

光电二极管前置放大器组件

黄有志 刘定宣

(重庆光电技术研究所)

摘要——经过有关光电探测器资料分析指出,研制各种光电探测器-前置放大器组件是当前主要发展方向之一。文章在介绍各种组件型号,性能之后,重点阐述了光电二极管-前置放大器组件的设计及典型实用线路。

一、引言

半导体光电二极管是高速、低噪声及高响应度的光电探测器。国内外已对各种光探测器进行了广泛的研究和生产。硅、锗探测器的NEP值($W/Hz^{1/2}$)均在 10^{-14} — 10^{-15} 的数量级,接近理论值。要进一步提高器件的性能,靠它本身潜力不大。对于Ⅲ—V族化合物探测器,相对于雪崩光电二极管(APD)而言,PIN管制作工艺简单,已有产品出售。而APD则工艺难度较大,且一般增益仅在10—30之间。迄今为止,还处于基础研制阶段。鉴于此,多数学者认为,用PIN管与场效应晶体管(FET)的组件来取代APD,无论在经济上,还是在使用上都比较有利。特别对长波长光的探测,其优越性更为突出。

关于PIN-FET组件与APD相比较的优缺点,国内外已广泛进行了理论分析及实验比较,其结论基本一致。就目前光探测器的研制水平而言,在 $0.9\mu m$ 波段,Si-PIN-FET组件的性能与一个APD相当。而Si-RAPD-FET组件的性能则比单个RAPD优越。在 1.1 — $1.7\mu m$ 波段,Ge(或Ⅲ—V族)PIN-FET组件则比APD更好。

尽管大容量,长距离光纤通讯的发展已移向长波长方面,但在中短距离领域,短波

长方面的应用技术已经成熟。因此,研制两种光电二极管前置放大器集成化的组件,是当前光探测技术的主要发展方向之一。集成化的组件一般体积小,造价低,稳定性及可靠性高,整机设计及一般使用均比较灵活方便。

二、光源、探测器及放大器

众所周知,各种激光仪器均要求体积小、重量轻,稳定性、可靠性高及造价低。因此,在整机设计时,对光源,探测器及放大器三者必须进行最佳方案选择。一般说来,增大光源发射功率,会增加整机重量和造价,同时还由于散热、寿命等原因致使光源制作变得更加困难。最经济的办法是提高仪器接收系统的灵敏度并将信号进行放大,即选用适当的探测器与高性能放大器相匹配。

由于任何激光光源均发出谱线较窄的光波,而光探测器的光谱响应范围一般则比较宽,峰值响应视器件种类而异,因而就出现了光源与探测器种类的选配问题,表1给出了各种光源与可选用探测器之间的对应关系。

应该特别指出,到目前为止,对 0.8 — $1.6\mu m$ 波段光的探测,仍大量采用Si、Ge探测器。近两年国外对室温下工作的HgCdTe

表 1

光源与探测器

光源	波 长	探 测 器
GaAlAs	0.85 μm	Si-PIN, Si-APD, Si-RAPD
InGaAs, YAG	1.06 μm	Si-PIN, Si-(R)APD, GaAsSb
InGaAsP	1.3—1.5 μm	Ge-PIN, InGaAsP, InGaAs, InGaAsSb
CO ₂	10.6 μm	HgCdTe, 各种光牵引管

探测器制作技术已经突破,并作出了实用器件。估计将大大促进CO₂激光应用技术的发展。

探测器与放大器的配合,一般有两种形式:1)光电二极管与用场效应管作输入级的放大器组件相配合(称光电放大器组件);2)光电二极管前置放大器组件。前者是将前放与主放集成在一起与特别型号的

