

文章编号 1004-924X(2010)01-0015-06

高速大容量气溶胶粒子分类计数存储器的设计

黄书华^{1,2}, 刘建国^{1,2}, 刘文清^{1,2}, 陆亦怀^{1,2}, 张玉钧^{1,2},
桂华侨^{1,2}, 孙世杰^{1,2}, 江 宇^{1,2}, 陈 军^{1,2}, 王亚萍^{1,2}

- (1. 中国科学院 安徽光学精密机械研究所 环境光学与技术重点实验室, 安徽 合肥 230031;
2. 安徽省环境光学与技术重点实验室, 安徽 合肥 230031)

摘要:为实现气溶胶颗粒物的空气动力学粒径及其光学粒径的同时测量,对颗粒物按粒径大小进行分类计数,利用电子学多道存储技术,结合大规模可编程逻辑电路和高速大容量双端口内存芯片,设计了一种高速大容量粒子分类计数存储器。该存储器实现了单一脉冲计数器与特征信号分类计数器的有机结合,其存储容量高达65 535道,每道可计数65 535个,操作速度可达15 ns;而且线路简单,整个电子学多道电路只需要两片MACH435和两片IDT7009芯片。用设计的存储器对空气中空气动力学粒径为0.5~20 μm 的气溶胶颗粒物进行计数,得到了颗粒物的粒谱分布。该存储器已应用于本研究所自行研发的空气动力学粒谱仪,完全满足仪器连续、实时、在线监测时对存储速度和容量的要求。

关键词:气溶胶;飞行时间;多道存储;分类计数存储器

中图分类号:X851;TP333 **文献标识码:**A

Design of high-speed and large-capacity classifying count storages for aerosol particles

HUANG Shu-hua^{1,2}, LIU Jian-guo^{1,2}, LIU Wen-qing^{1,2}, LU Yi-huai^{1,2}, ZHANG -Yujun^{1,2},
GUI Hua-qiao^{1,2}, SUN Shi-jie^{1,2}, JIANG Yu^{1,2}, CHEN Jun^{1,2}, WANG Ya-ping^{1,2}

- (1. *Key Laboratory of Environment Optical and Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;*
2. *Anhui Key Laboratory of Environment Optics and Technology, Hefei 230031, China*)

Abstract: To characterize the size distribution of aerosol particles, a measuring simultaneously method for aerodynamic diameters and optic diameters of the aerosol particles is studied, and then the classifying count principle is described. Based on large-scale programmable logic chips and dual-port high-speed large-capacity memory chips, a high-speed and large-capacity classifying count storage for aerosol particles is designed by using a multi-channel storage technology. By combining with the functions of single pulse counters and characteristic signal classifying counters, the storage can offer the capacity up to 65 535 channels, each of which can count to 65 535 particles with a operating speed up to 15 ns. The storage has a simple circuit, and its multiple channel circuits make only up of two MACH435 and two IDT7009 chips. The characteristics of aerosol particles with the sizes of 0.5~20 μm in air is

收稿日期:2008-12-12;**修订日期:**2009-04-24.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2006AA06A302);中国科学院创新基金资助项目(No. KJXC2-SW-H08)

counted, and the particle distribution spectra are obtained. As a key storage component of the aerodynamic particle sizer developed by our institute, this storage satisfies the requirements of the measurement in real time for the speed and capacity.

Key words: aerosol; time of flight; multi-channel storage; classifying count storage

1 引言

大气气溶胶在大气辐射、空气污染、大气物理化学性质、人类健康状况等方面扮演着重要角色,是衡量大气污染状况的重要指标^[1]。由于粒径越小的粒子越容易穿过人的呼吸系统危害人类健康^[2],因此,监测大气气溶胶粒子的粒径分布具有重要意义。为了连续、实时、在线、高速地测量大气气溶胶粒径谱,本课题组开展了基于飞行时间测量原理^[3-4]的空气动力学粒谱仪的研制工作。

