

研究报告

# 用于微光摄像 的 高灵敏度电子轰击电荷耦合器件

周立伟, 刘广荣, 高稚允, 王仲春  
(北京理工大学光电工程系, 北京 100081)

**[摘要]** 文章综述微光成像的电子轰击电荷耦合器件 (EBCCD) 的进展。EBCCD 是将像管的荧光屏以对电子灵敏的背照明、减薄 CCD 代替, 将电子图像直接转变为视频信号, 其在所有光照等级下, 特别是在极低微光下的调制传递函数 (MTF)、分辨力、信噪比、余辉等均优于像增强器耦合 CCD (ICCD)。文中较为详细地叙述了倒像式 EBCCD 设计与减薄工艺, 给出各种类型倒像式 EBCCD 像管的技术参数, 分析和比较了近贴式与倒像式 EBCCD 与 ICCD 的性能, 指出了 EBCCD 在军用夜视技术与民用技术未来发展中的地位与重要性。

**[关键词]** 微光成像; 电荷耦合器件; 电子轰击 CCD

## 1 前言

在夜视技术、天文学与高能物理学的众多应用中需要高分辨力、高灵敏度的微光电视实时成像。在科学技术高度发展的今天, 实现微光电视实时成像通常采用电荷耦合器件 (CCD) 的方式。利用 CCD 作为像敏器件的微光实时摄像主要有列三种方式。

### 1.1 像增强 CCD (ICCD)

约 15 年前, 人们就希望利用 CCD 以代替 SIT (硅增强靶管) 以解决微光成像的问题, 目前有以下二种解决方案。

1) 用光学系统将一代、二代、三代像增强器与读出 CCD 耦合, 这可以解决微光下摄像的问题。通常, 若 CCD 与一代管耦合, 则分辨力较好, 而光增益稍低; 若 CCD 与二代管或三代管耦合, 则光增益高, 分辨力稍差。此外, 这一方案还存在着系统不够紧凑的问题。

2) 通过纤维光学面板或纤维光锥将像增强器

与 CCD 阵列耦合。在此方案中, 低照度景物的图像被投射在像增强器输入窗上, 自光阴极逸出的光电子, 通过电子光学系统, 聚焦到荧光屏上 (一代管), 或通过电子光学系统聚焦或近贴聚焦到微通道板 (MCP) 上, 使电子信号倍增输出到荧光屏上 (二代管、三代管), 形成光学图像; 纤维光学元件通过与纤维光学输出窗耦合把增强的图像传递到 CCD 芯片上, 把光学信号再次转换为电信号, 然后“读出”进行显示或图像处理。

由上可见, 成像过程表现为传统的光—光电子—(电子倍增)—光—电子链, 即光转换为光电子, 光电子又转换为光或经过电子倍增再转换为光, 最后光又转换为 CCD 中的电子, 显然成像环节越多, 成像质量经多次传递而下降。MCP 的增益过程使噪声引入图像, 使信噪比与调制传递函数 (MTF) 都下降。莫尔条纹、疵点以及纤维阵列的不均匀性积累在电光学路程中并作为“固定图案”噪声成像在 CCD 上。此外, 光学界面和纤维光学内的散射使像敏器件的 MTF 性能进一步下降。这一切的积累影响了 ICCD 的性能。

应该指出，以一代管耦合的 ICCD 具有很好的空间分辨力（信噪比  $S/N=1$ ，阈值照度可达到  $4 \times 10^{-5} \text{lx}$ ），但是其增益不足以探测单个光子，若用多个像增强器级联，则将导致分辨力下降；而基于 MCP 的二极管或三代管耦合的 ICCD 可提供足够的光增益使 CCD 能探测单个光子，但是所提高的灵敏度是以牺牲分辨力为代价的。通常带有 MCP 的像增强器，相对来说分辨力稍低。

