

大电流密度光阴极的进展*

谈凯声

(中国科学院电子学研究所, 北京)

摘要 长期以来, 光阴极主要应用于辐射探测及微光成像。几乎所有应用于上述目的的光阴极都被设计为低电流密度工作状态 ($< 1\mu\text{A}/\text{cm}^2$)。这类光阴极在强光照射下, 很快地出现“疲劳”现象。七十年代出现的大电流密度光阴极能在脉冲的或持续的强激光照射下产生大电流密度光电发射。本文着重报道这一时期大电流密度光阴极的进展, 介绍它们的实际应用, 并对几种大电流密度光阴极进行对比和评价。

关键词 大电流密度光电发射; 激光; 稳定性; 高能物理

一、引言

自1887年赫兹(Hertz)发现光电效应以来, 光阴极的研究工作已经取得巨大进展。具体表现至少有如下几个方面: (1) 光阴极的波长响应范围大为拓宽。短波方向已延伸到X射线波段; 长波方向则已扩展到红外波段。整个光谱覆盖范围在 $1\text{\AA} - 21,000\text{\AA}$ 之间^[1]。(2) 光阴极的量子效率有极大提高。例如 Sb-Na-K-Cs 透射式光阴极的积分灵敏度已达到 $705\mu\text{A}/\text{lm}$ ^[2]; 负电子亲和势 III-V 族半导体化合物 GaAs(Cs, O₂) 反射式光阴极的积分灵敏度已达到 $3200\mu\text{A}/\text{lm}$ ^[3], 而 GaAs(Cs, O₂) 透射式光阴极的积分灵敏度也达到 $2060\mu\text{A}/\text{lm}$ ^[4]。(3) 六十年代中期出现的负电子亲和势半导体化合物光阴极有一些显著的特点: 它的光电子逸出深度比一般光阴极大; 量子效率高而且在整个响应范围内几乎是常数。此外, 它还有暗发射小, 光电子能量分布及角分布集中等优点。(4) 正电子亲和势光阴极的光谱范围都是实验的结果。陶兆民^[5-9]提出了预先选择设计某些负电子亲和势 III-V 族半导体化合物光阴极的光谱响应范围的设想。这种设想的实现, 将对光阴极的研究和发展产生深远影响。(5) 针对某些特殊的用途, 派生出一些性能独特的光阴极。如应用于生物医学的单光子探测器的低噪声光阴极; 应用于深井勘探的高温光阴极以及时间分辨率为皮秒的高速摄影系统应用的快速光阴极等等。

尽管光阴极有着多种多样的用途, 但是, 在过去的所有应用中, 光阴极的光电发射电流密度都被设计在 $1\mu\text{A}/\text{lm}$ 以下^[10]。当光阴极受到较强的光线照射时, 它的光电灵敏度迅速衰减, 出现了“疲劳”现象。

早在1961年 Miyake 就曾发表强光照对 Sb-Cs 光阴极灵敏度影响的研究报告。但是, 大电流密度光阴极直到最近十几年才取得有意义的进展。本文着重报道光阴极的这

* 1987年8月18日收到, 1987年11月24日修改定稿。

一新进展,介绍大电流密度光阴极的获得,它的实际应用,并对几种大电流密度光阴极进行对比和评价。

二、影响大电流密度光阴极寿命的因素

Miyake^[11] 在分析研究了一系列 Cs₃Sb 光阴极在强光源照射下迅速出现光电灵敏度下降现象之后,得出下述结论:(1)在红光的热效应作用下,光阴极温度升高,促使阴极表面上的 Sb 和 Cs 热分解,导致光阴极的光电发射能力下降。(2)在兰绿光区,活性表面上的 Cs 和 Sb 的脱附作用,破坏了表面结构的平衡状态。(3)阳极工作电压超过管内残余气体的电离电位,管内气体电离。正离子在电场作用下轰击阴极表面,产生溅散的阴极表面丧失光电发射能力。

