

文章编号:1000-582x(2001)01-0001-03

工业 X-CT 新型探测器技术

魏彪¹, 潘银松², 先武¹

(1. 重庆大学光电工程学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400044)

摘要: 探测器及其技术是工业 X-CT 系统中的关键技术之一。文中提出了基于光纤面板光耦合及传输, 采用闪烁晶体和自扫描光电二极管阵列器件的 X 射线新型探测器技术方案, 并对此方案进行了实验研究。结果表明, 该新型探测器技术方案具有结构紧凑、性能可靠且分辨率高等特点, 可以实际应用于工业 X-CT 系统中。

关键词: 工业 X-CT; CsI(Tl) 闪烁晶体; 光纤面板; 自扫描光电二极管阵列器件

中图分类号: TL 812

文献标识码: A

工业 X-CT, 即 X 射线的工业计算机层析成像技术 (Industrial Computed X-ray Tomography)。它的基本原理与医用 X-CT 相似, 都是基于 X 射线与物质相互作用的原理, 所不同的是其检测对象。医用 X-CT 的对象是用于对人体的病灶作断层扫描, 尔后以图象方式分析和确定病灶, 此已成为临床医学诊断不可或缺或最为有效的一种手段。工业 X-CT 的对象是各种工业产品或工件, 对其进行断层扫描, 尔后也是以图象方式, 直观、清晰、准确展示所测部位内部的结构关系、物质组成及缺陷状况, 其检测效果是其它传统的无损检测方法所不及的。

在 X-CT 技术研究中, 无论是医用 X-CT 还是工业 X-CT, 探测器及其技术是最为关键的技术之一^[1, 2], 它是将包含被测物信息的射线信号转化成易于处理的电信号的一种测量技术。目前, 在 X-CT 系统中, 探测 X 射线常用且有效的探测器主要是气体探测器、半导体探测器及闪烁计数器三种类型。然而, 在工业 X-CT 系统中, 一般不采用气体及半导体这两种探测器方案, 其原因在于: 一是气体探测器的探测效率太低, 影响检测效率; 二是半导体探测器需在低温条件下工作, 且单个探测器的成本极高。因此, 闪烁计数器是目前工业 X-CT 系统中最为有效的 X 射线探测器方案, 其构成方式主要有: ①闪烁晶体 + 光电倍增管

(PMT), 如瑞士联邦材料测试及研究实验室的工业 X-CT 系统^[3], 其 X 射线探测器就是采用此种方式; ②闪烁晶体 + 光电二极管阵列 (PDA), 如以色列研制的工业 X-CT 系统中 X 射线探测器^[4]; ③闪烁屏 + 图象增强器 + CCD 的 X 射线探测器方式, 如美国 Argonne 国家实验室的工业 X-CT 系统^[5-7]; ④闪烁屏 + 光纤面板 (FOP) + CCD 的 X 射线探测器方式, 如美国 BIR 公司研制生产的工业 X-CT 系统^[8] 等。可见, 上述工业 X-CT 系统中 X 射线的探测器方案, 均是首先通过闪烁体或屏将 X 射线转换成可见光, 尔后利用光电转换器件如 PMT 或 CCD 等, 将光信号转换成易于处理的电信号。有鉴于此, 利用光电技术及系统国家重点实验室之光电集成器件研究室研制的高灵敏度自扫描光电二极管阵列器件, 提出了一种工业 X-CT 新型探测器技术方案, 即利用闪烁晶体, 基于光纤面板光耦合及传输, 采用自扫描光电二极管阵列 SSPA 器件的 X 射线探测器技术方案, 并对此进行了实验研究。

1 工业 X-CT 新型探测器的结构与特点

工业 X-CT 新型探测器是由闪烁晶体 CsI(Tl)、光纤面板、自扫描光电二极管阵列器件 SSPA (Self-Scanning Photodiode Arrays) 及其驱动放大电路等部分组成, 结构如图 1 所示。

