

MOSFET用作临床X射线 剂量测量的研究

MOSFET Used for Clinical X-ray Doses Measured Exploration

陈智维, 姚升宇, 张铁宁,
胡喆恺, 朱振华

上海交通大学附属第一人民医院 肿瘤科, 上海 200080

[摘要] 目的 利用场效应晶体管对X射线的敏感性, 探讨制作出符合临床需要、实用的X射线剂量探测器的可行性。方法 ① 确定合适的场效应晶体管工作参数, 即确定工作电压VDS以及漏极电阻DR, 并测量在X射线照射场效应晶体管时, 漏极电阻DR上的电压降VDR, 以确定场效应晶体管对X射线照射是否敏感。② 任选市售不同型号的场效应晶体管若干, 并在临床的标准条件下对这些场效应晶体管作X射线照射, 通过测定VDR值, 以确定场效应管对X射线照射反应的普遍性。③ 使用电离室(临床标准配置)对X射线的剂量作标定, 并对处于相同X射线照射下场效应晶体管的VDR值作比对测量, 以确定VDR值与X射线剂量之间的函数关系。④ 大剂量X射线照射试验用场效应晶体管, 通过观察其大剂量射线轰击的耐受性, 以确定其作为传感器应当具有的可靠性。结果 市售场效应晶体管对X射线照射的反应具有普遍性; 其输出信号与X射线剂量之间具有很好的线性关系; 试验用场效应管能够经受大剂量1000cGy的15MV高能X射线轰击。结论 经过挑选的市售场效应晶体管完全能适用作临床上检测X射线的相对剂量。

[关键词] 场效应晶体管; X射线; 电离室; 剂量监测; 探测器

Abstract: Objective In this study, we discussed the feasibility of fabricating a practical X-ray dose detector accord with clinical practice by MOSFET which were sensitive to X radiation. Methods ① Built the MOSFET working circuit, namely, by confirming the Drain Voltage —VDS, and the Drain Resistance—DR, and measuring the voltage VDR on the DR to make sure the MOSFET's sensitivity to X-ray. ② Chose different types of MOSFET in market and irradiating on them in standard condition and measuring the VDR, to make sure whether all the MOSFET have the same radiation effects. ③ With the same X-ray exposure, compare the VDR measured in MOSFET and the dose measured by ionization chamber and find out their functional relationship. ④ Determining the MOSFET's durability by large exposure. Results The MOSFET sold in market that have same radiation effects of X-ray; the measured VDR and the measured dose was well linear correlation; the MOSFET can afford 1000 cGy X-ray exposure. Conclusion The selected MOSFET can fully used to measure the relative dose of X-ray.

Key words: MOSFET; X-ray; ionization chamber; dose monitoring and confirmation; detector

CHEN Zhi-wei, YAO Sheng-Yu,
ZHANG Tie-Ning, HU Zhe-kai, ZHU
Zhen-hua

Department of Oncology, First People's
Hospital, Shanghai Jiaotong University,
Shanghai 200080, China

[中图分类号] TN386; R144.1 [文献标志码] A
doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2011.05.017
[文章编号] 1674-1633(2011)05-0063-06

0 前言

通常把能使物理量或化学量转变为电量(或电磁量)的器件或元件叫做传感器或探测器。

在放射治疗的临床实践中,经常需要作X射线的剂量测量。例如检查直线加速器的射线束在某一方向的平坦度;患者在接受放射治疗时的剂量监测和验证等。目前通用的、经典的、高精度计量X射线剂量的探测器仍然是石墨外壳

结构的空气电离室,但其体积较大以及易损坏的特性决定其不能作为临床的计量验证用,而要用作直线加速器的平坦度测量还需配上价格昂贵的二维或三维水箱,操作时还很费时、费力。

半导体探头因其硅晶体的密度较空气高,同时较低的辐射能量就能激发出离子对,故其探测射线的灵敏度比空气电离室的高18000倍左右,同时体积也可做得非常微小。

收稿日期: 2011-01-21
作者邮箱: czw0123456789@163.com

半导体探测器实际上是一种特殊的 PN 型二极管,但 20 世纪 70 年代, Holmes-Siedle 提出了使用场效应晶体管作为射线计量探测器。场效应晶体管 (MOSFET),即:金属-氧化物-半导体场效应晶体管,根据在硅晶体中掺入不同的杂质原子而分为 n 型 MOSFET 和 p 型 MOSFET。由于场效应晶体管的栅极 (G 极) 与源极 (S 极) 加的是反向电压,而且还具有绝缘栅极 (增强型 MOSFET) 这一特殊结构,是一种等效输入阻抗很高的半导体元件,因此比半导体二极管更适合作为微量信号的探测器。

