

电子学报

增刊

电真空器件

(内部资料)

1965

中国电子学会編輯
科学出版社出版

电子学报 增刊

电真空器件

中国电子学会編輯

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业许可證出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行

*

1965 年 3 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

1965 年 3 月第一次印刷 印张: 3 3/4

印数: 0001—1,500 字数: 89,000

统一书号: 15031 · 186

本社书号: 3195 · 15—10

定价: [科七] 0.60 元

电 子 学 报

增 刊

电 真 空 器 件

目 录

微波电子管的新进展·····	吳鴻适 张克潛 黄国祥 徐承和 刘盛綱 (1)
电子注参量放大器綜論·····	楊祥林 (14)
电子束管进展·····	沈庆垓 吳祖塏 (35)
电气照明光源发展概况·····	梅开基 刘正忱 郑步京 (49)

微波电子管的新进展

吳鴻适 張克潛 黃國祥 徐承和 劉威綱

一、引言

微波电子管是用来产生、放大和变换微波(波长約在1米以下)能量的电真空器件。近二十年来,由于微波技术在国防和国民經济領域中的广泛应用,世界各工业先进国家在微波电子管的研究、試制和生产方面都投入了巨大的力量,以滿足国防和国民經济各个領域內的需要。据統計^[1],到1964年5月为止,仅仅各資本主义国家工厂已定型和即将定型生产的各种微波管(不包括天綫开关和微波三、四极管)已接近4000个型号,这些还不包括正在实验室研究或試制的許多品种。

从国防和国民經济的观点来看,微波技术主要应用在以下几个領域:雷达、导航与制导、通信、电子对抗、原子能、工业加热以及一些基本的科学研究中。这些应用对微波管提出了各种不同的性能要求,其中最主要的可以归納为:**大功率、高效率、高增益、寬頻带、高的頻率和相位稳定性、低噪声、小型化、短波长以及一致性、高可靠性和长寿命**等共九个方面。

下面将簡單說明提出这些性能要求的目的、微波管的这些性能的目前水平,以及进一步发展的趋势。

二、大功率

超远程雷达和超远程通信的发射部分以及粒子加速器和等离子体的控制都需要巨大的微波能源。而目前在产生大功率微波能源方面唯一获得广泛应用的是电真空器件。

雷达和通信设备的作用距离在其它条件不变时取决于发射管的平均功率。而在雷达中平均功率又取决于脉冲寬度、脉冲重复頻率和脉冲功率的乘积。提高脉冲功率会給微波管本身的設計如阴极負荷、散热能力、高压击穿等以及微波管調制电源等附属设备的設計制造带来一系列困难。因此一些新雷达体制中都采用了提高脉冲寬度和重复頻率,而又同时不損害鉴别力的設計原理,借以得到大的平均功率。

目前已得到普遍应用的大功率微波管主要有**速調管(OT型)**器件(速調管和行波管)和交叉場(M型)器件两大类。按工作状态分,大功率速調管和行波管主要用作放大器件,交叉場器件中既有振荡管(如磁控管、穩頻管、M型返波管)也有放大管(如增幅管、M型行波管)。按供給电子的方式分,行波管和速調管都属于注入型的,而交叉場器件中既有注入型的(M型行波管、M型返波管)也有分布型的即連續阴极的(增幅管、穩頻管、磁控管)。

在提高功率方面,这些器件都主要不是受电子学理論上的限制,而是取决于提供大电流密度电子注的能力(包括阴极发射电流密度的提高和大压缩比电子枪和大电流密度聚

焦系統的設計)、器件的散熱能力以及輸出窗和輸出傳輸系統承受高功率的能力。

一般說來,速調管由於陰極處於作用區以外,管體散熱能力強和電子注截獲小,因而具有較大的功率潛力。速調管的脈沖功率在十年前就已達到S波段30兆瓦,迄今並沒有顯著的提高,但在平均功率方面十年前只達到千瓦數量級,而現在已有產品在X波段達到50千瓦^[8],在L波段達到300千瓦^[9]。平均功率高達1兆瓦的速調管也已在實驗室中研製^[10]。

行波管在脈沖功率方面和速調管保持大致相同的水平,目前已在實驗室中達到8—10兆瓦^[11],並正在研製脈沖功率達100兆瓦的管子^[12]。工業產品已分別在C波段達到3兆瓦^[13],在X波段達到1.8兆瓦^[14]的脈沖功率。