收稿日期: 2000-04-22

基金项目: 中国博士后科学基金中博基(1998006)、重庆市科委青年基金和光电技术及系统国家重点实验室基金联合资助项目。

作者简介: 魏彪(1963-), 男, 浙江桐乡人, 重庆大学副教授, 博士后。主要从事核技术及应用研究。

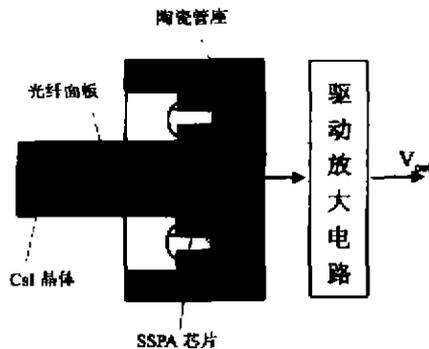


图1 工业 X-CT 新型探测器结构

在上述 X 射线探测器结构中, X 射线与闪烁体 CsI(Tl) 发生作用, 产生光电效应及康普顿效应等, 使闪烁晶体发出可见光, 即将 X 射线转换成可见光, 其峰值波长为 560 nm; 可见光由光纤面板传输且耦合到自扫描光电二极管阵列器件 SSPA 的光敏面上, 并最终在其内实现光电转换, 驱动电路将电信号输出给后续电路, 以供进一步的信号放大、分析及处理等工作或需要。采用此探测器结构, 其特点是:

1) X 射线的探测效率高。对于能量为 450 keV 的 X 射线, 当 CsI(Tl) 晶体沿 X 射线方向上的长度(或深度)为 32 mm 时, 探测效率可达 80%, 而当 CsI(Tl) 晶体沿 X 射线方向上的长度(或深度)为 8 mm 时, 探测效率仍可达 30% 左右;

2) 光电二极管阵列器件的象元尺寸和光纤面板的纤维尺寸均很小, 为 μm 级, 因此, 空间分辨率很高;

3) 光纤面板进行光收集及传输, 不仅可以提高集光能力, 且可使光的透过率高;

4) 光纤面板能与光阴极较好地进谱匹配或响应, 以此进行光耦合, 提高耦合效率, 并可避免光串扰(相当于起光自准直的作用);

5) 光纤面板直接耦合于光电二极管阵列器件 SSPA 光敏面象元上, 可以降低光耦合损失, 并可在一定的器件灵敏度条件下, 提高信/噪比;

6) 此探测器结构, 不仅可以提高抗 X 射线核辐射能力, 还可以研制成模块化设计、一体化集成的低成本、小型化之工业 X-CT 探测器结构系统, 并为提高工业 X-CT 系统性能指标创造了条件。

2 实验结果及分析

基于光纤面板光耦合及传输, 采用 CsI(Tl) 晶体和自扫描光电二极管阵列器件, 以此构成的工业 X-CT 新型探测器技术方案实验原理框图如图 2 所示。

在图中, X 射线源产生 X 射线, 其能量为 160 keV, 电流(强度)为 1 mA, 焦点 $0.8 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 。

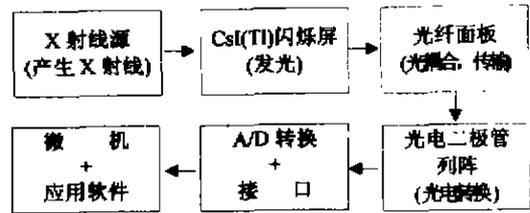


图2 工业 X-CT 新型探测器实验原理框图

CsI(Tl) 闪烁晶体, 实现了 X 射线到可见光的高效率转换。光纤面板, 完成对可见光的光耦合及传输, 且保持高分辨率。自扫描光电二极管阵列器件 SSPA 进行光电转换, 并输出电信号。A/D 转换、接口及微机, 可对 SSPA 输出的电信号进行有关信号处理。实验时, CsI(Tl) 闪烁晶体的尺寸 13 mm (长) \times 3 mm (宽) \cdot 5 mm (高或厚), 晶体表面按光学镜面要求进行抛光, 除与光纤面板耦合面外, 晶体的其他各面外加光反射层, 以提高光的收集效率; 光纤面板的尺寸为 12.8 mm (长) \times 2.5 mm (宽) \times 8 mm (高), 面板的光耦合面均进行了抛光处理, 以增强光的耦合效果; 自扫描光电二极管阵列器件 SSPA 采用分辨率为 512 位, 象元尺寸 $25 \mu\text{m} \times 2500 \mu\text{m}$ 。在闪烁体、光纤面板及 SSPA 之间的耦合处加上光学耦合剂, 避免光在不同界面处因其折射率的差异而产生光的反射现象。

