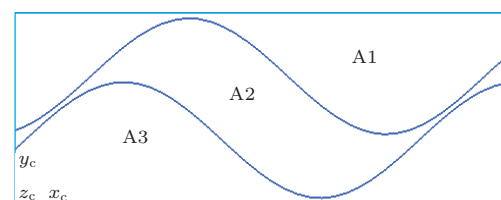


图 3 Vernier 基本电极单元 A

Fig. 3. Basic electrode unit A of Vernier anode.

Vernier 阳极电子云覆盖在阳极的电荷量与面积成正比, 关系式如下:

$$\frac{Q_{A1}}{Q_{A1} + Q_{A2} + Q_{A3}} = \frac{A_1}{A_1 + A_2 + A_3}. \quad (3)$$

根据 (1), (3) 式可得

$$\theta_A = \arcsin \left(\frac{3Q_{A1}}{Q_{A1} + Q_{A2} + Q_{A3}} - 1 \right). \quad (4)$$

同理可得,

$$\theta_B = \arcsin \left(\frac{3Q_{B1}}{Q_{B1} + Q_{B2} + Q_{B3}} - 1 \right), \quad (5)$$

$$\theta_C = \arcsin \left(\frac{3Q_{C1}}{Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3}} - 1 \right). \quad (6)$$

由 (2) 式可得 Vernier 阳极位置解码公式如下:

$$\begin{cases} x = \lambda_x \frac{\theta_x}{2\pi} + m_x \lambda, \\ y = \lambda_y \frac{\theta_y}{2\pi} + m_y \lambda, \\ z = \theta_A + \theta_C - \frac{\theta_x}{n^2} - \frac{\theta_y}{n}, \end{cases} \quad (7)$$

其中, $\theta_x = \theta_A + \theta_B$; $\theta_y = \theta_B + \theta_C$; λ_x, λ_y 分别为 x 和 y 方向上的波长; n 为波数; m_x 和 m_y 均为整数. 由于正弦曲线具有周期型, 会出现一个相位值对应多个质心位置的情况, 所以解码过程分为两部分. z 值将阳极面板进行分区, 每块区域对应一组 m_x, m_y , 即确定了曲线处于的周期, 从而确定电子云质心位置 x, y .

2.2 极间电容

当真空室中的电子云团降落在阳极板的一块电极 (称其为激励电极 i) 时, 未有电子降落的电极 j 也会感应出一定的电量, 这部分电量称之为感应电荷 Q_{ij} . Q_{ij} 的存在, 使得 i, j 电极之间存在电容值, 称其为极间电容 C_{ij} [15]. 在一个阳极系统中, 极间电容可由 (8) 式表示, 并且 $C_{ij} = C_{ji}$.

$$\begin{pmatrix} C_{12} & C_{13} & \cdots & C_{1,N-1} & C_{1,N} \\ C_{23} & C_{24} & \cdots & C_{2,N} \\ \vdots & \vdots & & & \\ C_{N-2,N-1} & C_{N-2,N} \\ C_{N-1,N} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

其中, N 表示一个阳极系统中独立电极个数, 那么极间电容的总数 $M = N(N-1)/2$. 例如, 如图 2 所示的阳极面板, 独立的阳极个数 $N = 18$, 极间电容总数 $M = 153$.

根据极间电容定义, Vernier 型探测器电极输出电量的准确表达式为

$$Q_i = C_i V_i + \sum_{j=1}^N C_{ij} (V_i - V_j). \quad (9)$$

(9) 式中, 阳极面板除了自身电容产生的电量 $C_i V_i$ 外, 还存在极间电容产生的感应电荷量 $\sum_{j=1}^N C_{ij} (V_i - V_j)$. 由上文的位置解码过程可知,

Vernier 型探测器是通过测量 9 路电极输出的电荷量来确定电子云的质心位置, 因此准确得到 9 路信号电量是实验中关键的技术. 计算极间电容值, 消除极间感应电荷量对成像编码的影响意义重大.