Miyake 为了防止光阴极在工作中升温的现象,他采取了冷却措施,同时降低阳极工作电压,获得了 90 μA/lm 的光电发射电流密度,并在此电流密度下稳定地工作了几个小时。

其后 Danielson 等人^[12]用白光或单色光(激光)照射处在超高真空系统中的 Cs₃Sb 光阴极,并利用俄歇光电子能谱仪对光阴极表面进行原位分析。结果表明:

(1)光阴极的寿命与其环境真空度有密切的关系。图 1 表示在不同真空度下的 Cs₃Sb 光阴极的寿命。当光阴极工作在 3×10^{-10} mm Hg 真空度下时,连续工作 160h 以后,光电流约下降 30%。而在 1.5×10^{-8} mmHg 及 1.3×10^{-7} mmHg 真空度下工作的两个光阴极,光电流同样下降 30% 的工作时间分别只有 60h 和 15h。因此,为了保证光阴极的工作稳定性,真空度必须优于 10^{-8} mmHg。俄歇光电子能谱仪的原位分析表明,氧是超高真空系统中影响 Cs₃Sb 光阴极性能的最主要的残余气体。光阴极吸附少量的氧有助于提高量子效率,而过量的氧则会导致量子效率下降。图 2 表示 O₂ 和 Sb 的俄歇分析的峰-峰值的比率和光电流变化率与时间的关系。(I/I₀)_{白光} 和 (I/I₀)_{红光} 分别代表光阴极的白光光电流变化率和红光光电流变化率。随着 O/Sb 比率变化,(I/I₀)_{白光} 和 (I/I₀)_{红光} 各有一个峰值。当氧过量时,(I/I₀)_{白光} 和 (I/I₀)_{红光} 小于 1,光电发射恶化。

(2)光阴极的温度对阴极寿命有严重影响。图 3 表示光阴极温度与光阴极寿命之间的关系。实验还表明,凡是因温度过高而丧失发射能力的光阴极,都不能用重新引铯的

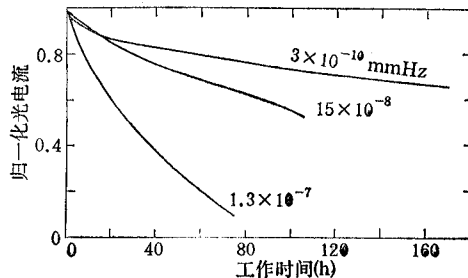


图 1 Cs₃Sb 光阴极在不同真空度下的工作寿命(阳极工作电压 500 V, 温度 40°C)

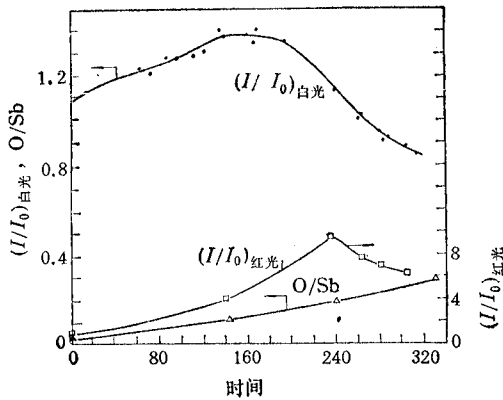


图2 光电流变化率, O/Sb 俄歇比率与时间的关系(真空度为 8×10^{-10} mmHg)

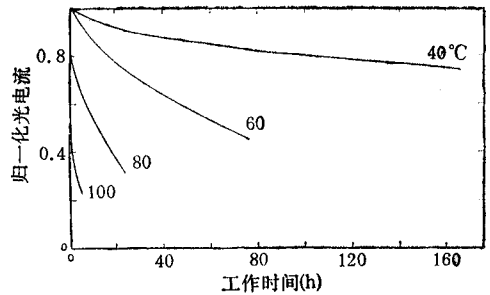


图3 光阴极温度不同时, Cs_3Sb 光阴极的寿命(阴极工作电压 10V, 光阴极温度为 40, 60, 80 和 100°C 时对应的压强分别为 $1.6, 2.0, 2.6$ 和 2.6×10^{-10} mmHg)