探测器配套使用。后者是将探测器与前放集成一个组件。目前国外光电放大器组作品种较多,频率特性及封装形式等均有较大的差异,其典型代表如表2与表3所列。

光电二极管前置放大器组件分为宽带和窄带两种。一种带宽与增益为固定式,另一种为带宽增益可调式,其典型组件特性如表4所列。

表 2 光电放大器组件型号及制造工厂

制造厂	器件型号	制造厂	器件型号
ANALOG DEVICES	AD503, AD515, AD523	RCA	CA3130, CA3140
BURR BROWN	3521, 3522, 3523, 3551J 3508J, BB3400A	东芝	TA 7505 M
NATIONAL SEMICONDUCTORS	LH0022, LH0052, LF156 LF256, LF356, LF13741	东京无线器材	LX706, LX7031, LX7032
INTERIL	8007, 8043, ICH8500	日本电气	UPC252A

表 3 光电放大器组件的频率特性及封装形式

型 号	增益×带宽	封装	型 号	带 宽	封装
3508J	100MC	To-99	HA-100	DC—200KC	To-5
BB3400A	100MC	特殊	PIL-5C	DC—3MC	
OPA605HG	200MC	双列	PIN-5DI	DC—5.4MC	
3554AM	1700MC	To-3	CM733CH	DC—200MC	双列

上述表2—4中所列各种放大器组件,均采用FET作输入级时,由于FET的1/f噪声等

原因,一般低频组件输入级采用Si-MOS-FET,而高频组件则用GaAs-MES-FET。

型 号	灵 敏 度	频 率 特 性	封 装
AH 0013		100 (增益×带宽)	双 列
Q-DF-100P	-42db	100Mb/S	双 列
MFOD404F	30mv/μw	10MC	方盒式
bell-53	-54db	45Mb/S	
BPW28	输出39db		双 列
C30816	10mv/μw	DC-10MC	To-5
C30818	300mv/μw	DC-40MC	To-8

三、光电二极管前置放大器组件的设计

1. 组件设计的一般要求

一般激光仪器的接收系统,除几何光路外(或光纤)接收线路由探测器,前置放大器及主放大器三部份组成,如图1所示。在实际应用中,由于光信号往往非常微弱,要把信号放大到足够大,就需要多级放大。怎样选择适当的元件及连接方式进行放大是组件线路设计者应充分考虑的问题。对于一般通用宽带前置放大器组件,应考虑下述几点:

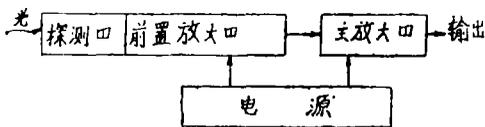


图1 接收线路原理图

(1) 在规定的频率范围内,线路应保证信号无失真地进行初步放大,并由前级顺利地送到末级,输出应有一定信噪比及信号幅值。

(2) 光电二极管与前置放大以及前放与主放大器之间在频率,输入及输出特性等方面应互相匹配。

(3) 各晶体管在较长时间工作中,应保证正常的工作点。在允许的温度变化范围

内,温漂应限制到最小。

(4) 整个组件应采用电容小、电阻值小及无电感的线路,从而减小组件薄膜的体积并使工艺简单化。

要达到上述目的,设计制作前置放大器组件就必须精选元器件及散热良好的基片,否则将会给用户增加不必要的麻烦。

目前光电二极管-前置放大器组件,少数采用全固体集成,一般均是混合集成,陶瓷基板,薄膜线路及特殊封装。

2. 光电二极管前置放大器组件的设计

(1) PIN光电二极管的设计

PIN 光电二极管,一般是在全耗尽条件下使用,它的噪声取决于器件的漏电流 I_D ,频响则决定于器件对矩形脉冲光输出幅值的前沿,一般 I_D 值很小,因而固有噪声可忽略不计。若规定响应输出波形的幅值由10%到90%的前沿为器件的上升时间 Tr ,则

$$Tr \approx \sqrt{T_{cc}^2 + T_{rc}^2 + T_{diff}^2} \dots \dots (1)$$

式中 T_{cc} 为收集时间, T_{diff} 为扩散时间, T_{rc} 器件决定于R-C的响应时间,在一般情况下

$$T_{rc} = 2.2 (R_S + R_L) (C_J + C_{MOS} + C_{PKG} + C_{ext}) \dots \dots (2)$$

式中 C_J 为器件的结电容, C_{MOS} 为金属电极与氧化层之间的电容, C_{PKG} 为封装电容(即管壳电容), C_{ext} 为外引线电容, R_L 为负载电阻, R_S 为串联电阻。如果电极金属与P⁺层(或n⁺层)系微合金,则接触良好, R_S 值

