

TB852.1

y23

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

APS 智能摄影系统

晏磊 徐华 著

北京大学出版社

• 北 京 •

图书在版编目(CIP)数据

APS 智能摄影系统/晏磊,徐华著. —北京:北京大学出版社,
2002.9

ISBN 7-301-05558-7

I. A… II. ①晏… ②徐… III. 磁记录-自动照相机
IV. TB852.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 018147 号

书 名: APS 智能摄影系统

著作责任者: 晏磊 徐华 著

责任编辑: 顾卫宇

标准书号: ISBN 7-301-05558-7/TH·0003

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村 北京大学校内 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn> 电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

电 话: 出版部 62752015 发行部 62757298 邮购部 62752019

排 印 者: 北京大学印刷厂

经 销 者: 新华书店

850 毫米×1168 毫米 32 开本 7.125 印张 185 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 16.00 元

序

由世界照相工业五大跨国公司——柯达、富士、佳能、美能达和尼康公司历时五年,耗资 10 亿美元联合研制开发的 APS (Advanced Photo System) 先进照相系统,于 1996 年问世,至今已有四年。APS 系统的主要产品包括 APS 胶卷、照相机和扩印机。APS 产品的问世是一百多年银盐成像技术和设备向小型化、简便化发展的一个重要里程碑,也是照相工业向信息化发展迈出的重要一步。我国有关部门对此也引起了高度重视。原因在于:

- 全幅面涂有磁层使我们可以按诸如航空航天、遥感、民用等应用要求提供信息量极大的技术数据。

- 它为新型航天遥感器研究及其图像获取与处理技术提供了一种途径。

- 它为一种更高分辨率、低成本的数字通讯技术——磁成像研究提供了可能。

- 它对振兴民族照相机工业、胶片工业、彩扩机工业等提供了一个良好的契机。

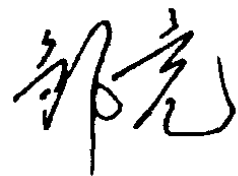
两位作者与美国柯达公司, HDC 和香港 W. Haking 进行了多年的技术合作,独立研制出四位、八位单片机控制的 APS 简易相机样机和 APS 磁读写专用装置,技术成果与世界同步。

我与第一作者结识约四年。他在国内较困难的条件下,作出了较高水平的研究成果,并在 1997 年《科技日报》高科技专版发表“成像技术十大系列讲座”;他主持的“遥感数字图像实时处理与无胶片化学感光快速输出系统”就是基于上述成果展开的工作。

APS 先进照相系统虽问世已有四年,但目前国内外尚无 APS 研究方面的专著出版。《APS 智能摄影系统》一书以 APS 技术研

究成果为主线,将成像技术各领域的技术进行综合比较,反映了我国在该领域的进展,并展示了其发展前景,具有一定的学术水平和参考价值,该书出版将填补该领域的空白,同时也将弥补国内近代成像技术书籍之不足,故为序.

中国工程院院士



2000 年 3 月

于河北保定中国乐凯胶片集团公司

前 言

成像材料主要分为感光胶片、液晶、半导体、磁介质等四大类,感光材料只是其中的一类,但它是应用最广、最成熟的.因此,影像材料与科学的发展,应该是在确保感光材料研究的领先与优势地位条件下,根据中国国情,追踪并逐步拓广、延伸其他成像材料领域的研究.

感光材料技术是不断发展的,因此其自身是不存在“前途”问题的.考虑感光材料的前途,则是与其他影像材料的技术发展程度密切相关的,尤其是与数字 CCD 成像技术相关.而 CCD 成像技术的关键是 CCD 图像传感器,它与半导体工艺技术密切相关.

近十年来,半导体刻蚀工艺已由 $1\text{ }\mu\text{m}$ 量级达到 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 量级的水平,但光电成像半导体传感器像元却基本保持在 $10\text{ }\mu\text{m}$ 量级的水平,即它们两者之间没有直接依存关系.因为提高光电成像传感器单位面积分辨率要受到单位面积可见光强度限制,从而限制了日光照射条件下激发电子跃迁的总数量.如果增加曝光时间,可以增强光电成像传感器光照面的能量积累,但又与实际成像快速性需求相悖;更关键的问题是,通过延长曝光时间产生的能量积累,其光功率(单位时间内的能量积累)并未改变,即它本身并不能直接增加电子跃迁所需的日光的光发射功率.因此,为了实现色彩丰富的电子成像,光电传感器像元可激发电子数不能太少;为了保证曝光充分,光电传感器像元不能随半导体工艺无限缩小.加上数字成像其他的一些物理与工艺要求,光电传感器整体面积、成本和单位面积分辨率受到限制.由此决定了感光材料的不可取代的技术与市场生命力.