方法把光阴极的发射能力恢复到原有水平。这是因为在高温作用下, 伴随着 Cs 的脱附, Cs_3Sb 的晶格排列也发生了难以复原的变化。

(3) 阳极电压对光阴极的寿命没有明显的作用。Danielson 的这个结论与 Miyake 的不同。其原因可能是两者试验时的真空度不相同。

因此, 可以得出下述结论: 提高真空度有助于延长光阴极的工作寿命; 采取防止光阴极在工作过程中升温的措施, 有利于改善大电流密度光阴极的工作稳定性。所以选用导热性能良好的衬底材料和合适的人射光源波长是必要的。但是, 光阴极表面上的活性材料的脱附却是影响大电流密度光阴极工作稳定性的内在因素。它和光阴极衬底材料及活性材料的性质有密切的关系。

三、几种大电流密度光阴极

1. 铯-碱光阴极

表 1^[12] 表示光电管中的铯-碱光阴极和工作在超高真空系统中的铯-碱光阴极在激光照射下产生的光电流、电流密度和光阴极工作稳定性。这些光阴极在持续工作的 He-Ne 激光或 Ar 离子激光照射下能够产生 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 到 $1\text{A}/\text{cm}^2$ 的光电发射电流密度。稳定性最好的 Cs_3Sb 光阴极连续工作 20h 之后, 光电发射下降 10%。但是值得注意的是表 1 的最后一行。光电管中的多碱光阴极在功率为 $3 \times 10^5 \text{mW}$ 的红宝石激光脉冲照射下, 发射了 $30\text{A}/\text{cm}^2$ 的电流密度。这说明光阴极在激光脉冲照射下, 有良好的发射性能。

Lee^[13] 考虑到真空系统中残余气体对光阴极的不良影响和光阴极受热分解作用, 采取了一些改进措施。首先, 把真空度提高到 $5 \times 10^{-10} \text{mmHg}$ 以上。其次, 选用导热性能良好的蓝宝石作为阴极衬底材料, 并把激活完毕的光阴极按装在冷却水套上, 使其温度保持在 6°C 左右。在 0.5mW He-Ne 激光照射下, 这种 Cs_3Sb 光阴极的电流密度大于 $3\text{A}/\text{cm}^2$; 工

表 1 激光照射下的光阴极的电子流、电流密度和稳定度

光阴极类型	电子流 (mA)	电流密度 (mA/cm ²)	激 光			稳 定 度
			类 型	波长 (nm)	功率 (mW)	
多碱光阴极 (光电管)	0.012	37	He-Ne (持续工作)	632.8	0.5	稳定 10h
Cs ₃ Sb 光阴极 (原位测量)	0.40	13	Ar 离子 (持续工作)	457.9	150	工作 20h, 下 降 13%
Cs ₃ Sb 光阴极 (光电管)	1.67	54	Ar 离子 (持续工作)	457.9	150	工作 20h, 下 降 10%
多碱光阴极 (光电管)	100	3×10 ⁴	红 宝 石 (脉冲工作)	694.7	3×10 ³	

作 70h 之后, 下降 15%。当光阴极的发射降到一定程度, 重新引 Cs 可以使光电发射恢复到原来水平。Lee 等人^[14]还报道了一种实用的大电流密度 Cs₃Sb 光阴极, 在 2.5mW 氙离子激光束照射下, 电流密度为 2.9A/cm²; 在不加冷却装置的情况下, 工作寿命超过 50h。

