

光谱匹配在 X 光机设计中的应用*

喻春雨^{1,2} 常本康^{2,**} 刘铁兵² 王世允² 张俊举²

(1 北京大学深圳研究生院信息工程学院, 深圳 518055)

(2 南京理工大学电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

摘要 将 X 射线成像技术和微光成像技术相结合, 设计了组合新型的 X 射线影像增强系统. 为了得到满意的成像性能, 在设计前研究了 $Gd_2O_2S:Tb$ 和 $CaWO_4$ 两种 X 射线屏和 Super S_{251} 和 Super S_{252} 两种光电阴极之间的四种屏-光电阴极组合的光谱匹配特征, 对应的光谱匹配系数值分别为 0.644, 0.761, 0.369, 0.571. 以光谱匹配曲线及光谱匹配系数计算数据为理论依据, 最终选择 $Gd_2O_2S:Tb$ X 射线屏和 Super S_{252} 光电阴极的组合作为该新型 X 射线影像增强系统的主要器件, 得到了成像性能令人满意的 X 光机.

关键词 X 射线学; X 光机; X 射线像增强系统; X 射线屏; 微光像增强器; 光谱响应

中图分类号 TN223 **文献标识码** A

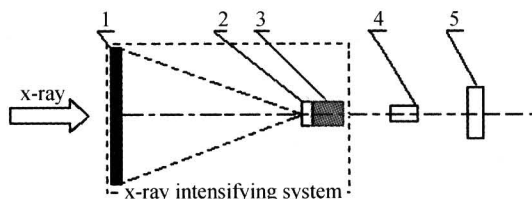
0 引言

迄今为止, X 射线成像技术^[1]已经有了 100 年的历史. 由于成像分辨率的提高, X 射线成像诊断技术已经广泛应用在医疗检测, 工业探伤, 机场安检等领域.

在 X 光机中, X 射线像增强器起着非常关键的作用. 本文介绍一种新型的 X 光机^[2], 其像增强器是非真空型器件, 是由 X 射线屏和微光像增强器^[3]透镜耦合而成. 而光电器件之间的光谱耦合情况对系统的成像性能起着重要作用. 为了选择更好的 X 射线屏和微光像增强器的组合, 研究了 $Gd_2O_2S:Tb$ 和 $CaWO_4$ 两种 X 射线屏和 Super S_{252} 和 Super S_{251} 两种光电阴极之间的屏-光电阴极光谱匹配^[4~6]情况. 由匹配结果可以看出, 选择 $Gd_2O_2S:Tb$ X 射线屏^[7]和 Super S_{252} 光电阴极组合作为设计的新型 X 光机的像增强系统, 会使系统具有更好成像性能.

1 光谱匹配系数公式

如图 1, 新型 X 光机^[3]主要由两部分组成, 前端为 X 射线像增强系统, 后端为图像处理及显示系统. 不同于其它的 X 线成像系统, 本系统的像增强系统是由 X 射线屏和微光像增强器透镜耦合而成. 众所周知, X 射线像增强器是系统的核心器件, 为了系统的成像性能更好, 本文研究 X 射线屏和微光像增强器的输入面光电阴极的光谱匹配情况, 以便有效地选择 X 射线屏的种类.



1. Intensifying screen; 2. Lens; 3. Image intensifier; 4. Lens; 5. CCD

图 1 新型 X 射线像增强系统

Fig. 1 Scheme of x-ray intensifying system of the novel x-ray machine

下面推出 X 射线屏与光电阴极之间的光谱匹配系数公式^[4~6]. 光谱匹配系数值由两个相对的光谱值计算得到. 设 R_λ 为光电阴极的光谱响应, R_m 为峰值响应, 则 $R(\lambda)$ 为光电阴极的归一化光谱响应为

$$R(\lambda) = \frac{R_\lambda}{R_m} \quad (1)$$

同样, 可以得到 X 射线屏的相对光谱响应

$$p(\lambda) = \frac{p_\lambda}{p_m} \quad (2)$$

因此, X 射线屏和光电阴极之间的光谱匹配系数 α 可以表示为公式 3

$$\alpha = \frac{\int_0^\infty p(\lambda)R(\lambda)d\lambda}{\int_0^\infty p(\lambda)d\lambda} \quad (3)$$

光谱匹配系数 α 可以有效地表示在 X 射线屏与光电阴极之间的光谱耦合程度, 它的值越大, 表示两个器件之间的光谱兼容性越好, 反之越差. 因此, α 的值是大于等于 0 而小于 1 的数, 当 X 射线屏的响应光谱与光电阴极的响应光谱完全重合的时候, 值达到最大, 无重合的时候达到最小, 值为 0.