化学感光成像与 CCD 数字成像是摄影成像技术的两大发展

趋势.这两种成像方式各有优缺点.CCD是成像设备未来发展的重要方向之一,但对照相摄影来说,CCD成像画面可更改也有其局限性,因为人们在提高相质时,一般并不希望改变影像内容,这点在军事、档案方面要求尤其严格;同时CCD价格受到半导体工业发展制约.而这些恰恰是感光成像的优点之所在.因此,人们又在求寻一种新的技术手段,使得摄影成像既保持化学感光成像方式的低价、历史真实性及高分辨率优势,同时又具有CCD的数字通讯优势.

另一方面,目前感光成像设备已跨入自动化阶段,例如照相机、扩印机控制都已逐步实现微机自动化.而成像媒体即联接两者的环节仍是常规感光胶卷,拍摄与扩印信息无法记录并相互交流,只能通过人工干预.因此感光摄影技术仍没有本质的突破.

APS(Advanced Photo System)项目研究沿用了感光材料成本低、分辨率高、历史保真性好的特点,继续采用感光胶片.但该胶片反面涂有磁层,用于记录拍照时的主要技术信息,冲扩时用计算机读取数据并进行技术处理,达到高成像质量.这样,该技术又汲取了数字成像智能化通讯与处理的部分优点.需要注意的是,它还隐含着一种更高分辨率、低成本的数字通讯技术——磁成像技术可能性.APS磁记录感光胶卷诞生,是照相机、扩印机由自动化向相互通讯智能化发展的必然产物,也是感光成像技术数字化、信息化、智能化革新时代到来的标志.尽管国内尚无产业市场,但从事感光材料及胶片的研究人员,必须对此给予高度重视,主动而积极地至少给予追踪研究,因为感光胶片中APS产品已经占有国际市场的相当份额.尤其需要注意的是:APS技术取得的市场份额,仅仅是在其正式面世3年内取得的.

本书作者从1994年度起亲自参与了国际合作进行的APS产品研究,掌握了APS主体技术,取得了APS相机、APS扩印机领先的实物成果.目前继续在APS胶卷方面进行片基、片盒结构、磁记录格式、乳剂等的跟踪研究,在APS相机方面进行常规相机的

磁读写、磁头定位控制等研究;在 APS 扩印机方面进行常规扩印机的磁信息预读写等研究.

本书通过 APS 智能摄影系统的全面介绍,力图解决回答如下问题:

1. 不同成像方式的相互关联. 成像领域的科学家们在自身成像技术发展的同时,目前已深切感受到了其他成像方式的渗透与相互影响. 但是这些渗透有多大?这些影响对自身成像发展领域产生何种作用? 这些相互作用会对成像技术未来发展产生什么样的总体效能? 可否产生新的学科突破? 不同成像方式在本质上有哪些共同点、差异点? 非成像领域的科学家们、政府投资决策部门关心的问题还包括:各种成像技术各自的优势与劣势在哪些方面?从应用角度能产生什么样的互补与融合? 在扶持、发展成像技术产业时应如何定位于不同的成像方式? 特别地,如何在确保感光材料研究的领先与优势地位条件下,根据中国国情,追踪并逐步拓展、延伸其他成像材料领域的研究? 如何通过应用最广、发育最成熟的感光材料产业向刚刚兴起、潜力巨大、国内尚为空白的数字成像工业领域发展? 这些代表影像材料与科学发展方向与战略的问题,必须加以解决.