图 3 是被检测物件的实验模型, 目的是为了论证此新型探测器方案在工业 X-CT 系统中应用的可行性情况。图中(a)和(b)两种被检测物件模型, 其直径相同, 约 $\phi 3 \text{ mm}$, 但分别是由两种密度不同的物质所构成, 目的是验证此种新型探测器技术方案能否区分这两种密度不同物质。图 4 是模型(a)和(b)的实验结果, 可见, 物件的密度不同, 其信号幅度也不尽相同, 这是因为不同密度的材料, 其对 X 射线的吸收或衰减是不同的, 新型 X 射线探测器则反映出了这种差异。

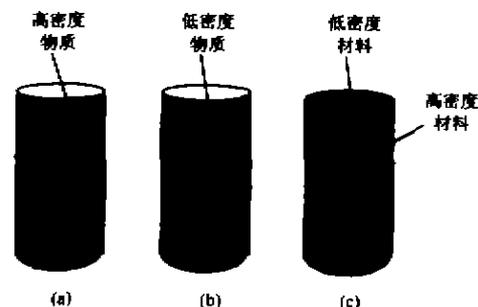


图3 被检测物件实验模型

图 3 中(c)是这样一种模型, 虽其直径仍为约 $\phi 3 \text{ mm}$, 但其结构与(a)和(b)不同, 即其内、外部分别是由两种不同密度的材料所构成, 目的是验证此种探测器

能否将高密度材料中所包含的低密度材料加以区分, 图 5 为其实验结果。由此可见, 由于采用了高分辨、高灵敏和高集成度的 SSPA 探测器, 并经光纤面板进行光耦合及传输, 提高了集光效率, 避免了光串扰, 使得物件对 X 射线的吸收或衰减程度达到了探测器的探测灵敏度对其的响应, 从而将高密度材料中的低密度材料区别出来。

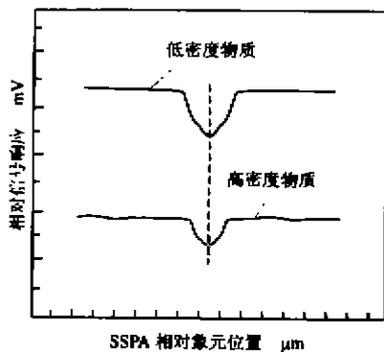


图 4 高、低密度物件的实验结果

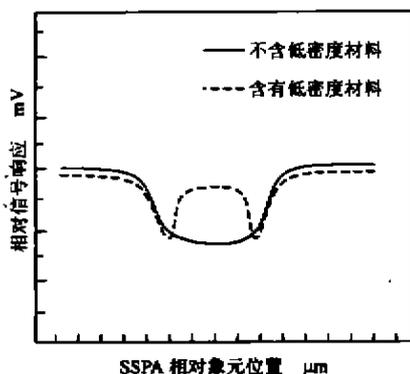


图 5 高密度材料中含有低密度材料的实验结果

综上所述, 光纤面板光耦合及传输的探测器技术方案, 是切实可行的, 可适用于工业 X-CT 中实现对 X 射线的探测, 并可使其在探测过程中保持高分辨率。

3 结论

X 射线探测器是工业 X-CT 系统的关键技术之一。随着工业 X-CT 技术应用领域的日益扩大, 对工业 X-CT 系统的性能指标也提出了更高的要求, 例如, 高的检测效率, 较高的分辨率及灵活的扫描方式等, 这些均与 X 射线探测器有着密切的关系, 而传统的 X 射线探测器及其技术已很难适应这一发展要求。现代光纤技术及光电子集成器件的发展, 为工业 X-CT 探测器技术的发展创造了极为有利的技术条件, 因此, 突破常规 X 射线探测器的局限, 研究工业 X-CT 新型探测

器及其技术, 以适应工业 X-CT 技术日益发展的需要。基于光纤面板光耦合及传输, 采用闪烁体和自扫描光电二极管阵列器件 SSPA 的新型探测器技术研究, 就是为了适应这一发展需要而开展的研究工作。通过有关实验研究, 可以得到如下初步结论:

1) 突破常规或传统意义上的 X 射线探测器技术方案, 是工业 X-CT 探测器技术发展的一个重要发展方向;