目前,市场上已有成功的,使用 MOS 元件制造的射线探测器产品出售,但都是使用专门设计、制造的 MOS 管芯片,因此价格昂贵,从而限制了其使用。随着电子工业的快速发展, MOSFET 的制造工艺及性能等已有很大改进,新型的 MOS 元件层出不穷,各种型号及规格的元件也迅速增加, MOS 晶体管也成为了一种市场上常见的电子元件;同时也广泛地开发了许多关于 MOS 元件的各种新用途;另外,随着太空事业的发展,关于 MOS 元件与 (太空) 射线的关系也研究得更加透彻,而且有大量文献报道。这就使得通过从购买的普通市售 MOSFET 中,挑选出适合制成 X 射线剂量探测器的元件,开发出一种操作简单、价格适中的 X 射线剂量探测仪成为可能。

1 实验装置设计

设计原则:尽量避免实验干扰、减少测试误差,以及适合大批量 MOSFET 的测试。① 设置一个晶体管插座,以便于被测管的快速更换;② 尽量减少被测 MOSFET 周围的金属零件,以免因二次射线影响测量结果;③ 除了被测管以外,其他元器件尽量远离射线的射野,避免不必要的干扰。为此设计了如图 1 所示的测试平台。

该装置的支杆和基板是用有机玻璃制作的,其中,支杆有 300mm 长,支杆的一端安装了一个晶体管插座,这样就使得被测元件远离其它金属部件,单独处于射线照射野内,从而最大程度地避免了各种干扰。其它相关元件安装在线路板上 (PCB),通过屏蔽电缆与机房外的测量仪表和供电电源相连。

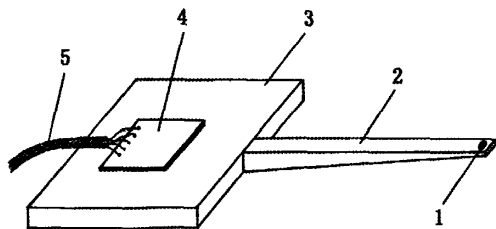


图1 MOSFET测试台结构示意图

1. MOSFET 插座;2. 支杆;3. 测试台基板;4. PCB 板;5. 电缆。

2 实验线路设计

首先任选了 n 型 MOSFET—BS170, 设计让其工作在

放大区,即在其栅极 (G 极) 加上工作电压,在 X 射线 15MV 的照射下,晶体管工作状态没有明显变化。经过多次试验,并参考了相关文献后,发现让 MOSFET 工作在截止状态时对 X 射线反应较敏感。经反复测试、比较,最后确定:工作电压为 24V ($V_{DS} = 24V$);栅极采用零偏置 ($V_{GS} = 0V$);漏极 (D 极) 的负载电阻 DR 选取 $20M\Omega$;测试端选在 DR 两端,使用数字电压表读数,即比对 MOSFET 在有射线照射和没有射线照射时, DR 两端的电压变化值—VDR (mV) 值。

测试仪表采用 FLUKE 87 型四位半数字毫伏表;直流电源使用 LONG WEI TPR3005—2D 型数字显示稳压电源,精度为 0.1V。

图 2 所示的是最后确定的线路及具体的元件参数, p 型和 n 型 MOSFET 均使用相同线路。

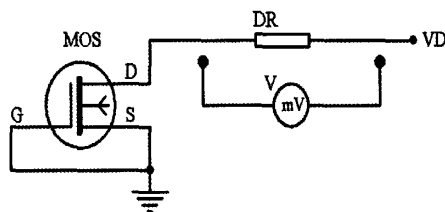


图2 测试原理图

3 实验一

3.1 目的

初步探索市售 MOSFET 对 X 射线的反应性。

3.2 材料

从市场上随机购买了 10 个 n 型 MOSFET, 型号为 BS170。

3.3 实验装置与方法

3.3.1 实验装置及测试条件

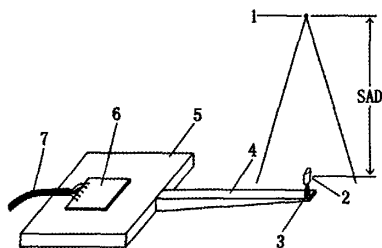


图3 测试装置图示示意图

1. 射线源、2. 被测 MOSFET、3. MOS 元件插座、4. 支杆、5. 测试基板、6. PCB 板、7. 电缆。

测试装置见图 3。图中放射源为 GE SATURNE 41 型直线加速器。

测试条件为标准条件:射线源与被测晶体管之间的距离 $SAD=1000\text{ mm}$; 射野尺寸 $FSD=(100\times 100)\text{ mm}^2$; $Gantry=0^\circ$; $Collimator=0^\circ$ 。