现有的气溶胶颗粒物检测仪主要分为质量浓度分析仪和颗粒数浓度分析仪。气溶胶颗粒物质量浓度分析仪可以给出一定粒径范围内的质量浓度,但却不能给出气溶胶内粒径的分布特征。气溶胶颗粒数浓度分析仪主要以光学粒子计数器为主^[5],仅测量气溶胶颗粒物的光学散射特征信号,并根据光散射信号的光强对粒子进行分类计数。光学粒子计数器能粗略给出气溶胶颗粒物的光学粒径分布,但是由于光学粒径的测量容易受颗粒物形状、折射率等因素的影响,导致结果并不准确。空气动力学粒谱仪不仅可对气溶胶颗粒物的光学散射信号(光学粒径)进行分类计数,而且可以精确地测量气溶胶颗粒物的空气动力学粒径,并记录、存储相同粒径大小的粒子数目,这就需要对具有特定电子学特征的(如单脉冲强度、双脉冲间隔、双脉冲间隔和强度等)信号数目进行统计和存储,以记录不同类型粒子的数量及其特征。随着电子技术的迅速发展,现有的常用计数电路都可以测量待测脉冲数目,也有一些电路能够精确测量脉冲间隔,但却没有一种电路能够有效地对上述单脉冲强度、双脉冲间隔、双脉冲强度和间隔等特征信号同时进行分类计数和存储。

本文针对空气动力学粒谱仪的需要,采用电子学多道存储技术,设计了一种基于高速大规模可编程逻辑器件和高速大容量内存器件的高速大

容量粒子分类计数存储器,实现了对气溶胶粒子空气动力学粒径大小的高速分类计数和大容量存储。电子学多道计数存储是指对具有不同电子学特征信号的气溶胶粒子进行分类计数。在所分析的特征信号范围内,将粒子的特征信号按一定规则分类,每一类称为一个道,每一个道都有一个相应的子存储器,用来记录该道的信号数,即具有该类特征信号的粒子个数。本文给出了该分类计数存储器在空气动力学粒谱仪中的设计方案与实现方法。

2 整体设计

空气动力学粒径是一个当量概念,它是指在标准空气条件下,与密度为 1 g/cm^3 的均质球形粒子具有相同沉降速度的粒子的直径^[6]。气溶胶颗粒物经过根据空气动力学原理设计的喷口进入如图 1 所示的光学整形部件中,气溶胶颗粒物飞越两束靠近的目标光斑,发生散射形成双峰信号。基于光散射测量方法的空气动力学粒谱仪就是通过测量双峰信号的峰峰间隔(即飞行时间 Time-of-Flight)计算出该气溶胶粒子的飞行速度,进而反演出该粒子的空气动力学粒径大小。

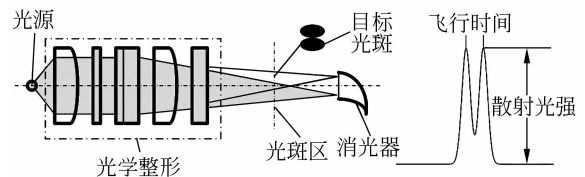


图 1 基于光学散射方法的空气动力学粒谱仪原理图
Fig. 1 Schematic of aerodynamic particle sizer based on light scattering method

为满足空气动力学粒谱仪连续、实时、在线监测对存储速度和容量的要求,粒子分类计数存储器需具有以下功能:(1)具有高达 65 536 道计数存储器以便按空气动力学粒径大小精确分类存

储;(2)完成飞行时间与电子学多道地址信息的高速转换;(3)高速模式识别逻辑;(4)高速存储控制信号逻辑;(5)大容量双端口存储技术。因此,本设计采用了多道存储技术,有机结合了可编程逻辑处理^[7-8]及芯片存储技术。

粒子分类计数存储器的原理框图如图2所示,通过控制数字特征信号输入选择端的高低电平,使本存储器处于脉冲高速计数特征输入功能模式或处于16位并行特征输入功能模式。脉冲高速计数特征输入功能模式利用16位脉冲计数器对脉冲输入信号进行计数,计数的结果经16位数字信号锁存器锁存,供电子学多道地址发生器使用。16位并行特征输入功能模式利用16位特征信号输入锁存器将数字特征信号锁存,供电子学多道地址发生器使用。电子学多道地址发生器根据数字特征信号输入选择端的电平,产生相应的电子学多道地址并给出相应的控制信号,控制信号将电子学多道信号发生器发生的电子学多道地址所指双端口内存单元(存储器)中的值读入到16位双向读写寄存器中,作为16位预置加法计数器的预置值,并对该值进行加1处理,结果重新写入16位双向读写寄存器中。最后控制信号将该值写到电子学多道地址对应的双端口内存的相应单元中,完成一次多道存储动作。