行波管的電子注截獲也小,但慢波結構通常由膜片或金屬環組成,同時有集中衰減器等限制,因此功率耗散能力不及速調管,所達到的平均功率電平比速調管低。目前是在X波段達到10千瓦的平均功率^[3,14]。

應用高導流系數空心電子注允許增大慢波結構的橫向尺寸,有助於散熱能力的提高,現在正試圖應用這種結構達到在X波段兆瓦級的平均功率^[10,15]。提高電子注導流系數可以降低運用電壓,縮短器件長度,降低對高壓防護的要求,還有助於增加速調管的頻寬。目前已成功地将導流系數約7~10微帕的磁控注入式空心電子槍應用於速調管和行波管中^[16,17,18]。

交叉場器件內陰極受到高頻結構的包圍,同時受結構限制陰極面積較小,因此散熱能力和陰極發射電流密度的提高都較困難。目前已制出的圓形結構交叉場器件達到最大功率的是增幅管,在10厘米波段、脈沖功率3~5兆瓦、平均功率30千瓦^[3]。另據報導^[4],一種脈沖功率10兆瓦,平均功率200千瓦的S波段交叉場放大器正在研製之中。

改進結構的交叉場器件還包括反同軸M型放大管^[10,19],它的陰極包圍在陽極外面以利減輕陰極負荷;還有將注入型和分布型結合起來的M型放大管^[20]。它們的設計目標都是X波段兆瓦級的平均功率。

單管的功率到底有限,於是有人不斷嘗試採用多電子注及(或)多迴路的複合管型。這方面較成功的有多注速調管(76個電子注,4個腔)、多段增幅管等,也是往X波段平均功率1兆瓦的指標研製^[10]。

這些大功率管中不少採用了氧化鋁陶瓷,它的電絕緣性能好,而導熱率卻比普通的氧化鋁陶瓷大十倍。

在散熱方面,蒸發冷卻和旋渦流冷卻的方法^[21]在大功率微波管上的應用已經在開始研究。

除了單管、多管並聯或多注多迴路的複合管向大功率發展外,一些新型的如相控陣雷達中卻採用了成千上萬個相同的發射和天線系統,每個發射機中單管的功率並不大,但由於控制各管間的相位差使天線波束電子掃描,將能量大大集中起來,這樣也可達到超遠程雷達的目的。對這些功率管將有一些不同的其它要求。

三、高 效 率

提高效率可以節省電源功率消耗、簡化電源設備、並減小其體積和重量。因此高效率的要求往往是和功率管不可分的。特別對大功率管、相控陣雷達中成千上萬的功率放大

管,以及在需要节省每一克重量的上天的器件中,提高效率更是一项最迫切的任务。

交叉場器件具有高效率的特点,一般效率可达到 50~80%。近年来对直綫型器件的深入理論研究和实验分析已促使它的效率提高到可以和交叉場器件相媲美的程度。

早期大功率多腔速調管的效率一般只有 30~40%。根据 Warnecke 和 Guenard 的一維运动学多級羣聚理論設計,在牺牲一些增益的情况下,可使大功率多腔速調管的效率高达 53%^[22] 和 61%^[23]。Webber^[34,25] 和 Mihran^[26] 关于空間电荷效应和有限注半径的电子羣聚理論以及 Bers^[27] 的隙縫理論都为設計高效率速調管打下了基础。

一般螺旋綫型行波管最大效率只有 10% 左右(增益参量为 10^{-2} 数量級)。在大功率行波管中由于采用了高耦合阻抗的周期加载慢波系統和高导流系数的电子注,使增益参量达到了 0.1~0.3,这样就把大功率行波管的效率提高到 20~30%。

根据行波管的理論可知,它的效率較低的原因是由于电子在运动过程中与場进行能量交换以后速度減低,于是在后半段的行程中不再能与电磁波保持良好的同步。应用慢波結構末端相速漸減的办法以提高效率是較早出現的一个設想,目前在理論^[28]和实际上都已解决。将最后四节慢波系統作成逐漸縮短的三叶草型行波管的效率从 30% 提高到 47%^[29]。在上天用的行波管中,漸变式慢波結構已經得到了应用^[2]。这种慢波結構在 O 型返波管中也有人进行了理論分析^[30]。