射线选用 X 射线 15MV; 加速器每次出束 50MU;

DOSE RATE=400cGy/min。MOSFET 直接暴露在射线内。

3.3.2 VDR 值的测量

测量时把 MOS 元件插入插座，通上电后稳定 5min，记录 1 次电压表读数，这个数作为“本底”；然后加速器出束，再记录 1 次电压表读数，这个数作为“测试值”。则 VDR 值即为：

$$\text{VDR (mV)} = \text{测试值} - \text{本底}$$

每一个 MOS 元件重复测 3 次，取平均值记录。

3.4 结果与分析

10 个 BS170 管测试的结果见表 1。

分析表中结果：①从表 1 中可见，被测 MOSFET 都对 X 射线有较明显的反应。②在没有射线照射时，电压表也显示有一个微量的漏电流（有文献称为“暗”电流），分析是因为 MOS 元件内 G 区的电子和空穴在电场的作用下无序移动所产生的漏极漏电流—IDSS 在 DR 上生成的电压降，即上述的“本底”。③漏极漏电流（IDSS）对温度变化反应敏感。据观察，在接通电源后约 5min，IDSS（即“本底”）就能趋于稳定。

4 实验二

4.1 目的

进一步探索市售 MOSFET 对 X 射线的反应的普遍性。

4.2 材料

随机购买市售的 MOSFET，总共购买了 13 种型号的，其中 n 型 MOSFET 的 8 种，p 型 MOSFET 的 5 种，每一种型号各 10 个，共计 130 个。

4.3 实验方法

实验装置（如图 3 所示）、实验条件及测试方法与上例相同。

4.4 结果

表中的 VDR 值是每一种型号 10 个 MOSFET 所测数据的平均值。

从表 2、表 3 中的结果可见，所购的 13 种型号晶体管中，n 型管和 p 型管各有一种对 X 射线没有反应。可见绝大部分市售 MOSFET 都对 X 射线照射都有明显反应。

另外，表 2 中的 VN2406L 和表 3 中的 VP2410L 这两种 MOSFET 较其它型号对 X 射线的照射更为敏感，因此比较适合制作 X 射线探测器。

5 实验三

5.1 目的

测出 MOSFET 的 VDR 值与 X 射线剂量之间的函数关系。

5.2 材料

随机选用实验二中对 X 射线的照射最为敏感的 n 型和 p 型 MOSFET—VN2406L 和 VP2410L 各一个。

5.3 实验装置与方法

5.3.1 测试装置

测试按照图 4 装置：图中放射源为 GE SATURNE 41 型直线加速器；平衡帽使用 X 射线 6MV 和 X 射线 15MV 的。平衡帽内安置电离室或被测 MOSFET。电离室使用的是 NE 0.6cm³、2581 Farmer 型指形电离室；X 射线剂量仪为 NE 公司与电离室配套生产的 2570/1 FARMER DOSEMETER。使用的测试仪表和稳压电源同上例。

表1 BS170管在X射线15MV照射下的VDR 值

元件编号	第1次测量（mV）		第2次测量(mV)		第3次测量(mV)		VDR值（mV）（平均值）
	本底	测量值	本底	测量值	本底	测量值	
1	9.2	42.4	9.1	42.3	9.1	42.6	33.3
2	9.0	33.3	8.9	33.4	8.9	33.3	24.4
3	97.2	123.6	96.9	123.6	96.8	123.8	26.7
4	7.7	31.8	7.7	31.7	7.7	31.6	24.0
5	7.6	31.2	7.5	31.3	7.5	31.2	23.7
6	7.5	32.2	7.5	32.0	7.5	32.3	24.3
7	7.6	31.5	7.5	31.8	7.5	31.4	24.0
8	7.4	32.3	7.4	32.3	7.3	32.2	24.9
9	7.8	32.6	7.7	32.3	7.7	32.2	24.6
10	8.0	31.8	7.9	31.9	7.9	31.8	23.9