此外, Vernier 型探测器阳极的分辨率主要受到电子系统噪声和电荷分割噪声的影响, 其中前者是由系统的前置放大电路产生, 其信噪比与读出阳极容抗成反比 [16]. 一般来说, 前置放大电路噪声用下式表达 [17]:

$$N = N_0 + N_C C_{in}, \quad (10)$$

其中, N_0 是前端零电容负载时的噪声均方根 (RMS) 值, N_C 是每单位电容产生的随机噪声的 RMS 值, C_{in} 是电容负载量.

为了消除极间电容产生的感应电荷量和抑制阳极电容带来的前置放大噪声, 下面将利用 ANSYS 软件仿真出 Vernier 阳极面板, 计算阳极面板自身电容值和极间电容值.

3 Vernier 阳极面板仿真计算原理及实验过程

3.1 Vernier 阳极的三维数学模型

Vernier 阳极是由多个不规则小金属导体构成的同面面板, 当电子云降落其上时, 每个小分割阳极面板将感应出不同的电势值. 电势分布 $\phi(x, y, z)$ 可以用泊松方程描述:

$$\nabla \cdot \varepsilon \nabla \phi(x, y, z) = 0, \quad (11)$$

其中 ε 为介电常数.

模型建立过程中, 假设阳极面板在真空区域内的电势满足第一类边界条件:

$$\begin{cases} \phi(x, y, z) |_{(x,y,z) \in \tau_i} = U, \\ \phi(x, y, z) |_{(x,y,z) \in \tau_s} = 0, \end{cases} \quad (12)$$

其中, τ_i 是激励电极 i 上的点构成的集合, τ_s 为真空中空气区域和所有非 i 电极构成的集合.

可得电容值

$$C_{ij} = \frac{Q_{ij}}{\Delta U}, \quad (13)$$

其中, $i = 1, 2, 3, \dots; j = 2, 3, 4, \dots; \Delta U$ 为导体间的电势差.

根据 Gauss 定理, 可得到包围电极闭合面 V_i 内的电量

$$Q_i = \iiint_{V_i} \varepsilon \nabla \phi(x, y, z) dV. \quad (14)$$

3.2 仿真过程

本文模拟的三维 Vernier 阳极模型如图 4 所示, 正弦曲线绝缘沟道将石英基底上镀制的金膜分割成周期排列的区域. 基本参数如下: 阳极板面积 $S = 19.8 \text{ mm} \times 19.8 \text{ mm}$, 绝缘沟道宽度 $d = 30 \mu\text{m}$, 绝缘沟道深度 $m = 10 \mu\text{m}$, 金膜厚度 $y = 10 \mu\text{m}$, 石英基底厚度 $h = 1.5 \text{ mm}$; 石英相对介电常数 $\varepsilon_{\text{quartz}} = 2.4$; 空气相对介电常数 $\varepsilon_{\text{air}} = 1$. 在仿真过程中, 由于金膜厚度远远小于石英基底厚度, 可将金膜厚度忽略不计.

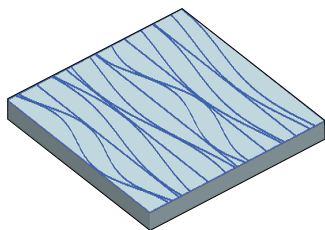


图 4 Vernier 阳极面板三维模型

Fig. 4. Three-dimensional Vernier anode model.

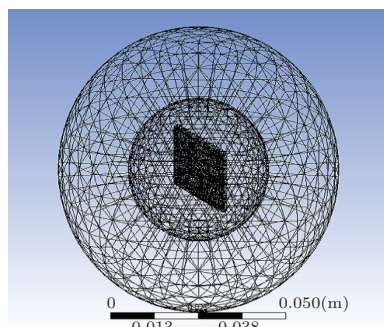


图 5 空气以及远场区域结构剖分网格三维图

Fig. 5. Three-dimensional mesh dissection diagram of air and far field.