降压集电极技术已被成功地应用来提高速調管、行波管以及 M 型器件的效率^[31,32,33]。在具有单极降压集电极的行波管中,已由实验証明,可得到大約 40% 的效率。若引用更复杂的多級降压集电极或用橫向場速度分类集电极,可把效率再稍稍提高一些。当然在小功率管中采用降压集电极的意义不大。在特大功率微波管中这时电压很高(高于 100 千伏),采用降压集电极至少要用两套电源,也不見得比用一套电源更省事。

为了提高速調管的效率还有人采用減輕輸出隙縫的等效負載^[34],或在隙縫上加偏压^[35];为了提高行波管和 M 型器件的效率还可采用电子注預羣聚的办法^[4,36],这些都取得了一定效果。

在功率行波管中为了抑制寄生振蕩,必須在慢波結構上加以足够的集中和分布衰減,而这些必然影响行波管的效率。因此选择衰減器的形式和分布方式使其最有效地抑制振蕩而又不过分降低效率,是一个有待进一步解决的問題。

对上天的管子要求节省每一瓦的功率消耗,因此尽可能降低阴极加热功率也是非常迫切的。由于仔細地設計阴极支持結構以減少热传导的損失(一般氧化物阴极的热輻射損耗很小,可以不計)已可使現代中功率微波管热子所消耗的功率只要几分之一瓦^[37]。

四、高 增 益

使放大管具有高的增益是为了減少整个无綫电电子设备的放大級数,从而达到小型化、減輕重量和減小体积的目的。一般說来,高增益放大管的輸出功率若有微小的一部分通过管内或管外反饋到輸入端,都容易引起自激振蕩,导致放大的不穩定。并且这种現象随增益的提高而变得越来越严重。因此保持着最高增益的是多腔速調管,其增益可以高达 70~90 分貝^[38],再高也就不必要了。

在螺旋綫型的中、小功率行波管中,为了提高增益就需加长它的分布損耗以抑制寄生振蕩,这样也就降低了效率。此外增益和頻寬也有矛盾,因此高增益的行波管最高的增益

在 S 波段达 60~70 分貝,在 2000 兆赫的頻寬範圍內增益約下降 10 分貝^[39]。

在大功率行波管中由于成功地应用了慢波系統“截断”式的衰减器以抑制寄生振荡^[40],在提高增益上也就不存在理論上的限制,只要多用几节相互隔离的慢波系統就能得到更高的增益。

交叉場放大器为了結構紧凑节省磁鉄过去都作成圓形結構,但圓結構中容易反饋而造成寄生振荡,因此它的增益都不敢作得太高,一般只有 8~15 分貝,这是这类器件的一个严重缺点。近年来又有一种趋势将慢波結構改成直綫形^[41],使交叉場放大器成为可以与速調管和行波管相比的高增益器件,其中噪声成为放大的主要限制。实验証明这种交叉場放大器的增益可以高达 40 分貝^[20]。

五、寬 頻 帶

寬頻帶通常包含两种意义。一是指振荡器具有寬的調諧范围(机械或电子調諧),另一是指放大器在固定工作点有寬的通頻帶。寬調諧范围是为了适应电子对抗的需要。例如为了偵察敌人的雷达、制导和通信頻率,就需要有能在寬範圍內快速扫描的 O 型返波管以作为全景接收机中的本地振荡器。为了干扰敌人雷达接收,可以用在寬頻帶範圍內調諧的 M 型返波管进行压制式干扰,或利用寬通帶的行波管进行应答式干扰。此外为了避免敌人干扰,需要发射管能在寬頻帶範圍內迅速調变工作頻率。至于寬通帶是为了传送大信息量,在近代微波多路通信以及采用脉冲压缩、多波束扫描、綫性調頻脉冲等新技术的雷达体制中都有寬通帶的要求。但是随着通帶的加寬必然带来噪声系数增大的矛盾。

即使在一个管內頻寬也随功率电平而改变。通常行波管、返波管和电压調諧磁控管具有頻寬随功率电平增加而下降的特点,这正好和速調管放大器相反^[42]。

在放大器中通頻帶最寬的应数行波管。螺旋綫型行波管当脉冲功率小于几个千瓦、平均功率小于几百瓦时可以具有倍頻程或更寬的通頻帶。但当电压高于 10 千伏时,采用螺旋綫結構容易导致返波振荡。因此当脉冲功率大于若干千瓦时需要采用环杆式慢波結構,这时頻寬达 25% 左右^[43]。若平均功率高到千瓦級时,为了散热方便往往采用以下各种膜片加载圓波导的慢波結構其頻寬也各不同。三叶草型^[44]頻寬 10%;“蜈蚣型”(逆环耦合)^[44] 18%;长縫耦合型^[45]超过 20%;环圈式^[46]結構簡單,頻寬达到 27%。