1.2 电子轰击 CCD (EBCCD)<sup>[1,2]</sup>

EBCCD 成像使传统的成像链的环节减小到最小的程度，即光-光电子-电子链。在 EBCCD 像管中，1 个特殊的对电子灵敏背照明 CCD 装在管内以代替通常的荧光屏，这样便不需要微通道板、荧光屏和纤维光学耦合器。当 CCD 基片被减薄到  $8 \sim 12 \mu\text{m}$ ，并装到管内时，使其背面接受由光阴极射出并受到加速的光电子，如同二代近贴管与倒像管一样，它也具有近贴式与倒像式。当电子进入背照明、减薄 CCD 的背面时，硅使入射光电子能量散逸，产生电子-空穴对，得到电子轰击半导体 (EBS) 增益。EBS 过程的噪声大大低于微通道板为得到电子增益所产生的噪声。从这个意义上来说，这是一种“理想”器件，它能提供几乎无噪声的增益，EBS 增益在管电压 10 kV 时为 2 000<sup>[3]</sup>，足以削弱或抵消系统的噪声源。图 1 给出了倒像式 EBCCD 的结构简图，图 2 为利用倒像式 EBCCD 构成的成像系统框图。

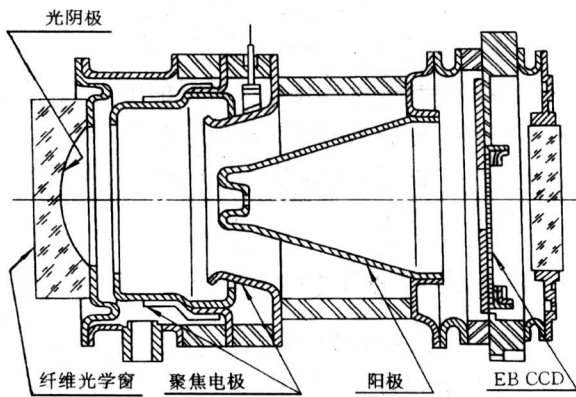


图 1 倒像式 EBCCD 的结构简图

Fig.1 A schematic diagram illustrating the structure of inverter type EBCCD

EBCCD 是当今微光摄像技术的新进展。在中等微光和所有的光照条件下，EBCCD 的几乎无噪

声的增益与极佳的 MTF 使其性能全面超过通常的 ICCD；且其高增益足以探测单个光电子<sup>[4]</sup>。

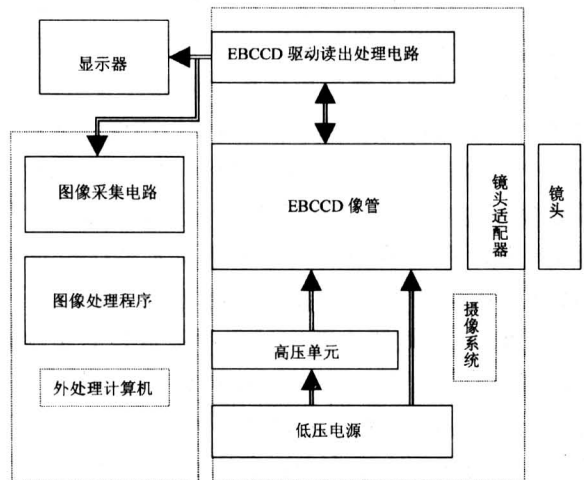


图 2 利用倒像式 EBCCD 构成的成像系统框图

Fig.2 A block diagram for the imaging system constructed by using inverter type EBCCD

背照明、减薄的 EBCCD 已被研制了很长时间，其难度在于很难获得很均匀的灵敏度。20 世纪 90 年代以来，俄罗斯与欧美等国家在技术与工艺上都取得突破，取得了很好的结果。例如，俄罗斯圣彼得堡的“Electron”公司与莫斯科的“Geosphera”公司合作建成了 EBCCD 像管的生产线，已有  $532 \times 290$ ， $780 \times 290$ ， $1\,024 \times 1\,024$  线元数的静电聚焦倒像管作为商品出售。美国“Scientific Imaging Technologies (SITe)”公司研制了型号为 SITe SI502A  $512 \times 512$  线元数 CCD，用于构成 BC-CD 和近贴聚焦型 EBCCD。这些器件成功地应用于夜视中的电视摄像、皮秒条纹相机<sup>[5]</sup>以及高能物理中的光纤探测器<sup>[3]</sup>。

下面对倒像式 EBCCD 的制作工艺、设计与性能作一综述，并与 ICCD 比较，最后对我国发展 EBCCD 提出一些建议。

2 倒像式 EBCCD 的设计与制作<sup>[2]</sup>

2.1 减薄 CCD 设计的考虑

CCD 的制作是用二层门电介质 ( $\text{SiO}_2 + \text{Si}_3\text{N}_4$ ) 层的三相、三级多晶硅门技术，它具有 n 型埋沟结构，器件由  $4 \sim 20 \Omega \cdot \text{cm}$  电阻率的 p 型硅制成。