仿真过程如下:

1) 进入 ANSYS 过滤图形界面, 选择电场分析环境;

2) 定义单元类型, 选取三维实体单元 3D Tet 123, 三维无限远边界单元 3D Inf Brick 111;

3) 定义石英基底、空气以及阳极板的材料属性;

4) 将建立的三维 Vernier 阳极模型导入 ANSYS, 并利用划分工具对其阳极板、空气区域以及远场区域进行划分, 结果如图 5 和图 6 所示;

5) 设定边界条件, 并给阳极面板上处于中心的阳极施加激励电压, 远场边界施加远场标志;

6) 进入求解和后处理过程, 计算出电势分布图;

7) 利用 ANSYS 中的 CMATRIX 宏命令, 计算出 Vernier 阳极电极的电容值与极间电容值.

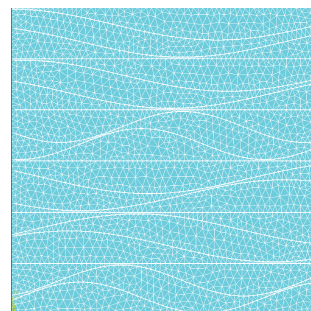


图 6 ANSYS 中 Vernier 阳极面板划分模型

Fig. 6. Mesh dissection diagram of Venier anode by ANSYS.

3.3 仿真结果分析

Vernier 阳极模型的电势分布如图 7 所示.

从图 7 可以看出, 整块面板的电势分布为非均匀分布. 离激励电极越远, 感应电势越弱, 感应电荷就越少, 即两个电极距离越远, 电极之间的极间电容值越小. 图 8 为仿真计算得到的一个周期内 9 个电极之间的极间电容值. 每组极间电容值的趋势都是彼此最邻近的电容值最大, 距离越远, 电容值越小. 故在计算由极间电容产生的感应电量时, 为了方便计算, 可以忽略电容值过小的极间电容.

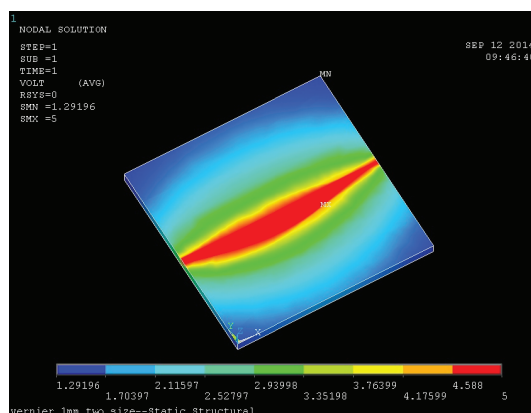


图 7 (网刊彩色) 阳极面板的电势分布

Fig. 7. (color online) Potential distribution of the Vernier anode.

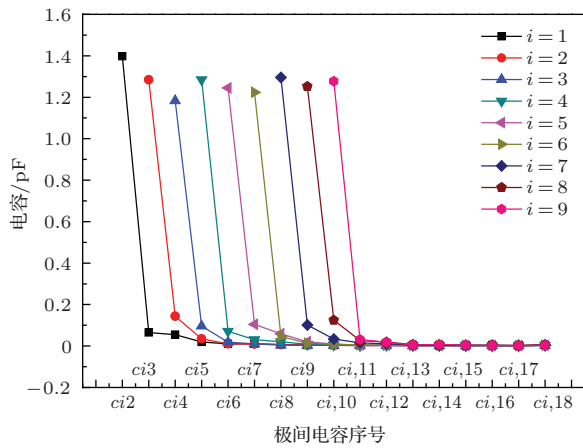


图8 (网刊彩色) 一个周期内的极间电容值

Fig. 8. (color online) Interelectrode capacitances in a periodic structure.

利用皮秒激光加工设备, 加工出与仿真参数一致的 Vernier 型阳极面板, 如图9所示. 将阳极上的18个分割阳极进行多次测量, 取平均值, 与仿真值进行比较, 结果如表1所列.

