

基于碳纳米管阴极的多光束 X 射线源技术

陈 垚 陈 婷 桂建保 胡战利 Peter Z.Wu 郑海荣

(中国科学院深圳先进技术研究院 深圳 518055)

摘 要 以碳纳米管材料作为场致发射电子源的 X 射线源是近几年国际上的研究前沿。相比传统热电子发射 X 射线源而言, 碳纳米管 X 射线源具有结构紧凑、高时间分辨、可编程发射等优势。面向静态扫描成像系统的多光束 X 射线源是碳纳米管 X 射线源的重要发展方向之一。文章将介绍基于碳纳米管阴极的多光束 X 射线源技术。

关键词 多光束 X 射线源; 静态 CT; 碳纳米管; 场致发射

CNT Cathode based Multi-beam X-ray Source Technology

CHEN Yao CHEN Ting GUI Jian-bao HU Zhan-li Peter Z. WU ZHENG Hai-rong

(Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China)

Abstract Carbon nanotube (CNT) cathode based X-ray source is a leading field of X-ray CT technology in recent years. Compared with traditional thermal emission X-ray source, CNT X-ray source has characteristics of miniaturization, high resolution of time and programmable emission. Multi-beam X-ray source for stationary X-ray scanner is one of the most important applications of CNT X-ray source. In this paper, the development of CNT cathode based multi-beam X-ray source were introduced.

Keywords multi-beam X-ray source; stationary CT; carbon nanotube; field emission

1 引 言

X 射线 CT 技术是通过物体进行不同视角的射线投影测量而获取物体横截面信息的成像技术。其中, 作为 CT 系统的信号源, X 射线源在一定程度上决定着 CT 系统的成像方式与成像性能。X 射线由 X 射线源中的电子发射源产生电子, 电子束在电场下得到加速并轰击阳极靶产生。

传统的 CT 系统中, X 射线源通常采用热阴极作为电子源^[1], 结构为单个电子发射源和相对应的单个阳极靶, 从而形成单个 X 射线焦斑, 发射单个 X 射线束。X 射线源围绕扫描对象作机械式转动, 从而获得不同视角的投影。在此扫描方式下, 有限的机械转

动速度限制了 CT 系统的投影获得时间。

电子束 CT 是解决传统 X 射线源技术瓶颈的方案之一。在电子束 CT 设计中, 单个电子发射源对应着一个靶环, 从阴极发射的电子束在线圈的精密控制下聚焦并偏转沿靶环扫描^[2]。电子束在靶环上形成多个不同位置的焦斑, 产生多个光束, 从而获得不同视角的投影。

基于碳纳米管阴极的 X 射线发射技术具有结构紧凑、高时间分辨、可编程发射等优势^[3]。将多个碳纳米管阴极高度集成于一体, 每个碳纳米管阴极(即电子发射源)对应产生不同位置的 X 射线焦斑, 形成多个光束。该技术基于碳纳米管阴极的多光束 X 射线源, 通过控制多个碳纳米管阴极电子发射的轮流开关, 获得不同视角的投影, 亦是突破传统 X 射线源技

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAI3B04); 国家自然科学基金青年科学基金项目(61102161)。

作者简介: 陈垚, 助理研究员, 研究方向为 CT 成像技术, E-mail: yao.chen@siat.ac.cn; 陈婷, 助理研究员, 研究方向为碳纳米材料; 桂建保, 博士, 高级工程师, 研究方向为 X 射线与 CT 成像技术; 胡战利, 助理研究员, 研究方向为 CT 成像算法; Peter Z. Wu, 助理研究员, 研究方向 CT 图像处理; 郑海荣, 研究员, 研究方向为多模成像技术。