较小并且只与基片大小、厚度及材料有关。一般 R_L 值的选取，既要注意它对器件 T_r 值的影响，又要考虑它对组件输出，输入特性的影响。

对于Si-Pin光电二极管，在 $0.9\mu\text{m}$ 波长，其硅片厚度(d)只需 $\geq 70\mu\text{m}$ 就能吸收95%左右的信号光。实际上多数PIN管的耗尽区宽度 $D > 100\mu\text{m}$ ，故 $T_{diff} = 0$ 。这时(1)式可简化为

$$T_r \approx \sqrt{T_{cc}^2 + T_c^2} \dots\dots\dots (3)$$

若PIN管采用减小横向电阻的收集极，则 T_{cc} 的影响将会进一步减小。

(2) FET的设计

关于FET电参数的计算，早已有成熟的理论，在此不必多谈。一般FET的跨导及电容主要决定于栅级条纹的宽-长比，而漏电流 I_D 的大小，则取决于器件表面制作工艺水平。

由于FET具有输入阻抗高，跨导大及噪声低等优点，常用于各种小信号放大器线路中作输入级。如图2a、b所示。

在实际接收线路中，由于光信号很弱，而PIN管(或APD)的噪声又很小，则要求FET的电容 C 及漏电流 I_D 应尽可能的小，而跨导 g_m 则应尽量地大。前者影响组件的信-噪比及带宽，后者则影响组件的动态范围及响应度。实际计算时，取 C 、 I_D 及 g_m 之间的折衷值。目前国外选用的FET电参数特性如表5所示。

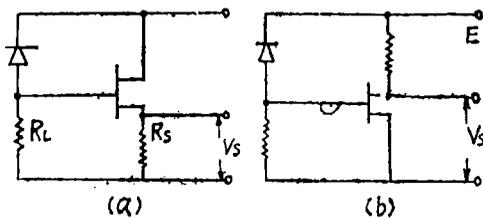


图2 一般放大器输入级线路

前置放大器组件，一般采用图2a的线路作输入级，即跟随器输入级。它的频率响应宽，输出阻抗低，便于与低噪声双结型晶体管放大级相匹配，可降低对FET电容 C 的要求。

表 5 国外组件用FET的电参数

名称	Si-MOS-FET	GaAs-MES-FET
C	$\leq 2\text{pf}$	$\leq 0.2\text{pf}$
I_D	$\leq 1\text{nA}$	$\leq 5\text{nA}$
g_m	≥ 15000	≥ 12000

若采用图2b的线路，则要求FET的 C 值更小。根据理论推导，跟随器的增益 A 总小于1，即

$$A = (g_m r_s) / (1 + g_m r_s) \dots\dots (4)$$

式中 g_m 为交流跨导， r_s 为源极电阻，其关系式为

$$r_s = r_{gs} + (1 + r_{gs} g_m) / Z_{out} \dots\dots (5)$$

表 6 r_s 与 A 之间的关系

$r_s (\Omega)$	A
4.5K	0.9
49.5K	0.99
498K	0.999
5M	0.9999

式中 r_{gs} 为栅-源电阻， Z_{out} 为输出阻抗。由(4)式可知，当 g_m 为定值时， r_s 增大， A 接近于1。如表6所示。实际上， r_s 的值不可能取得很大，否则将影响下一级晶体管的工作点及带宽。