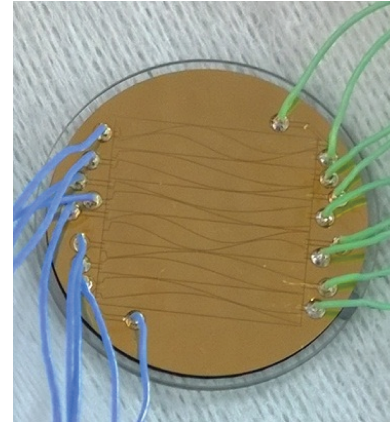


图9 皮秒激光器加工出的 Vernier 型面板

Fig. 9. Vernier anode fabricated by picosecond laser ablation.

表1 比较仿真数据与测量数据

Table 1. Comparison between simulation data and measurements.

电容序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
仿真值/pF	1.705	2.966	2.722	2.859	2.928	2.700	2.912	2.918	2.780
测量值/pF	1.767	2.433	2.234	2.467	2.378	2.300	2.533	2.333	2.433
电容序号	10	11	12	13	14	15	16	17	18
仿真值/pF	2.991	2.760	2.754	2.690	2.932	2.805	2.920	2.747	1.740
测量值/pF	2.367	2.300	2.333	2.433	2.400	2.300	2.233	2.400	2.100

3.4 阳极板结构参数改变时电容仿真计算

按照规则形状的电容定义, 电容值大小只与材料的形状和介电常数有关. 在阳极面板设计过程中, 一些参数会在某种程度上改变材料的形状和介电常数, 从而影响电容值的大小. 例如: 基底材料的介电常数、绝缘沟道的宽度与深度等. 由于仿真计算得到的电容值与测量值相符, 而且极间电容值远小于其自身电容, 因此, 可通过改变阳极面板的参数, 使得独立电容的电容值达到最小来减少前置电路输入容抗, 优化阳极面板的设计参数.

本文从以下三方面进行仿真计算分割阳极的电容值: 1) 改变阳极面板基底材料, 目前阳极面板基底大多选用石英基底和PCB板 ($\epsilon_{\text{quartz}} = 2.4$, $\epsilon_{\text{pcb}} = 4.5$); 2) 改变绝缘沟道的加工深度, 将绝缘沟道加工深度设置为10, 20, 30 μm ; 3) 改变绝缘沟道加工宽度, 将绝缘沟道加工宽度设置20,

25, 30, 35, 40 μm . 电容值的计算结果如图10—图12所示.

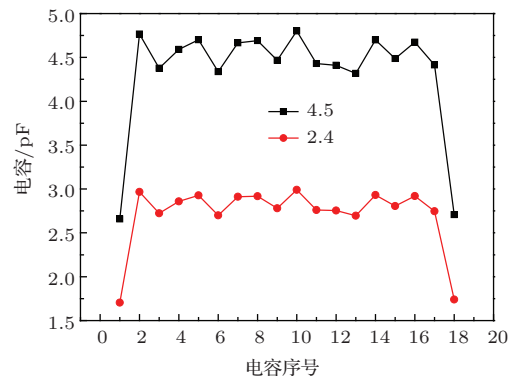


图10 介电常数不同时分割阳极电容值

Fig. 10. Intersected electrode capacitances with different permittivities.

通过上述三种不同参数的电容仿真计算结果可得到如下结论.

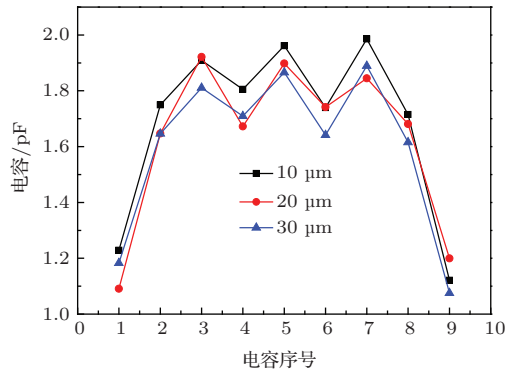


图 11 (网刊彩色) 不同绝缘沟道深度时分割阳极电容值
Fig. 11. (color online) Intersected electrode capacitances with different insulation channel depths.