2. 数字成像. 影像材料从成像原理上分有化学与物理两大类,细分主要有感光乳剂型、液晶型、半导体电子型、磁介质型. 但从成像方式看,有数字成像与非数字成像之分. 原则上说,能使成像介质颗粒出现二值以上变化的技术,就属于“数字成像”范畴;而可以并只有能够用二值形式表现出来的媒介,才有可能在目前工业技术条件下实现数字成像. 目前比较成熟的数字成像技术有特殊半导体工艺的 CCD、CMOS 电子成像技术. 化学感光成像通过目前的 APS 技术、数字扩印技术与数字成像技术发生关联. 目前趋势是化学与数字成像两大主流中数字化比重加大. 数字成像领域研究必须涉及:数字成像的内涵,数字成像输入、输出技术的相互关系,我国数字成像工业发展的技术突破口的科学化选择,数字

成像的外延及其与感光成像两大成像主流相互融合的技术与科学基础,感光成像技术进入信息领域的基本途径与技术手段等.

本书全部研究工作由两位作者 4 年合作共同完成,第一作者主要负责硬件研究,第二作者主要负责软件研究,相关成果多数是首次发表的.全书共分 12 章,第二作者主要负责第三、四、五、八、十章撰写,其余由第一作者完成.作者非常感谢美国柯达公司、香港宝源基业公司提供给予作者的研究机会,感谢中国博士后管理委员会、北京航空航天大学、北京大学给予作者的支持,感谢国家科学技术学术著作出版基金的资助,感谢陆建勋院士、邹竞院士等前辈的鼓励;没有这些支持,不可能诞生本专著.作者特别要感谢罗妙宣女士,她为本书的出版花费了大量的精力,并完成了全部图表的制作;没有她的辛勤劳动,本书很难有今天的模样.最后,本书的责任编辑顾卫宇为本书付梓不辞辛苦,付出了许多努力,亦在此致谢.

作 者

2002 年春节于北大清华蓝旗营小区

目 录

第一章 摄影成像基础	(1)
1.1 摄影基本知识	(1)
1.1.1 摄影的起源	(1)
1.1.2 理论基础	(2)
1.1.3 摄影过程	(2)
1.1.4 感光材料的演变	(3)
1.1.5 照相机技术的发展	(5)
1.2 成像工艺与设备	(7)
1.2.1 照相机	(8)
1.2.2 摄影成像技术的两大发展趋势	(9)
1.3 实际应用提出的挑战	(13)
1.4 解决问题的思路	(15)
1.4.1 化学成像方式的革新——磁记录感光胶卷的诞生	(15)
1.4.2 APS 技术提出的社会背景	(16)
1.4.3 感光摄影工业的第四个发展阶段——智能一体化	(17)
第二章 数字成像与图像数字转换基础	(19)
2.1 CCD 技术基础	(19)
2.1.1 CCD 的工作原理	(19)
2.1.2 CCD 的电极结构	(22)
2.2 CCD 图像传感器的种类	(22)
2.2.1 CCD 图像传感器分类	(22)
2.2.2 CCD 图像传感器的工作过程	(23)
2.2.3 CCD 图像传感器的发展趋势	(24)
2.3 CCD 数字照相机基础	(25)

2.3.1	人眼可视的全息光信息的电子瞬间捕获装置及技术	(25)
2.3.2	CCD 数字照相系统	(26)
2.3.3	用于电子相机的兆位级像素(megapixel)CCD	(27)
2.3.4	不同结构 CCD 用于电子相机的比较	(29)
2.4	CCD 相机的主要部件	(29)
2.5	电子成像处理系统——以 CCD 相机为基础的成像处理	(35)
2.5.1	CCD 图像传感器	(35)
2.5.2	存储影像文件的数据量	(36)
2.5.3	输出设备的性能	(36)
第三章	APS 智能摄影系统技术基础	(37)
3.1	APS 系统的若干特性	(37)
3.1.1	APS 胶卷的暗盒(cartridge)特性	(38)
3.1.2	APS 曝光状态分析	(40)
3.2	APS 胶卷特性	(42)
3.3	APS 照相机特性	(45)
3.4	APS 系统的冲印设备	(50)
3.5	小结	(52)
第四章	APS 化学感光胶片技术	(53)
4.1	APS 胶片结构及片基技术	(53)
4.2	提高 APS 胶片性能的技术	(56)
4.3	新成色剂的分子设计技术	(67)
4.4	APS 胶片的磁记录层	(70)
第五章	APS 胶片磁信息读写技术	(72)
5.1	磁介质物理特性	(72)
5.2	磁记录特性	(74)
5.2.1	饱和记录和不饱和记录	(74)
5.2.2	磁记录过程	(75)
5.2.3	APS 数字编码	(75)