不久, Lee 等人^[16]又尝试用 50ns 倍频钕玻璃激光作为光源照射 Cs₃Sb 光阴极, 得到 200A/cm² 以上的电流密度。这是迄今已报道的电流密度最大的铯-碱光阴极。实验是在 10⁻³mmHg 真空室中进行的。光阴极在真空室中原位制作。它的衬底材料是表面涂敷一层镍的铜。在阴极激活前, 衬底加热 450°C。接着从一个电阻加热的 Sb 珠蒸一层 Sb 膜到衬底表面上。Sb 膜厚度通过测量相邻的玻璃片的 He-Ne 激光的光学透过率来监控。然后, 把衬底温度维持在 130°C, 加热铯源, 把 Cs 蒸发到 Sb 表面上去。用低照度白光照射阴极表面, 同时, 监测光阴极的光电发射电流, 直到达到最佳光电灵敏度为止。此时关掉 Cs 源, 把光阴极温度降到室温, 制作结束。Cs₃Sb 光阴极可以重新激活, 反复使用, 所以有其实用价值。但是迄今已报道的大电流密度铯-碱光阴极的寿命都是比较短的。表面上的活性材料 Cs 的脱附是限制铯-碱光阴极工作寿命的主要原因。众所周知, Sb-Na-K 光阴极在 150°C 高温下仍能正常工作, 并已应用在深井探测用的光电倍增管中^[16]。可见 Sb-Na-K 光阴极有良好的耐热性能。因此, 如果以 Sb-Na-K 光阴极代替 Cs₃Sb 光阴极作为大电流密度电子源, 它的热稳定性将会有大的改善。

2. 负电子亲和势 III-V 族半导体化合物光阴极

Garwin 和 Pierce 等人^[17]最早建议把负电子亲和势 III-V 族半导体化合物 GaAs(Cs, O₂) 光阴极用作自旋极化电子源。最初的工作电流密度只有 10mA/cm²。Sinclair 等人^[18]应用 GaAs(Cs, O₂) 光阴极作为研究高能物理的极化电子枪的电子源, 在倍频钕-钷铝石榴石激光器发出的 50kW 脉冲激光束作用下, GaAs(Cs, O₂) 光阴极的电流密度达到 180 A/cm²。但是, 即使采用液氮冷却措施, 光阴极最长的寿命也只有 64h。Garwin 等人^[19]在分析他们研制的 GaAs(Cs, O₂) 光阴极的几种失败模型时指出, GaAs(Cs, O₂) 表面上的 Cs 和 O₂ 在工作过程中的脱附是光阴极难以长期稳定工作的根本原因。这和 Miyake, Danielson 等人的分析结果是一致的。因此, 获得一个长寿命、高稳定度的光阴极的最本质的条件是在表面维持一个稳定的活性层。如果能选用某种活性材料, 它既能降低表面势垒, 形成负电子亲和势, 又能在衬底表面形成一层热稳定性能良好的活性表面层, 就能获得一个稳定性好, 寿命长的负电子亲和势光阴极。作者受 Evans 等人^[20]和 Garbe^[21]

工作的启发,曾试用F代替 O_2 来激活GaAs衬底,得到了较满意的结果。GaAs(Cs,F)光阴极的寿命长达8500h^[22]。这种光阴极不仅有良好的稳定性,而且对 CH_4 、CO等有害气体的抗污染能力也比GaAs(Cs, O_2)光阴极好,因此能够在较为苛刻的环境中工作。GaAs(Cs,F)光阴极的表面状态目前还不清楚。但是根据门捷列夫周期表知道,氟是一种电负性最强的元素,铯是电正性最强的元素。由此可以推断:由氟铯构成的活性面要比氧铯的稳定。

目前Sinclair^[23]已把这种光阴极实际应用于美国斯坦福大学直线加速器中心制造的论证性激光管(lasertron)中。这个激光管的微波输出功率为35MW,效率高于70%。GaAs(Cs,F)光阴极的面积为7cm²,量子效率为3.5%,峰值阴极电流为750A。阴极工作寿命长于10⁴h。这表明GaAs(Cs,F)光阴极已成为一种实用的光阴极。

3. 金属光阴极

随着脉冲准分子激光的进展,出现了上升时间等于或小于10ns,光子密度等于10²³光子/cm²的非聚焦光子流。如KrF准分子激光(248nm, 5eV)和ArF准分子激光(193nm, 6.4eV)。它们的单位光子能量和某几种纯金属(如Cu和Al)的逸出功相当,甚至比这些纯金属的逸出功还要高。因此,即使纯金属光阴极的量子效率在10⁻⁴—10⁻⁵量级,仍能产生大电流密度的光电发射。