以  $1\,024 \times 1\,024$  CCD 为例。它的成像部分含有分为二个  $512 \text{行} \times 1\,024 \text{列}$  区域的作用面积。通过

二个合适的输出寄存器,此成像区域可以独立地移上或移下。这二个面积的每一个平行时钟都有独立的控制,故它们的电荷量可以转移到相反的方向,通过二个串联寄存器和在每一个寄存器的一端的二个相应的金属氧化物半导体场效应晶体管(MOS-FET)的输出放大器可以平行地读出图像,或者通过二个寄存器中的一个逐次地读出图像。输出放大器是被埋沟MOSFET联接于浮动分布的节点,信号电荷被堆积于该处。CCD中还引入多针相MPP(Multi-Pinned Phase)技术使暗电流显著下降。

EBCCD像敏器的制作过程中最重要的步骤是基底减薄和背面处理。至于减薄CCD的设计,一方面取决于初始材料(硅薄片)和所具有的工艺手段,另一方面取决于未来在真空像管中EBCCD的处理和工作条件。

EBCCD及其倒像管的制作步骤如下:初始(未减薄)CCD的制作;CCD基片测试;切成薄片;单片CCD基底减薄;CCD背面处理(形成电场与光敏面钝化);减薄CCD的最后测试;减薄CCD安装或粘结到特殊的金属-陶瓷支座或热电致冷器上;支座用激光焊接到像管壳体;除气及光阴极制作。

## 2.2 CCD片减薄<sup>[6]</sup>

CCD片减薄可采取二种方式。①CCD片中仅是光敏区面积减薄,其他面积不减薄。这一结构适用于单片工艺,并能进行各种背面处理,而不会引起CCD像敏器的铝金属化的衰减。②把CCD片的整个面积都减薄并耦合在合适的基底上。但只有连续的“冷”或高温脉冲的背面处理才适用于此方案。CCD减薄结构与相应的制作工艺取决于许多因素,其中起主导作用是晶体尺寸。

下面主要介绍第一种方式。首先对单个CCD基片进行测试与挑选,然后把它们用抗酸的环氧树脂粘贴到聚四氟乙烯(Teflon)盘上。片子的边缘用同样的环氧树脂防护,但留出与CCD成像面相同的没有防护的工作面积矩形窗口。经48h干燥后,将带有基片的盘装到具有刻蚀液的旋转聚四氟乙烯的腔室内。减薄是采用化学蚀刻法,用的是各向同性的硅刻蚀溶液,蚀刻是在旋转圆盘系统RDS(Rotating-Disk System)上完成。运动的方式是三维的,所以在膜的边缘处通过刻蚀溶液流与膜层的交互作用而形成三维流体(扩散)边界层。利用这种工艺,可以得到厚度由300 $\mu\text{m}$ 减薄到8

$\mu\text{m}$ ,整个光敏面(9.9 mm $\times$ 13.8 mm或13.8 mm $\times$ 13.8 mm)上的非均匀性小于10%的背照明减薄CCD。

## 2.3 减薄的CCD背面处理

在CCD基片减薄后,下一步是背面处理。这一制作步骤的主要目的是在CCD基片中建立一个不小于 $5\times 10^3\sim 10^4$  V/cm的电场,以减少由于表面复合而引起的信号电子的损失。这一处理可以有多种的有效方法:如背面放电(backside charging),闪电选通(flash gate),加偏压的闪电选通(biased flash gate)以及带有脉冲激光退火的离子注入等其它方法。按目前的试验结果,硼离子注入以及随后的退火是一种最适宜的技术;而且从长期稳定性的观点来看,它也是制作工作状态处在连续的电子轰击EBCCD的最合适的技术。用这一技术,恰当地选择离子注入剂量和能量,可以得到一个小于0.1 $\mu\text{m}$ 的稳定的“死层”(dead layer)。其主要目的是达到增益控制范围内的EBCCD增益有尽可能的最高值。

设计一个完美的EBCCD,有二个任务必须解决:在容许的最大加速电压值下所达到的EBCCD增益值要尽可能高;在容许的最小加速电压下所提供的EBCCD增益要尽可能低。满足这些要求便能同时提供高的管子灵敏度和高的增益控制范围。对于这种近于“完美”的器件,可以得到EBCCD增益值约为2400( $U_{\text{ph}}=10$  kV),增益控制范围值直到2000( $U_{\text{ph}}$ 从2 kV到10 kV变化)。