交叉場放大器的頻寬也取决于慢波結構,它略低于行波管,典型数据是 10~15%,实验室中正在研制頻寬达 20% 的交叉場放大器^[20]。

近年来由于前級參差調諧技术^[47],末級耦合型輸出腔^[48],和高导流系数空心电子注的应用^[41],使兆瓦級速調管的頻寬已可达到 5~9%^[37,16,49]。应用分布作用式諧振腔(即两端短路的慢波系統),有可能使速調管达到更大的頻寬和更高的效率,但这只是理論上的可能性,实验結果还不充分^[50,51]。

伴随着振荡器电压調諧頻率范围的增寬,由于高频迴路阻抗和工作电压的变化,会使輸出功率在整个頻寬範圍內有巨大的差別。例如采用单螺旋帶迴路的 O 型返波管在 1:2 的頻率範圍內,功率改变为 10 分貝。在某些应用場合下,需引入外加滤波器来消除高频端过多的輸出功率,以使整个頻帶內功率輸出平稳一些。采用双螺旋帶迴路的返波管,由于迴路在低频端阻抗較高^[52],在 1:2 的頻寬內,功率电平的变化降到 4 分貝左右。

在从約 300 到 4000 兆赫的頻率範圍內已有一系列不同功率电平的电压可調的磁控

管，它的可調頻寬從輸出 50 瓦時的不到 10% 上升到輸出 1 瓦時的不到倍頻程^[53]。总的說來，电压可調磁控管在可調頻寬內功率电平变化較平穩，同时具有良好的綫性調諧特性。

六、高的頻率和相位稳定性

一般雷达或导航系統中发射机工作頻率的变化将增加对目标和飞机位置等基本数据测量的誤差。在任何无綫电綫路中，振蕩器頻率的不穩定，必将导致通帶寬度的增加，从而降低了无綫电綫路的抗干扰性，縮短了通信的作用距离和減少了規定頻帶內的通信波道数。增寬頻帶也会使接收設備趋于复杂。发射机和接收机本地振蕩器的頻率偏移也使邻近波道产生附加失真和增大噪声电平。

近年来許多雷达新技术中都使用了接收信号与发射信号之間的相位关系中所包含的信息，如連續波調頻、多普勒系統、脉冲压缩、相参积累等。因此除了要求振蕩器具有高的頻率穩定度以外，还要求放大器具有高的相位穩定度。

要得到稳定的振蕩頻率，一般有以下几种方法。

一是自动頻率穩定^[54]，將振蕩管的輸出通过鉴頻器与一标准信号相比产生一个“誤差信号”，然后将“誤差信号”放大，用电压或机械調諧的方法改正原来的振蕩頻率，使之趋于某一給定值。据报导^[55]，已能在工作温度改变 100°C 的範圍內，保持反射速調管的頻率穩定度为百万分之五十。

另一种方法是增加振蕩系統的儲能，以減小由負載、温度等改变所引起的頻率变化。可以在振蕩管外耦合另一个諧振腔^[56]。另外如利用外腔反饋产生振蕩的穩頻管以及新近研制出利用同軸諧振腔耦合的同軸磁控管都具有頻率穩定的特性。据报导，22 厘米波段功率約 250 千瓦的穩頻管其頻率牽引为同波段同功率普通磁控管的 1/5，頻率偏移約为 1/20^[57]。另一只 3 厘米波段功率 250 千瓦的同軸磁控管与同波段同功率的普通磁控管相比，前者的頻率牽引和頻率偏移都約为后者的 1/5^[58]。

此外还有利用結構上的尺寸变动来自动补偿由于温度改变引起頻率变化的反射速調管^[59]。

相位稳定性通常由相位灵敏度和相位綫性度来表示。前者是指当工作电压(或电流)改变 1% 时相位的变化，后者是指相位和頻率間应具有直綫性的关系。近代雷达中发射出綫性調頻脉冲，要求脉冲內部相位高度穩定不变，同时保持高的相位綫性度，否則就会导致对目标分辨力和距离精确性的降低^[60,61]。