表2 n型MOSFET 在X射线15MV、标准测试条件下的平均VDR值

晶体管型号	BS170	VN2222LL	BS107	VN0300L	VN2406L	VN10KLS	VN50300L	WN1170
VDR值(mV)	25.4	12	18.6	12.4	41.4	14.9	16.5	/

表3 p型MOSFET 在X射线15MV、标准测试条件下的平均VDR值

晶体管型号	VP2410L	VP0610L	PN4117A	J176	J212
VDR值(mV)	36.7	16.4	14.7	16.1	/

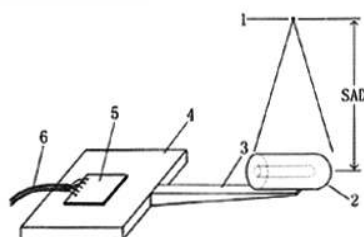


图4 测试装置示意图

1. 射线源、2. 平衡帽、3. 支杆、4. 测试台基板、5. PCB板、6. 电缆。

5.3.2 测试条件

射野尺寸 $FSD = (100 \times 100) \text{ mm}^2$; $GANTRY = 0^\circ$; $COLLIMATOR = 0^\circ$; 每一次出束为 100MU; 射线为 X-15MV 时, $DOSE \text{ RATE} = 400 \text{ cGy/min}$; 射线为 X-6MV 时, $DOSE \text{ RATE} = 200 \text{ cGy/min}$ 。

5.3.3 测试方法

测试射线分别为 X 射线 6MV 和 15MV; 给柱形电离室套上平衡帽 (X 射线 15MV 或 X 射线 6MV), 调节 SAD, 使得加速器每次出束 100MU 时, Farmer 剂量仪显示为 100cGy, 记录下所对应的 SAD 数值, 然后分别测出 90cGy、80cGy …… 30cGy、20cGy 时所对应的 SAD 数值。同样给 n 型或 p 型 MOSFET 套上平衡帽, 在相应的 SAD 位置测量 VDR 值。每一个位置测量 3 次, 求其平均值作为计量数据。

5.3.4 测试结果

n 型和 p 型 MOSFET 的计量结果分别见表 4~7。

5.3.5 结果分析

表中 X 射线剂量的范围 (20~100cGy) 符合临床需要测量的范围。

从表 4~7 的 VDR 值可见, 数据明显符合一般变化趋势。

再进一步将表中数据做图形处理, 各图形见图 4~8。从图中可见, 各曲线—X 射线剂量与 VDR 值明显呈线性关系, 也就是说: MOSFET 将 X 射线剂量 (cGy) 这一物理量依线性关系转变为另一个物理量—电压 (mV), 这种线

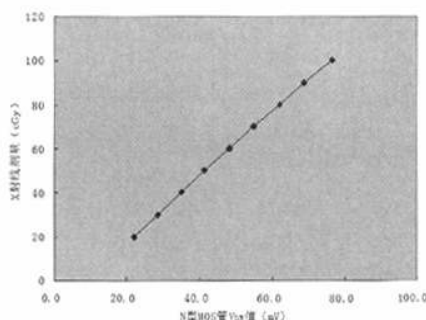


图5 VN2460L接受X射线6MV射线照射时, 射线剂量与VDR值的对应曲线

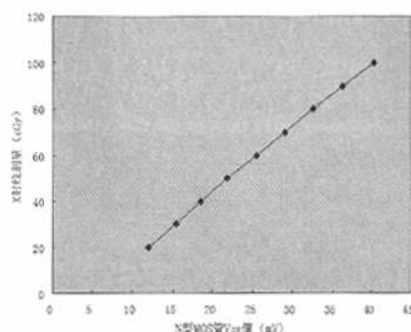


图6 VN2460L接受X射线15MV射线照射时, 射线剂量与VDR值的对应曲线

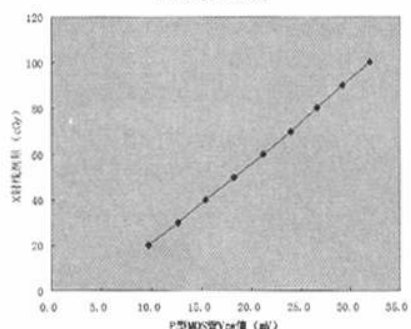


图7 VP2410L接受X射线6MV射线照射时, 射线剂量与VDR值的对应曲线

表4 VN2460L接受X线6MV射线照射下各对应剂量的VDR值

X射线6MV剂量 (cGy)	100	90	80	70	60	50	40	30	20
VDR值 (mV)	40.3	36.3	32.6	29.1	25.4	21.8	18.6	15.4	12.0