对于CCD的背面处理,离子注入和随后退火工艺的技术参数经过优化后,最好的EBCCD样品的增益和增益控制范围值非常接近于它们的理论极限。典型的EBCCD增益值在10 keV光电子能量下为2000~2200。

## 3 倒像式EBCCD像管及其设计<sup>[2]</sup>

倒像式EBCCD像管制作工艺是,通过一个真空法兰用激光焊接方式将替代荧光屏的BCCD及其封装体与像管主体相联接。制造EBCCD管时,其工艺与通常一代管略有不同,特别是管体本身外壳的烘烤处理以及退火处理都应小于320 $^{\circ}\text{C}$ 。在此以后,进行多碱光阴极的制作。

有二条途径来提高EBCCD的灵敏度。一是提高光电子入射到CCD的能量,另一是将光阴极入射图像的尺寸缩小成像到CCD像面上。对于缩小

倍率的情况,可以看出,其信噪比提高了,  $532 \times 290$  EBCCD 的  $S/N$  由 8 ( $M=1$ ) 提高到 18 ( $M=0.63$ ), 阈值灵敏度由  $10^{-5} \text{lx}$  ( $M=1$ ) 提高到  $3 \times 10^{-6} \text{lx}$  ( $M=0.63$ )。当照度大于  $10^{-4} \text{lx}$  时, 空间分辨力约为 400 TVL, 即使在很低的照度  $5 \times 10^{-6} \text{lx}$  下仍有 100 TVL 的分辨力。

单级 EBCCD 像管的阈值照度值约为  $5 \times 10^{-5} \text{lx}$ , 它虽能在  $5 \times 10^{-4} \text{lx}$  照度以下工作。为了使它能与带 MCP 的二代管的 ICCD 竞争, 必须提供最小工作照度级, 至少要小一个数量级。最好的方法是在 EBCCD 像管前耦合一个一代管, 变成像增强 EBCCD, 它将输入照度降到  $(5 \sim 10) \times 10^{-5} \text{lx}$  范围内。像增强 EBCCD 作为一种高质量微光摄像系统具有广泛的应用前景。

## 4 倒像式 EBCCD 的性能

### 4.1 倒像式 EBCCD 的成像特性

俄国 Electron 与 Geosphera 公司最早研制的倒像式 EBCCD 像管为单级一代管与  $532 \times 290$  EBCCD 的结合, 输入光纤面板窗有效直径为 18 mm,  $S-20$  光阴极灵敏度为  $(120 \sim 180) \mu\text{A}/\text{lm}$ , 放大率为 1, 总的光增益 (每一入射光子的电子数) 约为 200~300, 管子为金属-陶瓷结构。管子的输入窗有带有与不带有防护玻璃二种类型。不带防护玻璃的可与其它像增强器耦合。在  $532 \times 290$  EBCCD 的基础上, 又研制成功  $780 \times 290$  ( $M=1$ ),  $532 \times 290$  ( $M=1/3$ ),  $532 \times 290$  变倍 ( $M=0.62 \sim 1.3$ ),  $1024 \times 1024$  变倍 ( $M=0.62 \sim 1.3$ ) EBCCD。表 1 上给出 Electron 和 Geosphera 公司制作的几种典型倒像式 EBCCD 的性能。

应该指出的是,  $1024 \times 1024$  EBCCD, 即兆线元数 EBCCD 变倍管是目前倒像式 EBCCD 像管中的最高水平。管子放大率 (变倍) 由 0.62~1.3, 输入光阴极窗直径为 40 mm, 其平均量子效率在 500 nm 处为 10%, 输出最大电压为 20 kV, 中心分辨力当  $M=1.3$  时为 21 lp/mm,  $M=0.62$  时为 43 lp/mm, 暗计数在 15 kV 下小于  $75/\text{s} \cdot \text{cm}^2$ , 畸变小于 3%。