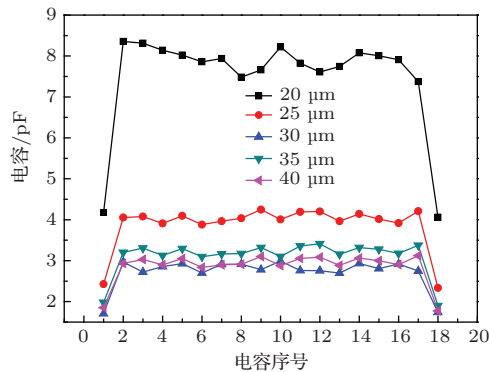


图 12 (网刊彩色) 不同绝缘沟道宽度下分割阳极电容值
Fig. 12. (color online) Intersected electrode capacitances with different insulation channel widths.

1) 基底的介电常数与阳极电容有着直接的关系. 设计时, 应选取介电常数小的材料为基底.

2) 改变绝缘沟道深度对电容值变化并不灵敏. 在激光刻蚀绝缘沟道时, 加工出的绝缘沟道的深度受沟道的宽度和激光参数的影响. 由于深度对电容值影响不大, 可由绝缘沟道的宽度和激光器的加工效率来决定沟道的深度.

3) 绝缘沟槽宽度的变化对电容值的变化较为明显. 根据规则形状电容器值的大小与电容器面积成正比、与电容之间的间距成反比的规律. 当绝缘线宽度过小时, 阳极面积增大, 电容值变大; 当绝缘沟槽宽度过大时, 虽然减少了阳极的面积, 却增加了阳极之间的间距. 故针对此面板在绝缘宽度为 30 μm 时, 电容值达到最小.

4 结 论

本文解决了不规则形状同面多电极的电容值计算问题. 所加工的 Vernier 型阳极面板的电容值

与仿真结果一致. 在 Vernier 型光子计数探测器系统位置解码过程中, 计算得到的 Vernier 型分割阳极的电容值与极间电容值为感应电荷和后续电路噪声的计算打好了基础. 此外, 通过对比不同基底、不同绝缘沟道宽度和深度的面板的电容值而得到的结果, 对加工出高质量的 Vernier 型阳极面板有一定的指导意义.