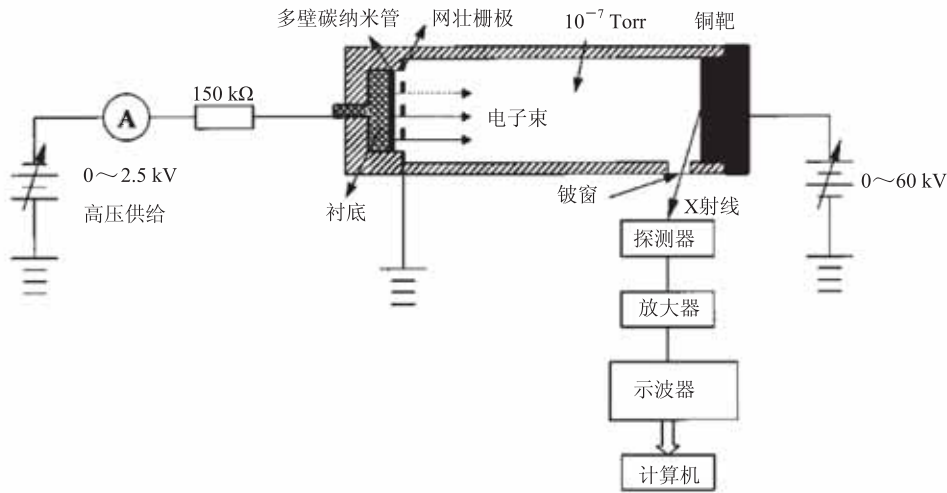


图 1 三极式碳纳米管 X 射线源结构^[7]

术瓶颈的 CT 技术重要发展方向之一。

2 碳纳米管 X 射线源

碳纳米管 X 射线源是采用碳纳米管薄膜作为电子场致发射材料的一种场致发射 X 射线源。场致发射阴极在外加电场的作用下, 阴极表面势垒的高度降低、宽度变窄, 发射体内的大量电子由于量子隧道效应^[4]穿透表面势垒而逸出。碳纳米管被发现以来^[5], 由于其具有稳定的化学性质、极大的长径比等特性, 是极其理想的场致发射材料^[6]。

图 1 是典型的三极式碳纳米管 X 射线源结构^[7], 其由碳纳米管场致发射阴极、栅极和阳极构成。栅极与阴极相距 50~200 μm, 若在栅极施加一定的电压 (0~2.5 kV), 那么就可在阴极表面形成 1~10 V/μm 的电场。因此可通过控制栅极电压大小来调节阴极表



图 2 手持先进院 LOGO 的二维 X 射线成像图

面场的大小, 而当它达到一定值时, 碳纳米管阴极就会发射出电子, 这些电子在阳极电压的作用下得到加速并轰击阳极靶产生 X 射线。图 2 为中国科学院深圳先进技术研究院利用自主研发的碳纳米管 X 射线源获得的国内首张碳纳米管 X 射线源二维成像图。

3 多光束 X 射线源

碳纳米管场致发射具有工作温度低、功耗小、容易实现单个 X 射线源集成多个阴极等优点。同时, 由于场致电子发射几乎不存在时间延迟性, 故碳纳米管 X 射线源可实现高时间分辨、可编程的 X 射线发射。基于这些优势, Zhang 等^[8]提出了基于碳纳米管阴极的多束 X 射线源, 并由此建立了静态扫描成像系统^[9-10]。

图 3 为多束 X 射线源的结构^[8]示意图。其中包含阴极、栅极、聚焦极及阳极, 其工作时放置在一个真空腔体中进行, 多个场发射阴极对应于不同栅极与聚焦单元是它的特点。在栅极电压产生的电场作用下, 电子发射源发射出电子, 这些电子经过聚焦单元后, 聚焦在阳极的对应部位。每个阴极连接在不同 MOS

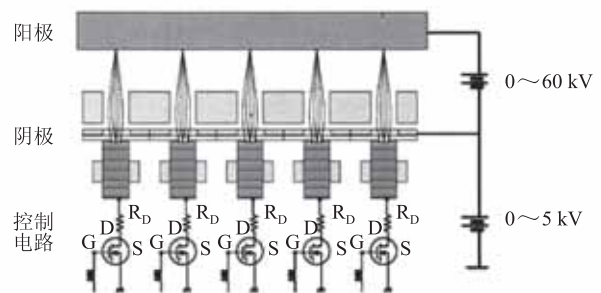


图 3 多光束 X 射线源结构^[8]

管(金属氧化物半导体场效应管)的漏极,通过控制MOS管的通断可实现阴极电子发射的开关,从而使每个电子发射源的阴极发射都能得到独立的控制。而每个阴极上还串联有可变电阻,通过调节可变电阻值,可以修正由碳纳米管阴极材料的个体差异带来的发射电流不一致性。

通过给不同MOS管栅极提供事先编程的脉冲信号,就可以实现X射线在时间上和空间上的可编程发射,也就可以静态获取不同视角的X射线投影。该源不需要通过机械转动便可以实现从不同视角的X射线扫描,因而能够最大程度地缩短扫描时间。