### 4.2 光阴极的量子效率与均匀性

兆线元数 EBCCD 变倍管的光阴极光谱响应

表 1 各类倒像式 EBCCD 的性能参数

Table 1 Performance parameters for various kinds of inverter type EBCCD

参数	EBCCD 像管 (532×290)	EBCCD 像管 (780×290)	兆线元数 EBCCD 变倍管 (1024×1024)
光阴极直径/mm	18	18	40
输入窗	F.O	F.O	F.O
输入有效面积/mm <sup>2</sup>	9.04×6.67	9.04×6.67	10.3×10.3~ 21.6×21.6
光阴极类型	多碱	多碱	多碱
最大灵敏度波长/nm	530	530	500
光谱范围/nm	350~800	350~800	350~850
光阴极量子效率 (波长/nm)	0.1 (530) 0.07 (430) 0.04 (400)	0.1 (530) 0.07 (430) 0.04 (400)	0.1 (500)
放大率 (M)	1	1	0.62~1.3
施加电压/kV	3~12	3~12	3~15
EBS 增益	2000(≤10kV)	2000(≤10kV)	4000(≤15kV)
阈值照度 (S/N=2)/lx	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-6}$
水平分辨力 /lp·mm <sup>-1</sup>	15 (75% MTF) 50 (50% MTF)		40 (M=1, 15% MTF)
水力分辨力 /TVL	400 (15% MTF)	600 (15% MTF)	
线元数 H×V	532×290	780×290	1024×1024
线元 H×V/μm·μm	17×23	17×23	13.1×13.1
成像幅 H×V/μm·μm	9.04×6.67	9.04×6.67	13.4×13.4
饱和度/el·(pixel) <sup>-1</sup>	$5 \times 10^5$	$3 \times 10^5$	$1.5 \times 10^5$
相对光响应非均匀性/%	±10	±10	±10
寿命/h	≥2000	≥2000	≥2000

见图 3。由图 3 可见, 在  $\lambda=500 \text{nm}$  处, 最大量子效率  $Q.E.=11\%$  ( $45 \text{mA}/\text{W}$ )。看来要达到 20% 左右的  $Q.E.$  是很困难的。由于管子工艺与除气退火需要相对较低的温度 (不大于  $320^\circ\text{C}$ ), 故采用时间延长的工艺过程。

### 4.3 EBS 增益

当 1 个光电子撞击硅时, 便产生若干个电子空穴对, 增益  $G=E/E_u$ ,  $E_u=3.6 \text{eV}$ ,  $E$ —电子能量 (eV)。由于“死层 (dead layer) 中的能量损失, 所产生的电子也许不会全部收集到 CCD 电位阱中。图 4 表示了增益  $G$  与入射电子能量的关系曲线, 曲线在能量高于 4 kV 处以斜率 1/(3.6 eV) 上升。俄罗斯 EBCCD 管的一个显著特点是其低能阈值, 这是由于电子在基底中的极小损失, 于是在 15 kV 能量下获得了增益  $G=4000$ 。在半导体中倍增的过程产生了增益, 但亦伴随着很低的起伏。

### 4.4 调制传递函数与信噪比

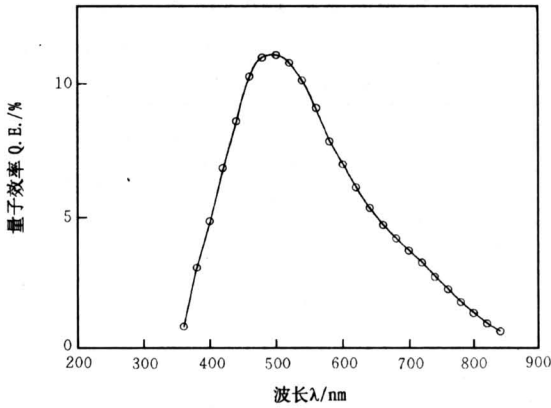


图 3 倒像式 EBCCD 的多碱光阴极光谱响应曲线  
Fig.3 Multi-basic photo-cathode response curve of inverter type EBCCD

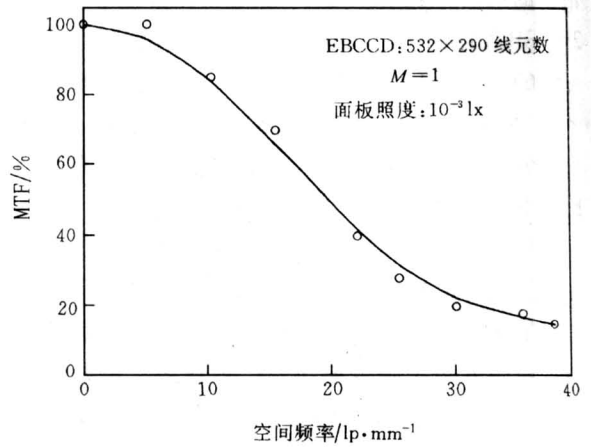


图 5 532 x 290 倒像式 EBCCD 的 MTF 曲线  
Fig.5 MTF curve for 532 x 290 inverter type EBCCD