参考文献

- [1] He F, Zhang X X, Chen B, Fok M C 2010 *Sci. China Tech. Sci.* **53** 200
- [2] Sandel B R, Goldstein J, Gallagher D L, Spasojevic M 2003 *Space Sci. Rev.* **109** 25
- [3] Shi L, Tian L C, Yang S S 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 069601 (in Chinese) [石红, 田立成, 杨生胜 2014 物理学报 **63** 069601]
- [4] Sandel B R, Broadfoot A L, Curtis C C, King R A, Stone T C, Hill R H, Chen J, Siegmund O H W, Raffanti R, Allred David D, Steven Turley R, Gallagher D L 2000 *Space Sci. Rev.* **91** 197
- [5] Dai S W, Jia Y Z, Zhang B M, Wu J, Sun H X, Liu E H, Wei J Y, Chen B, Huang C N, Xue C B, Yang J F, Fang G Y, Wang J Y, Wang H Y, An J S 2014 *Sci. China Technol. Sin.* **44** 361 (in Chinese) [代树武, 贾瑛卓, 张宝明, 吴季, 孙辉先, 刘恩海, 魏建彦, 陈波, 黄长宁, 薛长斌, 杨建峰, 方广有, 王建宇, 王焕玉, 安军社 2014 中国科学技术科学 **44** 361]
- [6] Hu H J, Zhao B S, Sheng L Z, Sai X F, Yan Q R, Chen B M, Wang P 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 019701 (in Chinese) [胡慧君, 赵宝升, 盛立志, 赛小锋, 鄢秋荣, 陈宝梅, 王朋 2012 物理学报 **61** 019701]
- [7] Ni Q L, Han S L, Chen B, Wang H F 2011 *Opt. Precision Eng.* **19** 2602 (in Chinese) [尼启良, 韩素丽, 陈斌, 王海峰 2011 光学精密工程 **19** 2602]
- [8] He L P, Yue J Y, Liu S J, Chen B 2012 *Acta Opt. Sin.* **32** 0604002 (in Chinese) [何玲平, 岳巾英, 刘世界, 陈波 2012 光学学报 **32** 0604002]
- [9] Martin C, Jelinsky P, Lampton M, Malina R F, Anger H O 1981 *Rev. Sci. Instrum.* **52** 1067
- [10] Bannister N P, Lapington J S, Barstow M A, Fraser G W, Sanderson B S, Tandy J A, Pearson J F, Spragg J E 2000 *Proc. SPIE* **4140** 199
- [11] Yang H, Zhao B S, Yan Q R, Liu Y A, Hu H J 2011 *Sci. China Phys. Mech.* **54** 1943
- [12] Zhang X H, Zhao B S, Miao Z H, Li W, Zhu X P, Liu Y A, Zou W 2008 *Chin. Opt. Lett.* **6** 661
- [13] Zhang X H, Zhao B S, Miao Z H, Zhu X P, Liu Y A, Zou W 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 4238 (in Chinese) [张兴华, 赵宝升, 缪震华, 朱香平, 刘永安, 邹玮 2008 物理学报 **57** 4238]
- [14] Yan Q R, Zhao B S 2011 *Chin. Phys. C* **35** 368
- [15] Alme K J, Mylvaganam S 2006 *IEEE Sens. J.* **6** 1256
- [16] Schwarz H E, Lapping J S 1985 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **32** 433

[17] He L P 2010 *Ph. D. Dissertation* (Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics Chinese Academy of Sciences) (in Chinese) [何

玲平 2010 博士学位论文 (长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所)]

Simulation and experiment for electrode capacitance based on Vernier anode photon counting detector^{*}

Xing Yan¹⁾²⁾ Chen Bo^{1)†} Wang Hai-Feng¹⁾ Zhang Hong-Ji¹⁾
He Ling-Ping¹⁾ Jin Fang-Yuan¹⁾²⁾

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

2) (*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

(Received 27 October 2014; revised manuscript received 27 November 2014)

Abstract

According to the principle of Vernier anode photon counting detector, in this paper we discuss a decoding algorithm of calculating centroid location and interelectrode capacitance between electrodes, which has a close relationship with preamplifier circuit noise. Based on the Poisson's equation, the theoretical model of Vernier anode is established. The method of calculating the irregular shape uniplanar self-capacitance and interelectrode capacitance between electrodes using ANSYS finite element analysis is introduced. In addition, a Vernier anode plate is manufactured with picosecond laser micromachining process on a 1.5 mm thick quartz substrate with gold film as conductors. The Vernier anode pattern has a pitch of 9.9 mm, an active area of 19.8 mm × 19.8 mm, insulation channel depth of 10 μm, and insulation channel width of 30 μm. Comparing the simulated capacitances with the measured capacitances, the validity of the three-dimensional finite-element method is proved. A simulation study on the effects of substrate permittivity, insulation channel width and depth on capacitance change is carried out. The simulation result provides a basis for structure design of Vernier anodes.

Keywords: photon counting detector, Vernier anode, interelectrode capacitances, finite-element method

PACS: 07.87.+v, 07.05.Tp, 02.70.Dh

DOI: 10.7498/aps.64.080702

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10878004/A03).

[†] Corresponding author. E-mail: chenb@ciomp.ac.cn