2 X 射线屏与光电阴极之间的光谱匹配情况

选用了 X 射线屏与超二代微光像增强器^[2]耦

* 南京市科技局基金(200308005)资助

** Tel: 025-84315177 Email: bkchang@mail.njust.edu.cn

收稿日期: 2005-10-12

合的非真空组合系统作为 X 射线像增强器. 为使光能量损失得少, X 射线屏与微光像增强器的光电阴极光谱匹配得要好. 在实验中选择了感兰的 CaWO_4 和感绿的 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 两种 X 射线屏和 Super S_{251} 和 Super S_{252} 两种光电阴极, 它们的光谱响应曲线如图 2. Super S_{251} 和 Super S_{252} 分别由荷兰的 DEP 公司和日本 Hamamatsu 公司美国分公司命名. Super S_{251} 的光谱响应范围在 400~900 nm, 峰值在 750 nm 附近; Super S_{252} 的光谱响应范围在 260~920 nm, 峰值在 630 nm 附近; CaWO_4 X 射线屏的光谱响应范围在 340~520 nm, 峰值在 425 nm 附近; $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ X 射线屏光谱响应范围在 380~700 nm, 峰值为 545 nm.

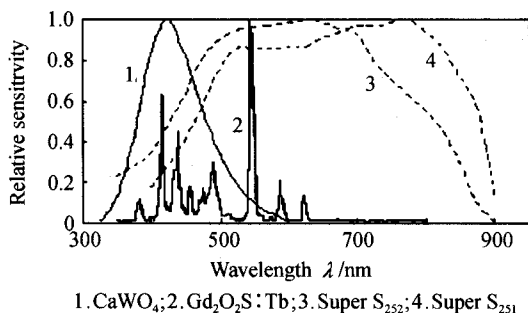


图 2 X 射线屏和 Super S_{25} 光电阴极的相对光谱响应
Fig. 2 Relative spectral response

根据光谱匹配系数式(3), 计算出 X 射线屏—光电阴极四种组合的光谱匹配系数, 并画出相应的光谱匹配曲线, 光谱匹配的光谱响应范围在 346~700 nm. 图 3(a)为 Super S_{251} 光电阴极与两个 X 射线屏的光谱匹配曲线, 图 3(b)为 Super S_{252} 光电阴

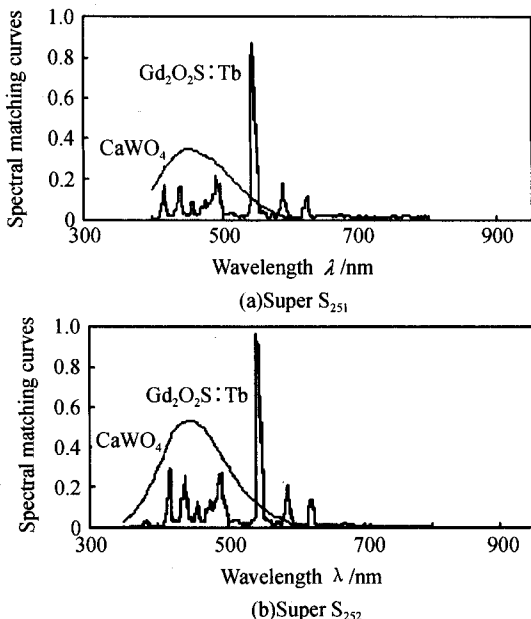


图 3 光电阴极与 X 射线屏的光谱匹配曲线
Fig. 3 Spectral matching curves between super S_{252} and X-ray screen

极与两个 X 射线屏的光谱匹配曲线. 在图 3(a), (b)中, 曲线 1 为光电阴极和 CaWO_4 X 射线屏的匹配曲线, 曲线 2 为光电阴极和 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ X 射线屏的匹配曲线.