2) 光纤面板光耦合及传输的探测器技术方案, 较好地解决了光传输及耦合等损失, 且保持了较高的探测效率及分辨率, 使实验研究达到了预期的效果, 是目前工业 X-CT 较为理想的探测器方案;

3) 此新型探测器结构, 采用了模块化设计, 一体化集成, 为小型化、低成本的工业 X-CT 系统提供必要的基础或条件。

致谢: 感谢黄尚廉院士及陈伟民教授、袁祥辉教授的帮助、指导。在实验研究过程中, 还得到了光电工程学院光电集成器件研究室的黄友恕、蒋子平、王小兰及李兵等老师的帮助, 在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] SPENCER K A. Computer Tomography — An Overview [J]. the Journal of Photographic Science, 1989, 37: 84-89
- [2] GILBOY W B. X-And γ -Ray Tomography In NDE Applications [J]. Nuclear Instruments and Methods, 1984, A221, 193-200
- [3] LUTHI T, FLISCH A, WYSS P. Industrial Computer X-ray Tomography [J]. NDT International, 1998, 40 (3), 196-197.
- [4] RAPAPORT M S. A dual-mode industrial CT [J]. Nuclear Instruments and methods, 1995, A352: 652-658
- [5] CLARKE R. CCD X-ray detectors: opportunities and challenges [J]. Nuclear Instruments and methods, 1994, A347: 529-533.
- [6] owens A. Energy Deposition In X-Ray CCDs And Charged Particle Discrimination [J]. Nuclear Instruments and Methods, 1995, A366, 148-154
- [7] TETSUHIKO TAKHOSHI. Design of Integrated Radiation Detectors With n-Si Photodiodes On Ceramic Scintillators For Use In X-Ray CT [J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1990, 37(3): 1478-1503
- [8] SMITH C R, ERKER J W. Low cost, high resolution x-ray detector system for digital radiography and computer tomography [M]. Proc of SPIE, Vol 2009, X-ray detector physics and applications II, 1993, 31-35

(下转 31 页)

- 氮化中的催渗作用[J] 金属热处理, 1996, (11): 12-15
- [9] ZHANG J, CLEUGH D P, BUCHHAGEN P, et al. Some Experimental observation on Rare Earth Plasma Nitriding [A] Proceedings of ICSE'99[C]. Wuhan, China, Journal of Material Protection, 1999. 288-295
- [10] CLEUGH D P, ZHANG J, BUCHHAGEN P, et al. Rare earth assisted plasma nitriding of low alloy steel[A] Proceedings of Jubilee International Conference[C]. Budapest, Hungary: 1999. 81-86.

Plasma Nitriding of En40B Steel with the Incorporation of Pure Rare Earth La, Ce and Nd

ZHANG Jin

(State Key Lab of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Pure rare earth metal block La, Ce and Nd was put into the nitrided furnace respectively as a sputter source when typical nitride steel En40B was plasma nitrided. It was found that the incorporation of pure rare earth resulted in the changing of characteristic of glow discharge. Analysis of samples after treatment was performed using related instruments and facilities to examine the effects of treatment on microstructure, micro-hardness and element distribution. The results showed that the incorporation of rare earth metals in the glow discharge influenced the diffusion of nitrogen in some degree. Thus the difference of distribution of elements, structure and hardness in the nitrided layer was formed compared with the conventional be plasma nitrided. These significantly affected the response of the investigated steel on plasma nitriding. The extent of influence to plasma nitriding varied with different rare earth.

Key words: rare earth; plasma nitriding; micro-hardness; nitrided layer

(责任编辑 成孝义)

* * * * *

(上接 3 页)

Experimental Study of a Novel Detector's Technique for Industrial X-ray Computed Tomography(CT)

WEI Biao¹, PAN Yin-shong², XIAN Wu¹

(1. Department of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Department of Machine Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Detector, influencing on system's performances, is one of some key techniques in x-ray industrial computed tomography (CT) systems. Considering the existing problems for sensor (or detector) in CT systems, a new sensor is experimented by using optoelectronic integrated technique with optic fiber face-plate optically coupling and transmission, and it is proved to be high integrated, high efficiency, high resolution, and low cost in industrial CT systems.

Key words: industrial x-ray computed tomography; C,I(Tl) scintillator; optic fiber face-plate; self-scanning photodiode arrays

(责任编辑 成孝义)