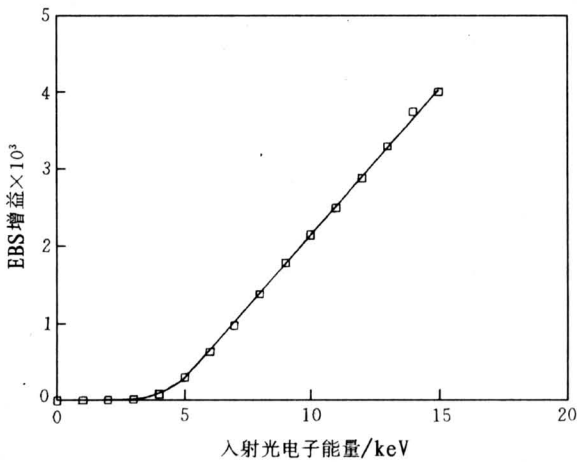


图 4 倒像式 EBCCD 的 EBS 增益随入射光电子能量变化曲线

Fig.4 Curve showing the variation of EBS gains with the energy of incident photoelectrons in inverter type EBCCD

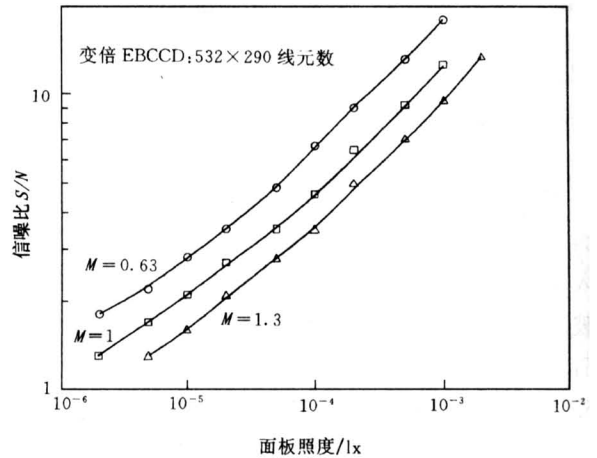


图 6 变倍 EBCCD 在不同放大率下信噪比随面板照度变化曲线

Fig.6 Curves showing the variations of signal - noise ratios with illumination of the faceplates under different magnification in zoom EBCCD

图 5 给出 532 x 290 倒像式 EBCCD 在  $M = 1$ ,  $10^{-3}$ lx 面板照度下的 MTF 曲线。图 6 中给出变倍 EBCCD 在不同放大率下的信噪比 (S/N) 随面板照度变化曲线。

由图 6 可见, 在  $2 \times 10^{-6}$ lx 的极低微光下可获得  $S/N = 2$  ( $M = 0.63$ ), 这结果较之其它类型像增强 CCD (ICCD), 如一代管光纤耦合到致冷 CCD 上, 或者是将二代管或三代管光纤耦合于 CCD 上要好多。

#### 4.5 寿命

在实际应用中 EBCCD 的寿命是一个重要参数。图 7, 8 中给出了 3 个 532 x 290 EBCCD 像管的样管上测量的灵敏度与暗电流在  $10^{-2}$  lx 照度下和 10 kV 的标准电压下运行时间的关系曲线, 可以看出, 此灵敏度与暗电流实际上在 2 000 h 运行后并没有变化。

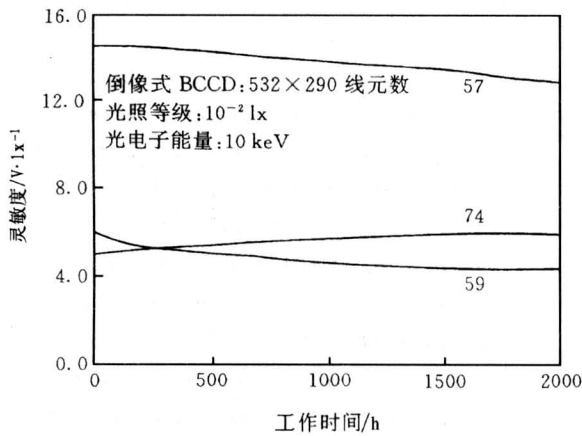


图 7 532 × 290 倒像式 EBCCD 样管灵敏度的寿命曲线

Fig.7 Curves showing lifetime of sensitivities in the sample tubes of 532 × 290 inverter type EBCCD