(3) 前置放大器组件的设计

大多数组件设计采用反馈式线路，如图3所示。组件的增益及带宽改变，是利用改变线路中 R_f 及 C_f 的值来实现的。组件接收光信

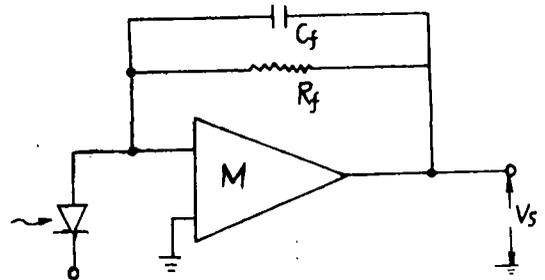


图3 放大器组件原理图

号后输出的信号幅度大小为

$$V_s = P_{in} R_e R_f \dots\dots\dots (6)$$

式中 P_{in} 为入射于光敏面内的光功率, \tilde{R}_e 为器件的交流响应度, R_f 与 C_f 为反馈电阻及电容。若组件的截止频率为 f_c , 则

$$f_c = 1 / (2\pi R_f C_f) \dots\dots\dots (7)$$

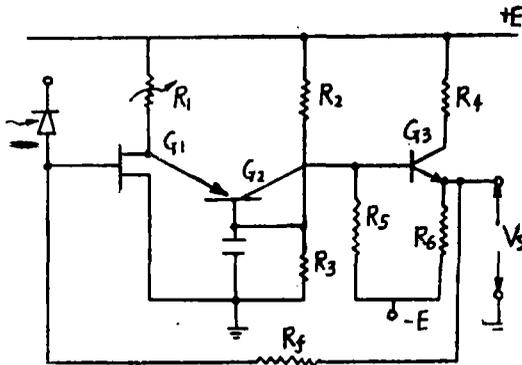
对通用型组件, 频率响应一般从 DC 开始, 则 $f_c = B$, 这时输出信号 V_s 的公式可改写为

$$V_s = \frac{P_{in} \tilde{R}_e}{2\pi B C_f} \dots\dots\dots (8)$$

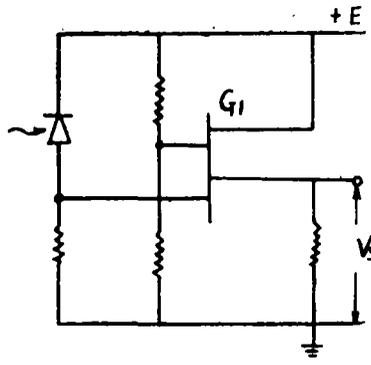
式中 B 为带宽。当输入信号与组件的噪声相等时, 即 $V_s = V_n$, 则噪声等效功率 NEP 为

$$NEP = 2\pi B C_f V_n / \tilde{R}_e \dots\dots\dots (9)$$

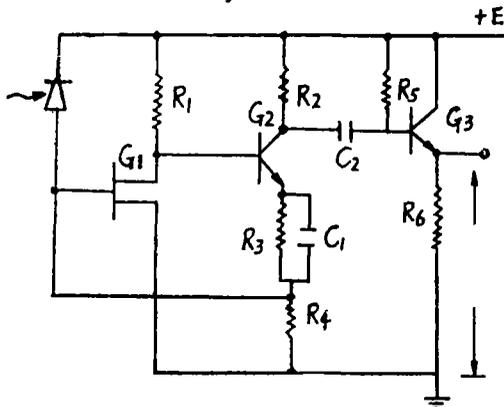
由 (9) 式可知, B 为常数及 C_f 很小时, 组件的 NEP 值取决于 V_n / \tilde{R}_e 。