表5 VN2460L接受X线15MV射线照射下各对应剂量的VDR值

X射线15MV剂量 (cGy)	100	90	80	70	60	50	40	30	20
VDR值 (mV)	76.5	68.7	61.8	54.7	48.2	41.3	34.9	28.5	22.1

表6 VP2410L接受X射线6MV射线照射下各对应剂量的VDR值

X射线6MV剂量 (cGy)	100	90	80	70	60	50	40	30	20
VDR值 (mV)	32.0	29.2	26.6	24.0	21.2	18.2	15.4	12.6	9.7

表7 VP2410L接受X射线15MV射线照射下各对应剂量的VDR值

X射线15MV剂量 (cGy)	100	90	80	70	60	50	40	30	20
VDR值 (mV)	62.1	56.6	51.0	45.5	40.0	34.5	29.6	24.7	19.3

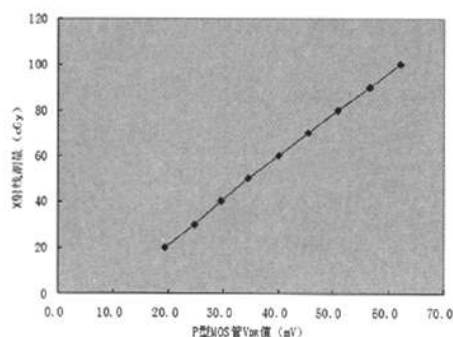


图8 VP2410L接受X射线15MV射线照射时,射线剂量与VDR值的对应曲线

性关系非常符合作为传感器的要求。

6 实验四

6.1 目的

由于 MOSFET 的结构特点,芯片在各方向是不对称的。故由此推断,相同的强度的射线从 MOS 元件的不同方向射入会得到不同的 VDR 值。应当测出最有效的射线入射方向,以提高探测器的灵敏度。

6.2 材料

从实验三的 MOSFET 中,任选 VN2406L、VP2410L 各两个。

6.3 实验装置与方法

6.3.1 实验装置和测试条件

实验装置和测试条件与实验一相同。

6.3.2 测试方法

测试时射线分别从两个方向照射 MOS 元件,具体照射方向如图 9 所示,即顶照和侧照。射线选用 X 射线 15MV。

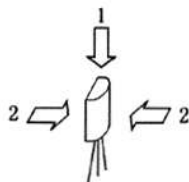


图9 被测MOSFET的两个照射方向示意图

1. 顶照、2. 侧照。

6.3.3 结果与分析

测试结果如表 8~9。

表8 VN2406L受X射线15MV顶照和侧照时VDR 值的比对

被测n型管编号	照射方向	测试次数			平均值 (mV)	比对
		第1次 (mV)	第2次 (mV)	第3次 (mV)		
1号	顶照	40.0	40.0	39.8	39.9	77.0%
	侧照	30.7	30.7	30.6	30.7	
2号	顶照	39.8	39.8	39.9	39.8	78.1%
	侧照	31.0	31.2	31.2	31.1	

表9 VP2410L受X射线15MV顶照和侧照时VDR 值的比对

被测n型管编号	照射方向	测试次数			平均值 (mV)	比对
		第1次 (mV)	第2次 (mV)	第3次 (mV)		
1号	顶照	34.7	34.8	34.7	34.7	77.2%
	侧照	26.9	26.8	26.8	26.8	
2号	顶照	34.6	34.5	34.4	34.5	76.5%
	侧照	26.2	26.5	26.5	26.4	

表中结果可见,射线从 MOSFET 的侧面照射灵敏度明显变差,因此,若要设计选用 MOSFET 作为射线探测器,应当注意射线入射方向,以提高探测灵敏度。

7 实验五

7.1 目的

观察普通市售 MOSFET 对大剂量的高能 X 射线的耐受性。

7.2 材料

实验二中的 n 型的 VN2406L 和 p 型的 VP2410L 各任取一个。

7.3 实验装置与方法

7.3.1 实验装置和测试条件

实验装置如图 4 所示。

7.3.2 测试条件

射野尺寸 FSD = (100 × 100) mm²; COLLIMATOR = 0°; GANTRY = 0°。SAD 固定为实验三中 X 射线 15MV、剂量 100cGy 所对应的距离;使用高能 X 射线 15MV, DOSE RATE = 400cGy/min;每一次出束为 1000MU,也就是射线剂量为 1000cGy。