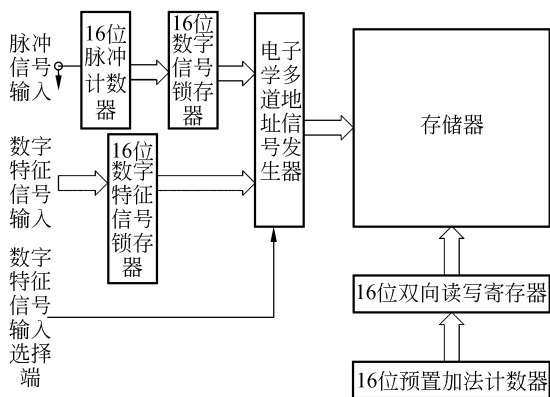


图2 高速大容量分类计数存储器原理图

Fig. 2 Schematic of high-speed and large-capacity classifying count storage

3 电路实现

3.1 MACH435 可编程逻辑芯片简介

MACH435 是高密度 EE CMOS 可编程逻辑

芯片,芯片上的每个宏单元都可以被设置成同步触发或异步触发单元,使得在一片逻辑芯片上同时设计同步和异步逻辑电路成为可能。MACH435 芯片上的宏单元既可以通过编程设计为寄存器也可以设计成为复合输出端口。如果宏单元被设计为寄存器,则该寄存器也可以通过编程而被设计为 D 触发器、T 触发器、J-K 触发器或者是 S-R 寄存器,可以降低可编程逻辑电路的复杂性。触发器同样可以设计为锁存器。

MACH435 芯片上的每一个宏单元还可以通过输出开关矩阵连接到输入输出单元。输出开关矩阵使得设计过程中输出端口可适当变化,减小了设计过程中部分变化对整个电路带来的影响^[9-10]。所以,MACH435 特别适用于复杂的逻辑电路的设计^[11]。

此外,MACH435 芯片可以用 MAX PLUSII、VHDL、MACHXL 等工具软件进行复杂逻辑的设计开发,这些软件可以进行模拟仿真,便于调试和开发。

3.2 逻辑电路设计

粒子分类计数存储器中大规模可编程逻辑器件需要完成的功能有:各类数字特征信号模式识别;高速16位预置计数;地址信息处理;峰值A/D转换时钟;存储器控制逻辑;峰值清除和计数器清零等。图3是高速可编程电路工作逻辑流程图。用一片MACH435芯片完成了各类数字特征信号模式识别和锁存的功能,主要设计有16位脉冲计数器锁存器、16位特征信号锁存器以及电子学多道地址信号发生器等部件(如图2)。用另外一片MACH435芯片实现了16位预置加法计数器、16位双向读写寄存器等部件(如图2)。其中,16位预置加法计数器、16位双向读写寄存器是电子学多道的核心单元,用于实现预置值加载和计数以及存储器的读写等功能。在MACH435芯片的设计过程中,大量使用了T类型的触发器,因为在设计同样位数的计数器时,T触发器要比D触发器需要的端口少很多。

MACH435 芯片的编程开发采用了 AMD 公司的 MACHXL 开发工具(基于 PALASM4.0 语言的开发软件,可以进行编程、仿真、下载等),大

大简化了电路板的设计,提高了整体可靠性。

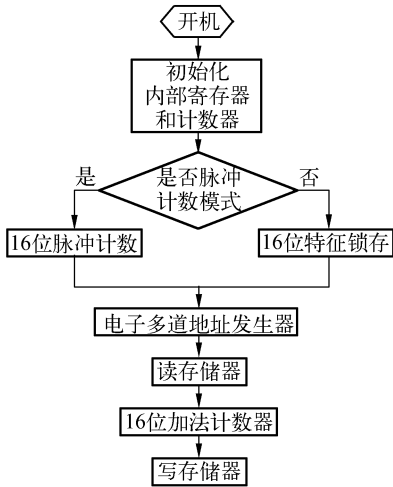


图 3 高速可编程电路工作逻辑流程图

Fig. 3 Flowchart of high-speed programmable logic circuit

3.3 存储系统

由于粒子分类计数存储器的设计主要面向连续、实时、在线工作的大气粒子质量浓度监测系统,因此需要大容量、高速且性能稳定的存储系统,选用高速大容量双端口静态内存 IDT7009 可以满足要求。