在相控陣雷达中在整个 10% 或更寬的頻帶上对相位特性有严格的要求，同时要求所有的各个管子具有同样的相位和振幅特性，在整个系統中要求偏离相位直綫性小于 2°，这在不采用相位补偿迴路的情况下是很难實現的^[62]。

許多作者已在理論和实验上对微波管的相位稳定性进行了研究^[63,64]，已得出能够显示出 0.1° 数量級的相位差的自动测量仪器^[65,66]。

交叉場放大器(例如增幅管)一般說來有較高的相位稳定性，因为它有自动相位聚焦特性，也即与高频場作用完毕后的电子将全部落到相互作用空間以外去。同时交叉場放大管以波长度量的电长度比直綫型放大管为短，因此由电压改变引起的相位变化也較小。但若在直綫型放大管中采用高导流系数的电子注，以得到单位长度上的高增益时，或者降

低全管的增益从而减少迴路的电长度,也可以降低它的相位灵敏度。

此外为了减小行波管中相位与频率间非线性的变化,需要保持行波管螺距和介质负荷的均匀性,以及保持衰减器两端和输入输出的尽量良好匹配等。

应用阳极调制的电子枪^[67],不仅改善发射管的脉冲波形、简化调制电源,并且还可以改进脉冲内的相位稳定度。此外为了提高整个系统的相位稳定性,还可以利用外加线路来进行相位补偿。

七、低 噪 声

低噪声的要求不只存在于雷达和通信接收机的放大器中,而且对一些用于連續波調頻、多普勒脉冲和脉冲压缩制的雷达中的小功率振荡器和放大器也提出了低噪声的問題。振荡器中的噪声是指所发生的信号上的振幅和频率调制,而不象放大器中在外来信号上迭加的噪声。这种噪声会和多普勒检波发生干涉现象,降低雷达作用的精确度和灵敏度。功率放大器的噪声越低,意味着它有越大的动态范围,即它的输入输出功率电平可在一个大的范围内变化,而不致被噪声淹没。一般说来,交叉場振荡器的輸出噪声要比O型振荡器的噪声来得大,但是这方面目前也有了改进,例如电压可調磁控管已經可作到有比信号电平低 90 分貝的噪声系数。

在放大器中,虽然量子放大器、燧道二极管、晶体参量放大器等各适用于具有不同要求的雷达和通信接收设备,并已能作到很低的噪声;但它們的一个共同缺点是承受功率小,容易饱和并且恢复時間較长,以致增加了雷达作用的死区。因此电子注型的低噪声行波管和参量放大器仍然有其广泛的应用。

大批生产的低噪声行波管目前已作到在 L 及 S 波段約 3 到 5 分貝的噪声系数,在 X 波段約 6 分貝,在 Q 波段約 9 分貝左右。在實驗室中噪声系数还要低些。

为了进一步降低行波管的噪声,需要从以下几方面改进,即(1)阴极;(2)阴极前的多速电子区(即此区内电子速度分散可与其平均速度相比拟);(3)阻抗轉換区;(4)电子与場的作用区。其中对降低噪声起主要作用的是由于近年来对电子枪阴极前的多速电子区进行了較多的理論和实验分析工作^[68]。1959 年 Currie 和 Forster^[69]提出一种新型极低噪声电子枪的原理,其主要在于改变电子枪的形位使在阴极前一定距离内形成低电位弱場强的多速电子区;此外还利用阴极边缘发射使电子注中大量电子或全部电子集中在注边缘的极小宽度(例如 0.05 毫米)内。Mueller 和 Currie^[70]曾用密度函数法对多速区空間电荷电位近似的线性分布計算了电子注的噪声参量,計算結果表明噪声参量主要决定于工作频率、电流密度和电位梯度,甚至有可能使噪声系数降为零分貝。

Berghammer 的实验^[71]指出了二极管区直流特性与噪声有很大关系。他发现当控形电极改变到某一正电压极值时,阳极电流突然下降,在阳极区出現虚阴极,相应地噪声系数在此出現最小值。这一现象也为 Mueller 所証实^[72]。Eichenbaum 等人^[73]还研究了低噪声枪中电子注电流密度的径向变化以及第二与第三阳极間的虚阴极等問題。这些静电特性影响噪声的机理还不很清楚。近来理論和实验表明^[74,75]在阴极前加上单透鏡以及采用斜面阴极使电子在脱离阴极后受到交叉电磁場的作用,可以縮小电子的纵向速度差异达到降低噪声的目的。此外还用密度函数法計算了二維場中多速区內的噪声参数^[76]。