Kawamura^[24]等人在作相对论性光电子试验时,曾用Al, Cu, Zn, Na, Cu-Be和SUS-304#不锈钢等金属材料作为光阴极。在KrF激光束照射下,这几种金属光阴极的量子效率、电流密度与功率密度之间的量子关系示于图4。除了SUS-304#不锈钢的量子效率特别低之外,其它金属材料的量子效率都在 $\eta = 10^{-4}$ 数量级。实验结果表明,当光子加速能量为0.41MV时,用持续时间为20ns的KrF准分子激光脉冲照射Al光阴极,可以产生电流密度为0.5A/cm²的光电发射。除了Na需在真空系统中切开,以防切面氧化外。其它金属材料只要在大气中抛光,去除表面上的氧化层,就可以使用。

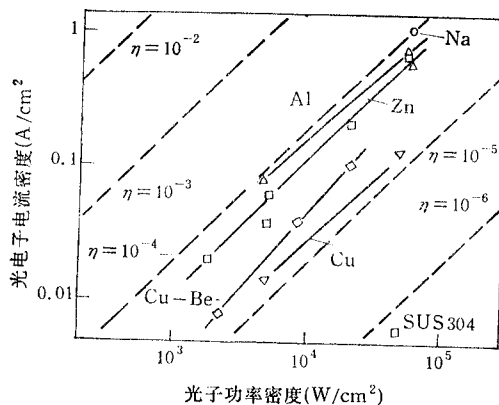


图4 几种金属光阴极的量子效率

Downey^[25]等人研究了两种不同功率的ArF准分子激光照射下的Cu光阴极的光电发射情况。在大功率激光照射下,Cu光阴极处于空间电荷限制的工作状态。而在小功

率激光照射下,光阴极处在光电发射限制的工作状态。在大功率激光脉冲(脉冲宽度为15—30ns,强度为40mJ/cm²以上)照射下,Cu光阴极的最大电流密度达到70A/cm²。光电流脉冲的上升时间为3ns。

金属光阴极具有:光电子能量展宽较小,大约等于或小于金属本身的逸出功;所用材料不需要进行特殊处理;对真空度要求不高,通常在10⁻⁶mmHg量级的真空度下就能正常工作;除此之外,还有工作稳定、寿命长、光电发射重复性好;即使在大气中暴露较长时间,它的量子效率也没有明显变化等优点。这些优点是其它光阴极无法比拟的。

表2列出了铯-碱光阴极、负电子亲和势GaAs光阴极和金属光阴极的一些主要特性。铯-碱光阴极和负电子亲和势GaAs光阴极都有较高的量子效率和较大的电流密度。目前铯-碱光阴极尚不是一种长期耐用的大电流密度电子源,但是这种光阴极在发射能力下降到一定程度之后,可以通过重新引铯的办法,把阴极的发射能力恢复到接近原有的水平。因此,铯-铯光阴极仍有实用价值。GaAs(Cs,F)光阴极有良好的稳定性能,已正式应用于大功率论证性激光管样管中。但是制作这种光阴极要求的真空度必须优于10⁻¹⁰mmHg,而且工艺复杂,条件苛刻,所以成本较高。虽然金属光阴极的量子效率较低,电流密度也不如铯-碱光阴极和GaAs光阴极那么大。可是,这种光阴极有工作稳定,耐大气污染,光电发射重复性良好和成本低廉等优点。

表2 大电流密度铯-碱光阴极、负电子亲和势GaAs光阴极和金属光阴极的一些特性

光阴极类别	最大电流密度 (A/cm ²)	量子效率 (η)	真空数 (mmHg)	激 光		稳 定 度 (h)	参考文献
				类别	波长 (nm)		
铯-碱	>200	4%	>10 ⁻⁹	He-Ne	632.8	数十小时	[15]
负电子亲和势 GaAs(Cs,F)	>180	3.5%	>10 ⁻¹⁰	He-Ne	632.8	>10 ⁴	[17]
				倍频铷-钪 铝石榴石	530		[22]
金属(Cu)	70	0.01%	10 ⁻⁶	KrF	249	佳	[24]
				ArF	193		