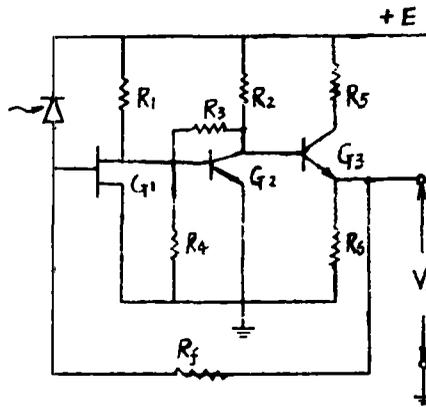
(A) $f = DC - 12 MC$



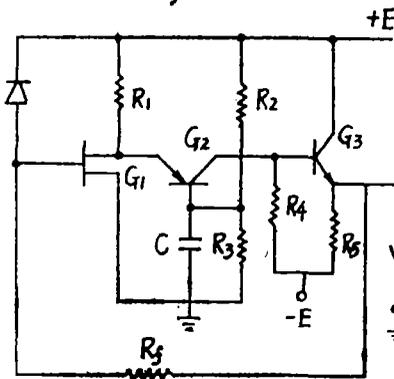
(B) $f = DC - 40 MC$



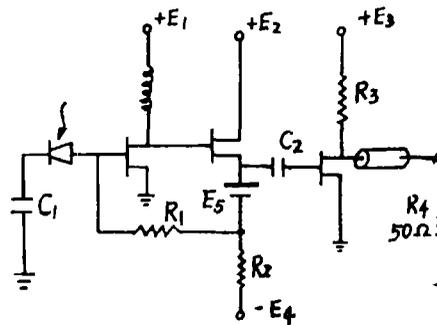
(C) $f = 0.1 - 100 MC$



(D) $f = DC - 200 MC$



(E) $f = DC - 274 MC$



(F) $f = 450 - 650 MC$

光 电 子 学 与 通 信

Nobru Ohyama

(Kokusai电信电话公司)

光电子学尚处于初期发展阶段,至多只有20年的历史,但其应用的发展非常迅速。光电子学在通信方面的应用尤为突出,可望进一步的发展将成为信息化社会的基础。因此,迫切需要将大量的、多种信息迅速而准确地收集、处理与交换。本期JEE开始介绍光电子学技术现状及其应用。

为满足先进通信服务的需要,必须制造多用网络。毫无疑问,可以由光电子学与电子学技术来满足这个需要。

我们在本文中首先介绍通信如何变化才能赶上信息化社会的发展,并概述光电子学技术的现状。

新方式的产生

最近几年,通信与信息处理技术的迅速进展及通信与信息技术的结合,产生了多种信息及通信的方法,下称为新方式。

请看图1,当你看到不久将来的发展前景、种类繁多的各种方式,你是否会感到惊奇的。

表1示出了人们较熟悉的形式中各种通信方式的发展情况,假如,报纸、杂志、邮件、无线电与电视广播以及直接两路通信。一些方式是以相互竞争、相互弥补或相互结合的关系。

考虑把电视电传(videotex)作为有代表性的新方式(在日本俗称为CAPTAIN,即字符与图形电话存取信息网络),这样可实现计算机、电话与广播(TV)技术的结合。

四、前置放大器组件典型

实用线路

根据有关资料,选择几种典型线路向读者介绍,如图4A-F所示。这些线路频响及增益各不相同,但一般输出阻抗低,可酌情选作实验。所给出的线路大多适用于PIN光电二极管,若改用APD时,偏置电源应采用专门的供给线路,增加低频滤波装置,以减小电源噪声的影响。

五、结束语

各种光电二极管与放大器相结合而成的组件,是当前探测器研制的热门。各种性能的组件国外已使用得比较广,特别是在光纤通讯系统中尤为突出多。一般说来,组件的光电性能比散件组装优越,而且可直接与现有的普通集成放大器配合,从而简化了整机设计,提高了整机的稳定性可靠性。光电二极管前置放大器组件对任何使用者都很方便。特别是其电源线路最简单使得APD无法相比。

(参考文献略)