5.2.4	磁信息读写过程分析	(77)
5.3	磁读写信息的数据结构	(78)
5.4	磁信息设计与磁密度计算	(80)
5.4.1	磁信息设计	(80)
5.4.2	磁信息量计算	(85)
第六章	APS 智能相机设计基本问题	(86)
6.1	APS 智能相机的总体问题	(86)
6.2	APS 相机分类	(87)
6.3	APS 智能相机研制的特殊问题	(88)
6.4	APS 特殊功能的实现	(90)
6.5	APS 与 135 胶卷兼容相机功能研制	(92)
6.6	磁信息设计对 APS 智能相机研制的有关要求	(95)
第七章	基本相机——成像控制及执行部件	(96)
7.1	基本相机的功能结构	(96)
7.2	驱动齿轮机构	(96)
7.2.1	变焦行镜齿轮机构	(96)
7.2.2	走片回卷齿轮机构	(97)
7.3	高压闪光充电电路	(101)
7.4	液晶显示 LCD 段码驱动逻辑设计	(102)
7.4.1	二位 LCD 段显示与外部端线控制波形的关系设计	(103)
7.4.2	六位卡诺图设计与各段码数字逻辑表达式推导	(105)
7.4.3	段码显示电路	(108)
7.5	相机综合功能	(109)
第八章	智能胶卷读写——磁信息产生与获取装置	(111)
8.1	问题的提出	(111)
8.2	软磁盘驱动器磁读写机理	(112)
8.2.1	微机系统磁盘数据读写原理	(112)
8.2.2	磁盘机读写电路及其信号接口电路	(113)
8.3	APS 磁记录中的读写电路设计与制作	(118)

8.4	用单片机控制的 APS 磁读写装置	(120)
8.4.1	硬件设计	(120)
8.4.2	软件设计	(122)
8.4.3	APS 磁信息产生与获取装置	(124)
第九章	APS 智能相机——成像信息记忆与识别控制器	(125)
9.1	单片机选择与各功能口设计	(125)
9.2	主要软件流程	(126)
9.3	单片机与执行部件接口	(130)
9.4	APS 智能相机样机的系统实验	(133)
9.4.1	实验条件	(133)
9.4.2	基本相机功能实验	(134)
9.4.3	APS 智能相机磁读写有关实验	(145)
9.4.4	实验结果总结	(151)
第十章	APS 智能彩扩系统	(152)
10.1	APS 智能相机与智能扩印机的技术交链	(152)
10.2	普通彩扩系统流程	(153)
10.3	半实时快速处理的 APS 扩印预处理机	(154)
10.4	APS 智能扩印系统工作原理	(166)
10.4.1	彩色片的成色原理	(166)
10.4.2	APS 扩印相同的色彩校正	(168)
10.5	一体机的操作流程	(170)
10.6	磁成像技术构想与分析	(171)
10.7	技术小结	(172)
第十一章	化学感光与数字成像技术的比较	(173)
11.1	化学感光摄影与数字摄影的区别	(173)
11.2	化学感光照相体系的前景	(177)
11.3	化学感光摄影的持续发展空间	(185)
11.4	图像处理对成像技术发展的历史作用	(192)

第十二章 APS 智能系统的应用与成像技术的牵引作用

.....	(194)
12.1 APS 智能系统在导航方面的应用	(194)
12.1.1 由战斧式导弹说起	(194)
12.1.2 景象匹配定位系统的组成	(195)
12.1.3 景象匹配过程与算法	(196)
12.2 APS 智能摄影与现有常规摄影在航空航天应用的比较	(197)
12.2.1 与常规胶卷比较	(197)
12.2.2 在航空航天中的应用	(198)
12.3 适于航空航天应用的 APS 智能相机控制器 ——16 位单片微机	(199)
12.4 摄影遥感图像与数字遥感图像的综合应用	(200)
12.5 成像技术在可持续发展时空监测体系中的应用	(201)
12.5.1 可持续发展时空监测体系应用	(201)
12.5.2 人地关系研究的区域动态实现手段	(201)
12.5.3 可持续发展监控技术	(202)
12.6 信息产业中的成像技术	(203)
12.6.1 信息种类及特征	(203)
12.6.2 信息领域状况	(203)
12.7 成像技术市场	(204)
12.7.1 国际影像材料市场规模	(204)
12.7.2 数码影像及网络化的快速发展	(205)
12.7.3 银盐数码融合技术市场的崛起	(205)
12.7.4 在线冲印服务悄然兴起	(207)
12.8 APS 的前景和机遇	(207)
参考文献	(209)