在阴极方面,問題在于改善阴极的均匀性,以及适当选择阴极的基金属、涂层、激活状

况和工作温度等。最近发展一种印刷技术^[77]以代替过去的电解法和离心法来涂敷氧化物层,使厚度达 25 微米,激活后表面起伏在 3 微米以内。工作温度为 600~650°C,寿命可以很长。

在阻抗变换区,对用单透镜来代替过去盛行的指数转换区,进行了详尽的研究^[74,75]。这在 RCA 某些中等噪声的功率管中得到了应用,它实际上是将虚阴极转换到慢波线的进口处。

在作用区进行的工作,包括螺旋线镀银以降低分布损耗,改善输入输出匹配以减少由它们引起的插入损耗,以及将整个管子冷却(放在液氮中)等^[76]。

采取了以上一系列的措施以后, L 波段低噪声行波管的噪声系数已降到 1.7 分贝^[79]。

早期噪声系数在 6 分贝以下的超低噪声行波管往往频带不够宽,一般为 20~40%。最近采取了调整慢波系统的色散特性等措施,如某些频宽为 1:2 的管子已能在不同波段达到低于 4.5 分贝的噪声系数^[80]。

返波管也可以作为一个在宽范围内实行电压调谐的窄频带放大器,它的噪声系数也可以作得很低,例如 Currie 等^[69]在返波放大器中采用了他所提出的低噪声电子枪,得到 3.5 分贝的噪声系数。

交叉场放大器通常具有比 O 型放大器为高的噪声,噪声成为该类放大器增益提高的主要限制,目前对这种噪声的机理还不很清楚^[41,81]。

最早提出的电子注参量放大行波管有两类。一是利用空间电荷快波作为参量放大,另一种是利用电子快回旋波的 Adler 管。目前看来 Adler 管已取得显著的成绩,据报导^[82]在 500 兆赫得到噪声系数 1.3 分贝,频宽约 10% 的放大。这种管子已应用于某些雷达设备中,它具有高饱和功率、短恢复时间等稳定特性,缺点是要求一个有一定功率的频率稳定的泵源。从理论上讲,利用快回旋波的优点是它具有很强的色散(特别是当信号频率等于回旋频率时),所以参量混频出现的谐波相速离开信号波的相速很远,不致引入这些谐波所产生的噪声。而空间电荷波具有弱色散特性,由这些谐波引起的噪声就很难消除。

但 Adler 管在提高工作频率上有困难,以后 Bridges 等人^[83,84]采用谐振腔作耦合器将工作频率提高到 S 波段。这类腔结构的相互作用距离很短,要有一定的增益和低噪声,则频宽受到限制。如作出一个电子注参量管在 4170 兆赫,噪声系数为 2.2 分贝,但频宽不到 2%。若要提高频率需要相应加大电流密度和磁场,否则绝对频宽更小。

近年来在电子注参量放大行波管方面进一步的工作是寻找有效的宽频耦合器,包括静电聚焦耦合器^[85]、M 型耦合器^[86]等;此外也在研究降低泵频,甚至用直流^[87],这样将为在更高频率运用带来很大的方便。

八、小型化

小型化的目的是为了轻便、省电、使整个电子设备的机动性提高。上天的器件中对小型化的要求也就更为迫切。

交叉场器件一般说来在相同功率下比直线型器件具有较小的总尺寸和重量^[4]。这是因为它的作用空间较小,一般作成圆形,并且效率较高,可用风冷代替水冷。此外由于交叉场器件的直流输入电阻较低,因此它的工作电压也低。这就相应地减轻了调制电源的

重量和尺寸,同时也避免了高压绝缘、X光辐射等一系列困难。

在某些实验型的交叉场放大器中还采用了B类调制的工作方式。在阳极上加直流电压,未加高频信号时没有电流。当高频加上后,才引起注流的流动^[4]。这样就可完全取消调制器,使整个脉冲雷达的系统大大简化。

在O型器件中除了提高管子的效率和增益,以减少整个系统的级数和减小相应的电源设备的体积和重量外,改进聚焦系统是管子小型化的一项重要措施。目前较广泛采用的有周期磁场聚焦、空间电荷静电聚焦、周期静电和离心式静电聚焦等方法。周期磁铁特性易随温度改变,因此需要温度补偿,本身也还有一定重量。而利用静电聚焦,一般不需附加任何设备,且工作温度不受限制,调节方便,体积小重量轻在小型化上极为有利。