7.3.3 测试方法

先让 MOSFET 预热 5min,待本底的数值稳定,然后开机连续出束,从 0 MU 开始,出束每增加 100MU (如 100、200、300……等)就记录 1 次电压表 (mV) 读数。

7.3.4 测试结果

结果如表 10。

7.3.5 结果分析

①在整个实验过程中读数都比较稳定。临床上,15MV 的 X 射线已属高能射线,而单次 1000cGy 的剂量已大大超出临床所需监测的范围!可见实验用的 MOS 元件是能够耐受大剂量的高能射线轰击的。②比较表中结果可见,尽管 n 型管对 X 射线较为敏感,但是 p 型管对 X 辐射的反应更为稳定。其中 p 型管平均值为 67.68 (+0.12, -0.08) mV; n 型管平均值为 78.3 (+0.6, -0.5) mV。可见 pMOSFET 更适合作射线探测器。

8 讨论

一般认为,作为一种传感器需要具备以下几个基本要素:①要对所测的物理量反应灵敏;②转换出来的物理量

表10 VN2406L和VP2410L受X射线15MV、1000cGy剂量照射时的电压表读数

X射线剂量 (cGy)		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
电压表读数 (mV)	n型管	11.5	78.5	78.9	78.8	78.6	78.4	78.2	78.0	77.9	77.9	77.8
	p型管	13.8	67.8	67.6	67.8	67.6	67.8	67.8	67.6	67.6	67.6	67.6

应当容易被测量；③两种物理量之间应当具有相关性；④对环境变化（如温度、大气压等）不敏感或不太敏感。

从实验结果可见，市售 MOSFET 晶体管基本符合上述要求。但是必须指出，上述实验是在相对恒温的环境下进行的（环境温度控制在 22~26℃ 的范围内），而且半导体材料对温度敏感也是一个常识。好在这一问题已被研究的非常透彻，并且使用单片机也能对其做很好的温度补偿。

实验用的 MOSFET-VN2406L 和 VO2410L 均由美国威世通用半导体公司生产（VISHAY intertechnology），为耗尽型（DMOSFET）TO-92 封装，工作温度（Operating and Storage Temperature）（-55）~（+150）℃。

从公司发布的参数查到的与本实验有关的参数主要是漏极漏电流：

（1）VN2460L：

IDSS=10 μA (MAX) (VGS=0V VDS=120V)

IDSS=500 μA (MAX) (VGS=0V VDS=120V TA=125℃)；

（2）VP2410L：

IDSS=-1 μA (MAX) (VGS=0V VDS=-180V)

IDSS=-100 μA (MAX) (VGS=0V VDS=-180V TA=125℃)。

可见，工作温度升高可导致漏极漏电流增加很多。不过，目前直线加速器的机房多是经过恒温、恒湿处理的，故这个问题不会太突出。

有资料报道，使用多管级联可提高 MOSFET 的射线探测灵敏度，但本实验中显示单管灵敏度已经足够。

MOSFET 体积微小，本实验使用的是 TO-92 封装的，而 SOP-22 封装（贴片封装）的体积更加微小；另外，MOSFET 的售价低廉；加之成熟工艺，使得产品参数的一致性较好。因此，从市场购买的 MOSFET 只需略经挑选，即可作为合格元件使用。

使用上述元件做成探测器可有两种形式：

（1）使用单个 MOSFET 的射线探测器。由于射线剂量是射线能量在计量时间段的累加，因此信号处理时要去本底、放大，然后去控制压控振荡器（VCO），取得与 VDR 值呈线性关系的脉冲频率，再用计数器累加脉冲计数即可得到射线的剂量数值。