第一章 摄影成像基础

摄影在我们的日常工作和生活中处处可见,艺术家运用摄影来表现个性与思想,记者运用摄影来描述事物,普通人运用摄影记录生活,科学家运用摄影来从事科研.摄影既是大众文化,也是传播媒体,摄影是艺术,更是科学.它是在光学、化学、电子技术、精密机械、工程材料等学科的理论和技术上发展起来的应用学科,是综合性学科,在许多领域中都有着重要的作用和无法替代的地位,同时它对许多科学技术的推广和发展也产生了很大的影响.摄影是科学家、工程师、医生等研究人员不可缺少的技术工具.

它的诞生和发展、它的现代化应用,来源于社会文化的进步,来源于科学技术的推动.

1.1 摄影基本知识

1.1.1 摄影的起源

摄影的历史仅有 160 多年,但关于光与影的关系的研究,则有悠久的历史.我国古代墨翟^[1](公元前 470—前 400 年)曾用小孔成像的方法论述了光的直线传播和成像规律.公元 17 世纪,一种便于携带的手提式暗匣,在欧洲被一些画家作为绘画的辅助工具.在这种暗匣中,物体可通过反光镜将影像“着附”于背景纸上,然后用手工描绘,这种方法持续了几个世纪.这种暗匣实际上就是照相机的雏形.直到 1830 年,法国风景画家 L. 达盖尔^[1](Louis Daguerre)作出发明,他用一块经过刨光的镀银的铜板,先用碘蒸

汽熏蒸即进行光敏化,形成碘化银.拍摄时放在暗箱内曝光5~12 min,取出后放在加热的水银上熏蒸(显影),再用食盐溶液冲洗(定影),最后用蒸馏水清洗并晾干,可形成细致的衬有银色背景的灰白色影像,这就是“银板摄影法”.达盖尔的银板摄影法被认为是摄影术的诞生.因而达盖尔也被认定为实用摄影术的发明人.

1.1.2 理论基础

光是摄影的基础,光线的传播规律是:

- (1) 在均匀透明的介质中,沿直线传播;
- (2) 光线在两种介质上的传播遵循反射定律和折射定律.

利用这两条规律可制造出各式各样的透镜,透镜的成像规律由高斯公式^[2]表达,把经过透镜成的影像用化学感光作用或其他辐射能作用记录在介质上.这就是成像的理论基础.

高斯公式为

$$\frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = \frac{1}{f'}, \quad (1-1)$$

其中 f' 为透镜的焦距, l 为物距, l' 为像距.三量中,已知其中两量,很容易确定第三量.

1.1.3 摄影过程

摄影术发明 160 年以来,已基本成熟,其基本过程大致可表示为如下的方框图,它由负片过程和正片过程两个相对独立的阶段组成,前者由胶片得到底片,后者无底片.每一个阶段又由基本类似的曝光和暗室冲洗加工处理两个先后相继的过程组成.曝光过程获得看不见的潜影,加工过程则将看不见的潜影转变为稳定的可见影像.