周期磁场聚焦系统已在行波管上得到广泛应用,目前约占总数一半以上的行波管已采用周期磁场聚焦,最高功率已达几百千瓦到1兆瓦^[1]。

早期在三腔速调管中曾应用了空间电荷聚焦^[88],但它能维持的电子注较短,对大功率多腔速调管和行波管还不适用。应用单透镜的周期静电聚焦的速调管,据报导^[89]功率已达30千瓦,它的聚焦电极与阴极等电位,供电极为方便,很有发展前途。

周期静电聚焦在行波管中也得到应用。新近报导有X波段脉冲功率达到10千瓦的周期静电聚焦行波管^[90]。

单反磁场聚焦已在某些行波管和返波管中得到应用^[91,92]。贝尔实验室研制出的一个用于人造卫星的低噪声行波管,采用了单反磁场,它的噪声系数约6分贝,重量在均匀磁场聚焦和周期磁场聚焦之间(比前者减轻到1/3)。作者认为达到相同的噪声时,以用单反磁场的管子最轻。

在大功率管中采用栅极调制,同时在和栅丝相对应的阴极上放置钨丝,以抑制这部分的阴极发射。这样可使栅极没有截获电流。由此而导致栅极调制电源的重量为阳极调制电源的1/5以下。这是大功率管在减轻电源重量方面的一大改进^[93]。

九、短 波 长

微波电子管的重要发展方向之一是朝向越来越短的毫米波和亚毫米波。这个波段之所以得到日益广泛的重视是由于下列几个主要因素:

(1) 高分辨力雷达的应用。在这个波段上天线尺寸小,辐射的波束极窄,可以达到高精度的测距和定位。用在这个波段的设备可以做到体积小,重量轻。

(2) 多路通信和宇宙通信。例如利用 H_{01} 型的圆波导远距离传输,在宇宙中精确的定向通信,以及宇宙飞船返航时利用毫米波穿过其周围进行通信而不被等离子体所吸收。

(3) 在可控热核反应条件下对其中高浓度等离子体特性的研究。

(4) 利用这个波段的频谱方法研究一些物质的基本物理特性,包括电子顺磁共振、分子旋转光谱、超导体、固体的反铁磁现象、介质吸收等等。

(5) 作为参量放大器的泵源。

为了满足以上要求,就需要一个相干性的,能量能高度集中的毫米波及亚毫米波放大器和振荡器。人们首先想到的是将已知的微波管进行缩尺,使它在这个新波段仍能工作。但这样作,需要解决一系列设计和工艺上的困难。它们包括:高精度小尺寸的加工、装配

和檢驗；設計出低損耗、高耦合阻抗，能散熱的微波迴路；研製出大電流密度的新型陰極；設計出大壓縮比的電子槍以及在大電流密度下保證良好的聚焦。各種熟知的微波管目前已達到的生產水平大約如下^[1]：

O型返波管	500 千兆赫(0.6 毫米波長)	15 毫瓦；
反射速調管	169 千兆赫(約 2 毫米波長)	75 毫瓦；
磁控管	120 千兆赫(2.5 毫米波長)	2.5 千瓦(脈沖)；
行波管	75 千兆赫(8.5 毫米波長)	1 毫瓦。

在毫米波段有希望能得到較大功率輸出的而為使用者所不夠熟悉的漂移速調管^[94]和反同軸磁控管^[95]。漂移速調管兼具有反射和雙腔速調管的優點，它有良好的調頻特性，效率較高，沒有由電子三次渡越所引起的滯後現象，目前在 8.5 毫米波長輸出平均功率可達 50 瓦，在 4 毫米波長輸出達 500 毫瓦。反同軸磁控管的頻率特性穩定，陰極包在陽極外面有較大面積，目前在 8.5 毫米可達 210 千瓦的脈沖功率（工作比為 0.00025），有可能在更短的毫米波進行工作。

實驗室的水平遠比生產水平為高。據報導，實驗室中也已作出 6 毫米波長 150 瓦的行波管^[96]。另外一個突出例子是 Sedin^[97] 作出一個在 3 毫米波長，脈沖功率 100 千瓦，平均功率 50 瓦的 O 型返波管。管中採用了 200 千伏的高壓和 11 安的電流。這些都集中地代表了近年來在毫米波管設計和工藝上的卓越成就。