而后,开始对该新型X射线源进行应用研究,如面向数字乳腺扫描系统的多光束X射线源^[11-13]。图4是面向数字乳腺扫描系统的多光束X射线源几何结构^[13],该成像系统能够实现静态扫描,消除了有源转动引起的运动伪影。同时面向静态扫描显微CT的多光束X射线源也在研究中^[14]。

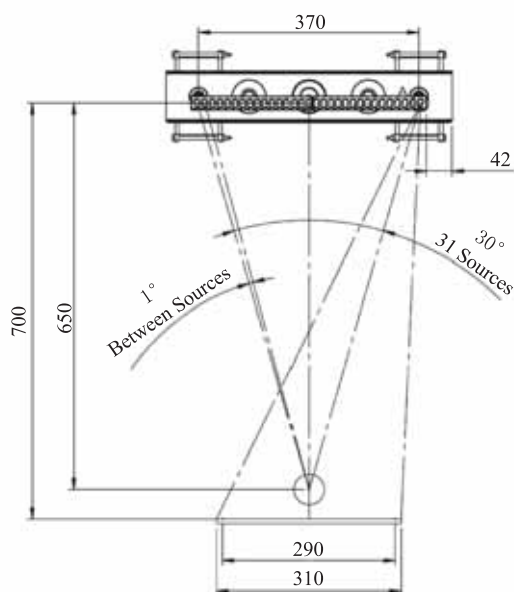


图4 面向数字乳腺扫描系统的多光束X射线源结构^[13]

4 结 语

目前,中国科学院深圳先进技术研究院在获得国内首张碳纳米管X射线源的二维成像图后,继续突破技术难点,以期尽快发展碳纳米管多光束X射线源技术。相信随着碳纳米管材料技术的不断成熟,将诞生发射更大电流密度、更稳定、更长寿命的场致发射阴极。同时,碳纳米管X射线源结构将不断得到优化,并将发展出面向静态扫描成像系统的碳纳米管多光束

X射线源技术,并逐步推进该技术走向应用。

参 考 文 献

- [1] Richardson W O. On the negative radiation from hot platinum [J]. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 1901, 11: 286-295.
- [2] 谢强. 计算机断层成像技术: 原理、设计、伪像和进展 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 11-12.
- [3] Yahachi S. Carbon Nanotube and Related Field Emitters [M]. Wiley -VCH, 2010: 417-419.
- [4] Fowler R H, Nordheim L. Electron emission in intense electric fields [J]. Proceedings of the Royal Society of London Series A: Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, 1928, 119(781): 173-181.
- [5] Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon [J]. Nature, 1991, 354(6348): 56-58.
- [6] Eletsii A V. Carbon nanotube-based electron field emitters [J]. Physics-Uspekhi, 2010, 53(9): 863-892.
- [7] Yue G Z, Qiu Q, Gao B, et al. Generation of continuous and pulsed diagnostic imaging X-ray radiation using a carbon-nanotube-based field-emission cathode [J]. Applied Physics Letters, 2002, 81(2): 355-357.
- [8] Zhang J, Yang G, Cheng Y, et al. Stationary scanning X-ray source based on carbon nanotube field emitters [J]. Applied Physics Letters, 2005, 86(18): 184104.
- [9] Zhang J, Yang G, Lee Y Z, et al. A multi-beam X-ray imaging system based on carbon nanotube field emitters [C] // Medical Imaging 2006: Physics of Medical Imaging, 2006, 6142: 14204-14204.
- [10] Zhang J, Yang G, Rajaram R, et al. A stationary scanning X-ray imaging system based on carbon nanotube field emitters [J]. Medical Physics, 2006, 33(6): 2159.
- [11] Yang G, Rajaram R, Cao G H, et al. Stationary digital breast tomosynthesis system with a multi-beam field emission X-ray source array [C] // Medical Imaging 2008: Physics of Medical Imaging, 2008, 6913: 69131A.
- [12] Qian X, Rajaram R, Calderon-Colon X, et al. Design and characterization of a spatially distributed multibeam field emission X-ray source for stationary digital breast tomosynthesis [J]. Medical Physics, 2009, 36(10): 4389-4399.
- [13] Sprenger F, Calderon X, Gidcum E, et al. Stationary digital breast tomosynthesis with distributed field emission X-ray tube [C] // Medical Imaging 2011: Physics of Medical Imaging, 2011: 79615I.
- [14] Peng R, Zhang J, Calderon-Colon X, et al. Design, optimization and testing of a multi-beam micro-CT scanner based on multi-beam field emission X-ray technology [C] // Medical Imaging 2010: Physics of Medical Imaging, 2010, 7622: 76221G.