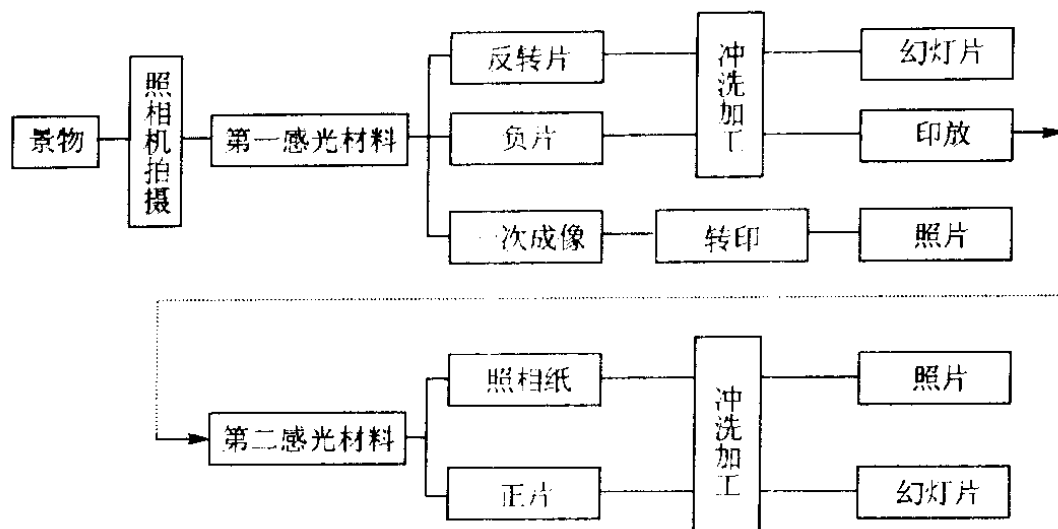


图 1-1 摄影的过程^[3]

1.1.4 感光材料的演变

在摄影术发明的初期,摄影家和科学家的主要精力集中在化学处理的技术上.他们研制和实验更好的感光材料,努力研究如何将影像清晰地记录下来,而对化学处理方法则要求尽可能地简单和实用.

1851年,英国的雕塑兼摄影家 Frederick Scott Archer^[4]将火棉胶与感光药品的混合液涂于光洁的玻璃板上,并使之光敏化;然后马上将湿的玻璃板装入摄影机中进行拍照(火棉胶干了以后就不能感光),曝光以后,立即进行显影、定影和水洗加工;所得到的是一张负像的感光片,用此负片就可以印出所需的照片来.他的发明被后人称为火棉胶法或湿板法,使感光材料技术在银板摄影法和卡罗式摄影法的基础上发生了重大的技术进步.虽然这种方法在操作上仍然不十分方便,但与前面的技术相比有几个突出的优点:

- (1) 影纹已较清晰,并可用负片大量印制照片;
- (2) 感光度也较高,所需曝光时间大大缩短(30 s~2 min);
- (3) 成本低廉,很容易实现商业化.

这种湿板法已经很接近现代的负片-正片法,被广泛地使用了二十余年.为了能克服湿板法的缺陷,科学家们继续探索更好的感光材料.19世纪70年代,人们发明了用明胶涂布在卤化银玻璃干板上的方法^[1],它可事先制作好,放在避光的盒子里供随时使用.用“干板”拍摄,其影像质量非常好,而且携带、使用都方便.同时,“干板”的感光度也大大提高.干板的问世,为摄影系统的完善和改进提供了有利的条件.

1880年,美国一位业余摄影师伊斯曼(George Eastman)开设了一家“伊斯曼干板公司”并于1888年制造出第一台以“柯达”(Kodak)命名的照相机,之后又于1891年制造出世界上第一个“柯达”胶卷和使用胶卷的照相机,片基也由玻璃干板演化成了赛璐珞片基,又发展为醋酸纤维片基^[5].伊斯曼的贡献在于他把摄影过程系统化、简单化,使摄影得到大范围的普及.伊斯曼本人和柯达公司奠定了现代摄影器材发展的基础,至今柯达公司仍是世界上最著名的感光材料和摄影器材生产公司之一.

由于溴化银只能形成影像而不能分辨色彩,难以完全表现五彩斑斓、丰富多彩的世界,在20世纪80年代,人们又在溴化银中加入了成色染料,出现了新的彩色干银照相法.90年代后,干银技术进入了实用阶段.

数码摄影技术是20世纪末出现的最激动人心的技术之一,它是用一种电荷耦合器件(Charge Coupled Device,缩写为CCD)来替代传统的感光胶片,它将传统的光信号转换成对应的电信号,经过A/D转换部件将模拟量转换为数字量,再生成相应的数码图像,由于CCD的制造成本很高,美国的Rockwell公司和Intel公司等已开发出成本更低的CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor——互补金属氧化物半导体)器件用于替代CCD部件.数码技术发明之后不久,又由柯达公司倡议,世界五大摄影公司联合开发了APS(Advanced Photo System)摄影系统,这种系统最重要的技术特点是在传统的卤化银胶片的背面涂有一层磁介