由图 3(a), (b)的匹配曲线可见, Super S_{252} 光电阴极和 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ X 射线屏的匹配的光谱响应范围最大, 最大响应的值最高, 表明这种组合的效果优于其它三种组合. 同时还可以得出 Super S_{252} 光电阴极和两种 X 射线屏的匹配效果优于 Super S_{251} 光电阴极和两种 X 射线屏的匹配效果, $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ X 射线屏和两种光电阴极的匹配效果优于 CaWO_4 X 射线屏.

表 1 给出了光谱匹配系数的数值. 由数值同样可见, Super S_{252} 光电阴极和 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ X 射线屏的光谱匹配系数数值最大, 表明这种组合的效果优于其它三种组合, 因此, 在系统设计中, 选择这种组合.

表 1 X 射线屏与光电阴极光谱匹配系数

Intensifying screen	Peak value /nm	Spectral matching factor	
		Super S_{251}	Super S_{252}
$\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$	545	0.644	0.761
CaWO_4	425	0.369	0.571

3 结论

实验结果证明了光谱匹配系数在光电成像中是一个重要的参量, 对于提高组合器件的成像质量有着重要的意义. 在新型 X 光机设计中, 对于和光电阴极的光谱兼容性而言, $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ X 射线屏优于 CaWO_4 X 射线屏. 在本设计中, X 射线屏和光电阴极匹配得好, 能有效的减少光信息损失, 使所成的图像清晰度达到最优.

参考文献

- 1 吴世法. 近代成像技术与图象处理. 北京: 国防工业出版社, 1997. 7~24
Wu S F. Neoteric Imaging Technology and Image Processing. Beijing: National Defence Industry Press, 1997. 7~24
- 2 蒋先进. 微光电视. 北京: 国防工业出版社. 1984. 1~439
Jiang X J. Low Light Level TV. Beijing: National Defence Industry Press, 1984. 1~439
- 3 Yu Chunyu, Liu Tiebing, Wu Lanlan, *et al.* A novel x-ray intensifier. *Proc SPIE*, 2005, **5630**: 141~145
- 4 刘磊, 常本康. Super S(25)与 New S(25)光电阴极的光谱响应特性的数值模拟. 光子学报, 2004, **33**(5): 613~616
Liu L, Chang B K. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(5): 613~616
- 5 李蔚, 常本康. GaAs 光电阴极与景物反射光谱匹配系数. 光子学报, 1999, **28**(9): 857~859

- Li W, Chang B K. *Acta Photonica Sinica*, 1999, **28**(9): 857~859
- 6 杜玉杰, 杜晓晴, 常本康, 等. 激活台内透射式 GaAs 光电阴极的光谱响应特性研究. *光子学报*, 2005, **34**(12): 1792~1794
- Du Y J, Du X Q, Chang B K, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(12): 1792~1794
- 7 徐叙璐, 苏勉曾. 发光学与发光材料. 北京: 化学工业出版社, 2004. 466~490
- Xu S R, Su M Z. *Luminescence Theory and Luminescent Materials*. Beijing: Chemistry Industry Press, 2004. 466~490

Spectrum Matching Applied in Design of the X-ray Machine

Yu Chunyu^{1,2}, Chang Benkang², Liu Tiebing², Wang Shiyun², Zhang Junju²

¹ *Information Engineering Department, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055*

² *Lab 442, EE&OE Department, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094*

Received date: 2005-10-12

Abstract By combining the X-ray imaging technology and the low light level imaging technology, the research group designed the novel combined X-ray image intensifier. Before the design, the spectrum compatibility between $Gd_2O_2S : Tb, CaWO_4$ intensifying screens and Super S_{252} , Super S_{251} photo cathode was analyzed, and the calculated values were 0.644, 0.761, 0.369, 0.571 respectively. Basing on the spectral matching curves and the spectral matching factor values, the combination of $Gd_2O_2S : Tb$ screen and Super S_{252} photo cathode was chosen for the X-ray intensifying system of the novel X-ray machine, which was of high imaging performance.

Keywords X-ray machine; X-ray image intensifying system; Intensifying screen; LLL image intensifier; Spectral response



Yu Chunyu was born in 1976. She is now an optics engineering doctor studying in EE & OE Department in Nanjing University of Science & Technology and her research project is optic-electronic medical device and system. She has taken part in two projects on X-ray imaging system and they are supported by jiangsu province and nanjing city respectively and she published many papers on her study projects.