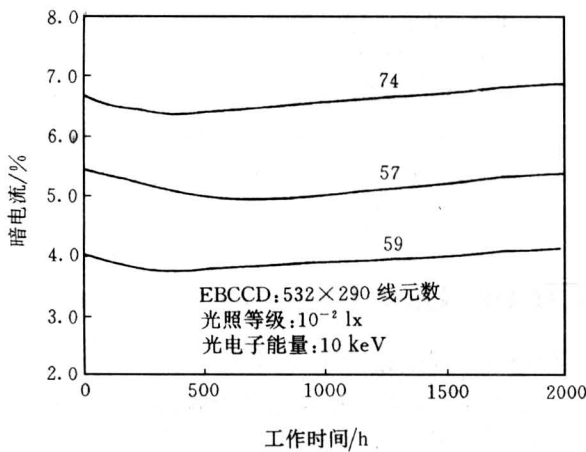


图 8 532 × 290 倒像式 EBCCD 样管的暗电流寿命曲线

Fig.8 Curves showing the lifetime of dark currents in sample tubes of 532 × 290 inverter type EBCCD

### 5 EBCCD 与 ICCD 的信噪比、MTF 和分辨力的比较

EBCCD 与 ICCD 微光性能的三个重要参数比较。图 9 给出了各类 ICCD 与倒像式 EBCCD 的信噪比特性比较曲线，由图 9 可见，EBCCD 较之各种类型 ICCD 在低照度下有更好的信噪比特性。图 10 给出了 ICCD 与 EBCCD 等成像器件的实测 MTF 曲线，由图 10 可见，EBCCD 较之各种类型

ICCD 有更好的图像传递特性。

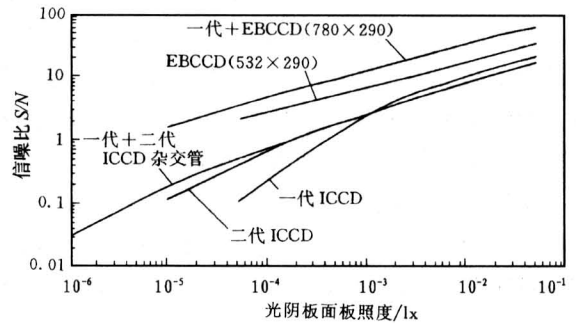


图 9 各类 ICCD 与倒像式 EBCCD 的信噪比特性比较

Fig.9 Comparisons of signal-noise ratio for various ICCD and inverter type EBCCD

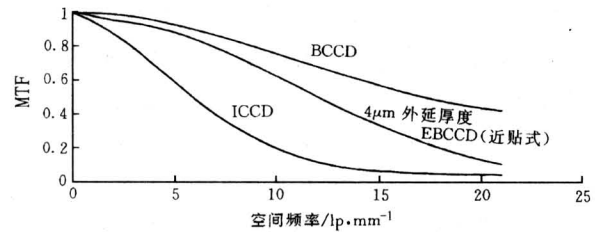


图 10 ICCD 与 EBCCD 的 MTF 曲线

Fig.10 MTF curves for ICCD and EBCCD

ICCD: Intevac GaAsP 光阴极 45 lp/mm 的像管与 SI502AF CCD 耦合; EBCCD: GaAs 光阴极与 SiTe SI502AB CCD

表 2 给出了 EBCCD 与 ICCD 在不同面板照度下的分辨力。由表 2 可见，在低照度下 EBCCD 较之 ICCD 有高得多的分辨力。

表 2 EBCCD 与 ICCD 在不同面板照度下的分辨力

Table 2 Resolution of EBCCD and ICCD under different faceplate illumination

器件	面板照度 (分辨力)	面板照度 (分辨力)	面板照度 (分辨力)
EBCCD/lx	$1 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$
	(14 lp/mm)	(26 lp/mm)	(18 lp/mm)
ICCD/lx	$1 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$
	(14 lp/mm)	(16 lp/mm)	(8 lp/mm)