IDT7009 是 IDT 公司的高速 $128\text{ k}\times 8$ 双端口静态内存芯片。IDT7009 不但可以用作单独的 1 MB 的静态双端口内存,存取速度高达 12 ns,还可以简单地使用主从结构来扩展双端口内存单元的字长,从 1 个字节(8 bit)到 1 个字(16 bit)或者 1 个字以上。采用主从结构方式扩展双端口内存的字长,不仅可以让内存全速运行,而且不需要其他额外分立元件,做到高效且性能稳定。IDT7009 提供了两组完全隔离的控制总线、地址总线和输入输出总线,可以做到两组端口完全分开,可以异步地对双端口内存的任一单元进行读写操作等访问。同时,通过控制双端口芯片的片选端($\overline{\text{CE}}_0$ 和 CE_1)可以让没有选通的端口部分自动进入低功耗状态,降低能耗。IDT7009 芯片使用 IDT 公司的优秀的 CMOS 制造技术加工,其典型的运行功耗仅为 $1\text{ W}^{[12]}$ 。

4 实验结果分析

目前,该粒子分类计数存储器已经应用于本

研究所自行研发的空气动力学粒谱仪中。图 4 给出了 2007 年 8 月 16 日(高温高湿天气)在北京市中科院遥感研究所实测的颗粒物粒谱分布结果。图中,粒谱的分布符合大气气溶胶常规对数正态分布特征。粒径 $< 1\ \mu\text{m}$ 颗粒物数浓度随着湿度升高而显著增大,符合高温高湿条件下颗粒物吸湿增长的特性。图中 19 时 51 分左右为全天湿度最低时段,实测相对湿度为 75%。该存储器工作稳定,存储容量大、速度快,完全满足粒谱仪连续、实时、在线监测时对存储速度和容量的要求。

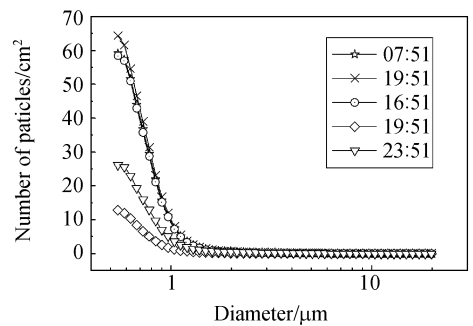


图 4 不同时刻的粒谱分布

Fig. 4 Aerosol size distribution at different time

5 结 论

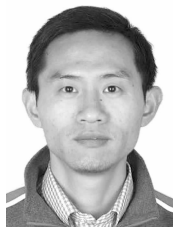
本粒子分类计数存储器将单一脉冲计数功能与特征类型计数功能有机结合,可以在可编程逻辑器件上实现脉冲计数功能和特征类型计数功能,即可实现气溶胶粒子分类及计数功能。其特点是:容量高达 65 536 道;深度大(每道可计数 65 535 个粒子);用两片双端口内存芯片构成交叉式读写控制;速度快(MACH435 和 IDT7009 的典型操作速度可达 15 ns);线路简单(整个电子学多道电路只需要两片 MACH435 和两片 IDT7009 芯片)。

气溶胶粒子分类计数存储器已经应用于本研究所自行研发的空气动力学粒谱仪中,完全满足仪器连续、实时、在线监测时对存储速度和容量的要求。基于气溶胶粒子分类计数存储器的空气动力学粒谱仪已在上海中国计量研究院通过检测,实现了气溶胶监测及对大气传输特性的研究。

参考文献:

- [1] 李学彬,高亦桥,纪玉峰,等. 气溶胶细粒子与能见度的相关性[J]. 光学精密工程,2008,16(7):1177-1180.
LI X B, GAO Y Q, JI Y F, *et al.*. Relationship between aerosol fine particle and visibility[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(7):1177-1180. (in Chinese)
- [2] SUESS D T, PRATHER K A. Mass spectrometry of aerosols[J]. *Chemical Reviews*, 1999, 99(10): 3007-3035.
- [3] GARD E, MAYER J E, MORRICAL B D, *et al.*. Real-time analysis of individual atmospheric aerosol particles: design and performance of a portable AT-OFMS[J]. *Analytical Chemistry*, 1997, 69(20): 4083-4091.
- [4] HANG W, YAN X M, WAYNE D M, *et al.*. Glow discharge source interfacing to mass analyzers: theoretical and practical considerations[J]. *Analytical Chemistry*, 1999, 71(15):3231-3237.
- [5] 李学彬,高亦桥,纪玉峰,等. LED光源光学粒子计数器的研制[J]. 光学精密工程,2008,16(3):406-410.
LI X B, GAO Y Q, JI Y F, *et al.*. Development of optical particle counter of LED lamp-house [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(3): 406-410. (in Chinese)
- [6] SALT K, NOBLE C A, PRATHER K A. Aerodynamic particle sizing versus light scattering intensity measurement as methods for real-time particle sizing coupled with time-of-flight mass spectrometry[J]. *Analytical Chemistry*, 1996, 68(1):230-234.
- [7] 刘金国,余达,周怀得,等. 面阵 CCD 芯片 KAI-1010M 的高速驱动系统设计[J]. 光学精密工程, 2008,16(9):1622-1628.
LIU J G, YU D, ZHOU H D, *et al.*. Design of high speed driver system for area-CCD KAI-1010M [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(9): 1622-1628. (in Chinese)
- [8] 陈骥,王鑫,曹久大,等. 高速 CCD 激光位移传感器[J]. 光学精密工程,2008,16(4):611-616.
CHEN J, WANG X, CAO J D, *et al.*. Development of high-speed CCD laser displacement sensor [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(4): 611-616. (in Chinese)
- [9] Lattice Semiconductor Inc. *High-Density EE CMOS Programmable Logic* [EB]. [1995-05]http://www.latticesemi.com.
- [10] Advanced Micro Devices Inc. *MACHXL Software User's Guide* [M]. Sunnyvale: Advanced Micro Devices Inc., 1994.
- [11] ITO T, ELDEIB H, YOSHIDA K, *et al.*. Special-purpose computer for holography HORN-2 [J]. *Computer Physics Communications*, 1996, 93(1): 13-20.
- [12] Integrated Device Technology Inc. *HIGH-SPEED 128K×8 Dual-Port Static Ram* [EB/OL]. [2001-01-05]http://www.idt.com.

作者简介:



黄书华(1976—),男,江苏泰兴人,博士研究生,助理研究员,主要从事环境监测中的光电子技术研究。hsh@aiofm.ac.cn



刘文清(1954—),男,江苏邳县人,研究员,博士生导师,中国科学院安徽光学精密机械研究所所长,中国科学院环境光学与技术重点实验室主任,主要从事环境光学特性、有害痕量气体光学与光谱学监测方法、新型环境监测技术的研究。wqliu@aiofm.ac.cn



陆亦怀(1954—),男,浙江慈溪人,研究员,博士生导师,主要从事大气光学特性测量、紫外差分吸收光谱法、可调谐二极管激光(TDLAS)技术和激光雷达技术在环境监测中应用研究。lyh@aiofm. ac. cn



张玉钧(1964—),男,安徽黄山人,研究员,博士生导师,主要从事光电子技术与应用、光学信息处理、有害痕量气体光学与光谱学监测方法、新型环境监测技术的研究。yjzhang@aiofm. ac. cn



桂华侨(1979—),男,安徽潜山人,副研究员,主要从事环境光学监测新技术和气溶胶光散射特性的研究。hqgui@aiofm. ac. cn



孙世杰(1982—),男,山东烟台人,硕士研究生,主要从事环境监测中的光电子学研究。sjsun@aiofm. ac. cn



江宇(1977—),男,硕士,助理研究员,主要从事环境光学监测仪器中光学设计的研究。yjiang@aiofm. ac. cn



陈军(1982—),男,安徽合肥人,助理研究员,主要从事环境光学仪器机械设计的研究。chenjun@aiofm. ac. cn



王亚萍(1956—),女,河北任邱人,研究员,主要从事环境光学仪器结构设计的研究。ypwang@aiofm. ac. cn

导师简介:



刘建国(1968—),男,甘肃天水人,研究员,博士生导师,中国科学院安徽光学精密机械研究所所长助理,中国科学院环境光学与技术重点实验室副主任,主要从事环境污染光学监测新技术、目标散射特性及遥感监测技术的研究。jg-liu@aiofm. ac. cn