四、大电流密度光阴极的应用

与热阴极和场致发射体相比,大电流密度光阴极电子源有下列优点:

(1) 大电流密度光阴极在室温下工作。热阴极需用热子加热,要考虑热子附件热传导因素对发射的影响。场致发射体则需要加高场强以保证场致发射。

(2) 调制光阴极光电发射电流密度大小的光学照明装置位于真空系统外面。调制电流密度比较方便。光阴极发射的时间特性完全由入射光的时间特性来决定。如在脉冲工作状态,电流脉冲的持续时间由入射激光的脉冲宽度决定^[23],而热阴极和场致发射体的电流时间特性是由所加的调制电压来控制。制造一个前沿陡、持续时间短的高压脉冲发生器是比较困难的。而光阴极对电源没有苛刻的要求。

(3) 入射的激光光源不仅能够调制光阴极的时间特性,而且还可以调制它的空间特性。控制投射到光阴极上去的激光束的形状,就能得到所需的电子束截面的形状^[14]。光阴极的这个特性可以大大地简化器件的构造,如激光管的构造比普通的速调管简单得

多^[13]。光阴极的这一特性还被应用到电子刻蚀等技术中^[13]。

(4) 这几种光阴极的光电子能量展宽都比较小。Lee^[26]通过实验证明, Cs₃Sb 光阴极的能量展宽跟入射光子能量有关。当光子能量等于 1.56eV 时, 能量展宽接近于零。此外, 还发现当电流密度大于 10 μ A/cm² 时, 光电子能量展宽大为减小。因此, 选择入射光的波长可以控制电子束的能量展宽。这是其它电子源所没有的优点。

大电流密度光阴极仍处在发展阶段。它的实用仍受到某些因素的限制。例如: 残余气体对铯-碱光阴极和 GaAs 光阴极的破坏作用远比对热阴极, 场致发射体大。因此, 对于这两种光阴极超高真空是必不可少的; 激活阴极用的各种碱金属会导致高压放电, 给器件使用造成困难; 高功率激光器本身是一个复杂的系统, 它的成本要比热子高得多; 此外, 光阴极的照明要求也给器件的结构造成某些复杂性。因此在选用光阴极作为大电流密度电子源时, 需权衡各种因素。

目前, 大电流密度光阴极主要应用于与高能物理加速器有关的场合, 如自由电子激光, 激光管, 相对论性电子源, 自旋极化电子源等。在电子束刻蚀技术和无损电子显微镜等方面也得到了应用。表 3 列出了几种主要用途。

表 3 大电流密度光阴极的应用

应用	光阴极	电流密度 (A/cm ²)	激光		工作状态	参考文献
			类型	波长 (nm)		
自由电子激光	Cs ₃ Sb	>200	Nd 玻璃	532	脉冲	[15]
激光管	GaAs(Cs,F)	>100	Nd-YAG	532	脉冲	[22]
	GaAs 或 GaPAs	25	YAG	532	脉冲	[27]
	铯-双碱		YAG	532	脉冲	[28]
	铯-多碱	75			脉冲	[29]
	相对论性光电子源	Al	0.5	KrF	248	脉冲
	Cu	70	ArF	193	脉冲	[24]
自旋极化电子源	GaAs(Cs,O ₂)	180	Nd-YAG	532	持续	[17]
电子束刻蚀和无损电子显微镜	Cs ₃ Sb	3	He-Ne Ar 离子	632.8 457.9	持续	[13]

五、结 束 语

大电流密度光阴极的出现, 突破了以往光阴极仅仅设计在低电流密度状态, 应用于辐射探测和微光成象的局面。由于大电流密度光阴极有着热阴极和场致发射体无法相比的优点——大电流密度的光电发射的时间和空间响应受光学调制的特性, 正日益受到重视, 并已在高能物理各种粒子对撞机和加速器等研究领域内得到实际应用。