### 6 结束语

ICCD 由于微通道板 (MCP) 和纤维光学窗以及荧光屏的影响，其 MCP 噪声及 MTF 经多个传递环节衰减使像质显著变坏，ICCD 的 MTF 与信噪比远逊于 BCCD 和 EBCCD。

EBCCD 由于理想的增益机构以及极好的 MTF 特性, 已能圆满解决  $1 \times 10^{-5}$  lx 以下的微光成像问题。无论是高光照或低光照条件下, EBCCD 的性能已全面超过 ICCD。看来, 在解决极低微光问题时, 近贴 EBCCD 由于结构尺寸变小, 重量更轻, 在军事上应用较优于倒像式 EBCCD。

从发展上来说, 若能提高光阴极与 CCD 之间的电压 (倒像式的可能性更大, 且可实现变倍), 减小背照明 CCD 的厚度, 则 EBCCD 的 MTF 性能便能进一步提高。

电子轰击 CCD 像敏器的性能已达到理论预期的极限值。这类成像系统在大多数应用中将取代通常的 ICCD 成像系统是毋庸置疑的。

国外经过近二十年的探索, EBCCD 的技术已趋成熟, EBCCD 的关键工艺如减薄与背面处理的技术途径与工艺路线已比较清楚, EBCCD 在军用和民用上的应用前景良好。我国已具备研究 EBCCD 的技术条件, 对其研究与开发应提上日程。

#### 参考文献

[1] Williams M Jr, Reinheimer A L, Johnson C B, et al. Back-illuminated and electronbombarbed CCD low

light level imaging system performance [A]. Proc. SPIE [C], 1995, 2551: 208~223

[2] Dalinenko I N, Kossov V G, Lazovsky L Y, et al. Design and fabrication technology of thinned backside excited CCD imagers and the family of the intensified electron-bombarded CCD image tubes [A]. Proc. SPIE [C], 1995, 2551: 197~205

[3] Dunham M E, Donaghue D W, Schempp W V, et al. Performance factors for intensified CCD system [A]. Proc. SPIE [C], 1992, 1655: 66~73

[4] Cianfarani C. A high resolution detector based on liquid-core scintillating fibers with readout via an EBCCD [J]. Nucl. Instrum. and Methods, 1994, A339: 449~455

[5] Bryukhnevitch G I. Picosecond image converter tubes incorporated with EBCCD readout [A]. Proc. SPIE [C], 1992, 1655: 94~105

[6] Richard J C, Vittot M. Recent developments and applications on electron-bombarded CCDs in image intensifier tubes [J]. Nucl. Instrum. and Methods, 1992, A315: 368~374

[7] Enloe W, Sheldon R, Reed L, et al. An electron-bombarded CCD image intensifier with a GaAs photocathode[A]. Proc. SPIE[C], 1992, 1655:41~49

## High Sensitive Electron-Bombarded CCD for Low Light Level Imaging

Zhou Liwei, Liu Guangrong, Gao Zhiyun, Wang Zhongchun

(Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

[Abstract] The present paper reviews the recent developments of electron-bombarded charge coupled devices (EBCCD) for low-light-level imaging. The EBCCD eliminates the complicated image transfer chain associated with conventional image intensifier fibre-coupled CCD (ICCD) by integrating a thinned back-illuminated CCD directly into the vacuum of the image tube in replacement of the phosphor screen. The photoelectrons emitted from the photocathode are "proximity focusing" or "sharp focusing" directly onto the electron sensitive CCD, and the video-signal occurs. It has been shown that the EBCCD image tubes offer nearly noiseless gain, high signal to noise ratio and excellent MTF and, for this reason, are superior to conventional ICCD approaches under all light level conditions. This paper will give a detailed description on the thinned back-illuminated CCD imager design and fabrication, such as CCD chip thinning and thinned CCD backside treatment, as well as the technical parameters of different kinds of inverter type EBCCD. The performance of the proximity type EBCCD, the inverter type EBCCD and ICCD will also be compared and analyzed. Finally, the present paper shows that these new, high performance devices of EBCCD are in an advantageous position for many applications in low-light-level surveillance imaging, high energy physics and medical diagnostics.

[Key words] low-light-level imaging; charge-coupled-devices; electron-bombarded