（2）使用多量 MOSFET 元件（几十个、上百个）构建

成射线探测的中、大规模矩阵，再使用单片机（MCU）处理信号；扫描、去本底、放大、A/D 转换、灵敏度平均化等，然后用曲线图显示出瞬时的 X 射线剂量分布图。

9 结论

通过上述的实验以及分析，可以得出结论：市售的场效应晶体管（MOSFET）是能够用于测量 X 射线剂量的相对值，能够构建成适合于医疗临床上使用的 X 射线探测器。

参考文献

- [1] 胡逸民,张红志,戴建荣.肿瘤放射物理学[M].北京:原子能出版社,1999.
- [2] Holmes-Siedle. The Space Charge Dosimeter: General principles of radiation dosimetry[J]. Nucl Instr and Meth,1974,121:169.
- [3] 杉田,稔著.传感器及其应用[M].北京:中国铁道出版社,1984.
- [4] 范隆,郭旗,等.多管级联结构辐照相应特性研究[J].核电子与探测技术,2000,20(6):420-423.
- [5] 何承发,等.CMOS器件X射线与 γ 射线辐照效应比较[J].核技术,2001,24(10):806-811.
- [6] 程松,刘伯学,毛用泽.MOS结构剂量探测器研究进展[J].原子核物理评论,2002,19(3):61-64.
- [7] 牟维兵,徐曦.场效应管X射线剂量增强的实验测量[J].中国测试技术,2008,34(5):115-119.
- [8] 李宪军,等.医用X射线辐射监测及联锁装置的设计[J].中国医疗设备,2010,25(10):14-15.
- [9] Vlachopoulou V,Malatara G,Delis H, et al. Peripheral dose measurement in high-energy photon radiotherapy with the implementation of MOSFET,World J Radiol[J].2010,28(11):434-439.
- [10] Al-Mohammed HI,Mahyoub FH,Moftah BA. Comparative study on skin dose measurement using MOSFET and TLD for pediatric patients with acute lymphatic leukemia[J].Med Sci Monit,2010,16(7):325-329.
- [11] Wlzzard. What is a MOSFET, what does it look like, and how does it work/[EB/OL].(2004-05-24)[2010-09-24]www.techpowerup.com/articles/overclocking/voltmods/21.
- [12] 张杰.叠栅MOSFET的结构设计与特性研究[D].郑州:郑州大学,2010.

作者: 陈智维, 姚升宇, 张铁宁, 胡喆恺, 朱振华, CHEN Zhi-wei, YAO Sheng-Yu, ZHANG Tie-Ning, HU Zhe-kai, ZHU Zhen-hua
作者单位: 上海交通大学附属第一人民医院, 肿瘤科, 上海200080
刊名: 中国医疗设备 
英文刊名: CHINA MEDICAL DEVICES
年, 卷(期): 2011, 26 (5)
被引用次数: 1次

参考文献(12条)

1. 胡逸民;张红志;戴建荣 肿瘤放射物理学 1999
2. Holmes-Siedle The Space Charge Dosimeter:General principles of radiation dosimetry[外文期刊] 1974
3. 杉田;稔 传感器及其应用 1984
4. 范隆;郭旗 多管级联结构辐照相应特性研究 2000(06)
5. 何承发 CMOS器件X射线与 γ 射线辐照效应比较[期刊论文]-核技术 2001(10)
6. 程松;刘伯学;毛用泽 MOS结构剂量探测器研究进展[期刊论文]-原子核物理评论 2002(03)
7. 牟维兵;徐曦 场效应管X射线剂量增强的实验测量[期刊论文]-中国测试技术 2008(05)
8. 李宪军 医用X射线辐射监测及联锁装置的设计[期刊论文]-中国医疗设备 2010(10)
9. Vlachopoulou V;Malatara G;Delis H Peripheral dose measurement in high-energy photon radiotherapy with the implementation of MOSFET 2010(11)
10. Al-Mohammed HI;Mahyoub FH;Moftah BA Comparat-ive study on skin dose measurement using MOSFET and TLD for pediatric patients with acute lymphatic leukemia 2010(07)
11. Wlzzard What is a MOSFET,what does it look like,and how does it work/ 2010
12. 张杰 叠栅MOSFET的结构设计与特性研究 2010

引证文献(1条)

1. 黄澍涛, 郭卫明 场效应管矩阵数字法(对比荧光法)量化X射线均匀性[期刊论文]-医疗装备 2011(12)

引用本文格式: 陈智维, 姚升宇, 张铁宁, 胡喆恺, 朱振华, CHEN Zhi-wei, YAO Sheng-Yu, ZHANG Tie-Ning, HU Zhe-kai, ZHU Zhen-hua MOSFET用作临床X射线剂量测量的研究[期刊论文]-中国医疗设备 2011(5)