参 考 文 献

- [1] P. E. Gregory, et al., *Appl. Phys. Lett.*, **36**(1980), 639.
- [2] P. Dolizy, et al., *Acta Electronica*, **20**(1977), 265.
- [3] Л. И. Антонова, *Письма в ЖТФ*, **11** (1985), 602.
- [4] H. K. Pollehn, Performance and Reliability of Third-Generation Image Intensifier, *Advances in Electronics and Electron Physics*, Vol. 64A, 1985, Edited by B. C. Morgan, Academic Press, London.
- [5] 陶兆民, 电子学通讯, **3**(1981)2, 132.
- [6] 陶兆民, 电子学通讯, **4**(1982)4, 309.
- [7] 陶兆民, 夜视技术文集, 1982年, 第1期, 第123—125页
- [8] 陶兆民, 电子科学学刊, **5**(1983)4, 320
- [9] Tao Zhaomin (陶兆民), A New-Infrared Photocathode, *Advances in Electronics and Electron Physics*, Vol 64B, 1985, p.411, Edited by B. L. Morgan, Academic Press, London.
- [10] A. H. Sommer, *Photoemissive Materials*, New York, Wiley, 1968, p.78.
- [11] K. Miyake, *Rev. Sci. Instrum.*, **32** (1961), 929.
- [12] L. R. Danielson, et al., *Appl. Surf. Sci.*, **16**(1983), 257.
- [13] C. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, **44**(1984), 565.
- [14] C. Lee, et al., *Rev. Sci. Instrum.*, **56**(1985), 560.
- [15] C. Lee, et al., *IEEE Trans. on NS*, **NS-32** (1985), 3045.
- [16] T. Hayashi, *Nucl. Instrum & Meth. in Phys. Res.*, **225** (1984), 538.
- [17] F. Garwin, D. T. Pierce, et al., *Helv. Phys. Acta*, **47**(1974), 343.
- [18] C. K. Sinclair, et al., *IEEE Trans. on NS*, **NS-28**(1981), 2649.
- [19] E. L. Garwin, SLAC-PUB-2715, March, 1981(A).
- [20] B. E. Evans, et al., *Surface Sci.*, **11**(1968), 1.
- [21] S. Garbe, *Phys. Stat. Sol.*, (A) **2** (1970), 497.
- [22] 谈凯声, 电子科学学刊, **9**(1987), 161.
- [23] C. K. Sinclair, SLAC-PUB-4111, Oct., 1986 (A).
- [24] Y. Kawamura, et al., *Appl. Phys. Lett.*, **45**(1984), 307.
- [25] S. W. Downey, et al., *Appl. Phys. Lett.*, **49**(1986), 911.
- [26] C. Lee, *J. Appl. Phys.*, **54**(1983), 4578.
- [27] Y. Fukushima, et al., *IEEE Trans. on NS*, **NS-32**(1985), 2831.
- [28] Y. Fukushima, et al., *Nucl. Instrum & Meth. in Phys. Res.*, **A238**(1985), 215.
- [29] M. Yohioka, et al., Laser Triggered RF-Source for Linacs in TeV region, Proceedings of the 1984 Linear Accelerator Conference, Seeheim/Darmstadt, West Germany, p. 469.

ADVANCES IN HIGH-CURRENT-DENSITY PHOTOCATHODES

Tan Kaisheng

(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing)

Abstract For a long time past, photocathodes have been used in radiation detectors and image tubes for the detection of low light level. Almost all photocathodes for above purposes have been designed to be low-current-density status ($<1\mu\text{A}/\text{lm}$) and rapidly fatigued by high illumination. In 70s, photocathodes, emerged as a means of generating high-current-density photoemission under the continuous or pulsed laser beam illuminations. This paper emphatically reports the advances in high-current-density photocathodes in this period and describes its applications. Finally, the evaluations and comparison are given.

Key words High-current-density photoemission; Laser; Stability; High-energy physics