採用多電子注多迴路的結構看來是在毫米波段提高功率的一個有效辦法^[98]。還有一種單腔多隙縫的返波管（Laddertron）在 6 毫米波長有 15 瓦的連續功率輸出^[99]。

利用周期性電子注與波導中的快波起能換作用也可得到毫米波的振蕩或放大，這些包括蕩注管（Ubitron）^[100]，迴旋返波振蕩管^[101]等，前者在毫米波段可得 1.2 兆瓦的功率。它們的明顯優點是波導系統加工容易，截面大能採用較大的電子注，而且波導中的場並不離開表面就迅速衰減。困難在於建立周期性電子注方面，波長越短所需磁場也就越強。

為了有效地產生亞毫米波，還可進一步擺脫一般微波管的工作原理，而去尋覓其它新的方法。在這方面比較有成效的可以列舉出如下幾種：

1. 契林柯夫輻射器 如果帶電質點以超過光在此介質中的相速在該介質中運動，則就會產生契林柯夫輻射。既然單電荷產生的輻射頻譜是非相干的連續譜，則為了得到相干輻射必須採用良好羣聚的大電流電子注。這方面的理論和實驗工作都已進行不少。Coleman 等^[102]借助於一個 1 兆伏、0.42 安的電子注在 35 千兆赫頻率下得到大約 1 瓦的輸出；後來又報導^[103]在填充介質波導上由 0.1 安的電子注得到在 1 毫米波長上約 1~10 瓦的輻射功率。預期利用契林柯夫輻射器在亞毫米波得到瓦級輸出功率是有希望的。

2. 相對論多普勒效應 利用運動電子輻射或者反射電磁波的相對論多普勒效應都可以得到毫米波及亞毫米波。波蕩器（Undulator）^[104]就是屬於前一種。實驗結果表明利用多普勒效應所產生的功率極小，效率也極低，除非能顯著改進電子注羣聚特性，否則它們的希望都不大。

3. 等離子體 利用等離子體可以產生和放大電磁波，也可作為非綫性元件來產生倍頻作用^[105]。但在毫米波應用時要求高濃度電子不易實現，此外由於耦合和激勵等問題，使它在這波段工作還有困難。

4. 其它方法 包括利用鐵氧體、半導體二極管等非綫性元件以產生高次諧波，利用加

速电荷辐射的旋风管 (Tornadoton)^[106], 利用两个不同频率的光束在光激励器上产生混频^[107], 以及利用其它量子转换的方法。这些都可以用来产生毫米波, 以及亚毫米波。旋风管在 240 千兆赫下曾给出 0.1~1 瓦的脉冲功率。莱塞混频给出在 0.5 毫米波长将近 10 毫瓦的输出。

以上许多方法中都要求有良好聚集的电子注, 但这本质上属于微波电子学的根本问题尚未很好解决。现有各种聚集方法中^[108], 以 Rebatron 所得到的谐波次数最高 (30~50 次)。在这方面如能得到更好的改进, 将会大大有助于各种方案的实验研究的开展。

十、一致性、高可靠性和长寿命

在相控阵雷达中使用了成千上万个微波电子管, 依靠改变各管间的相位得到电子波束扫描来精密地跟踪飞行中的多目标。因此就严格要求各个管子间的一致性。现已作到在 L 波段相控阵雷达中一系列永磁聚焦的行波管的增益零散为 ± 0.3 分贝, 相位零散为 ± 2 度^[2]。

高可靠性的要求突出地表现在上天的器件中。在导弹制导系统中的管子整个有效工作时间不过几分钟, 在通信卫星中的管子则要求寿命越长越好。但不管它们的有效工作时间是短是长, 都要求它们能耐起飞和飞行中的高加速度、高振动、高冲击以及在高温下工作和能耐核爆炸引起的中子辐射等。现已能作到能在 20~200 赫下耐峰值超过 60g 的振动, 甚至在模拟飞行中能耐 240g 的振动。特别感兴趣的是在动态试验中当整个管子相移 5000° 时, 它的相位变化不超过 2°。这在上天的器件中特别重要, 因为管子部件的任何移动都将最灵敏地由相位偏移表示出来^[109]。

除了近炸引信和导弹制导中的电子管外, 长寿命对所有管子几乎是一个普遍要求。当然在海底电缆和通信卫星的中继站中, 长寿命的要求显得更为迫切。现在已有些行波管的寿命可长达十年以上^[91]。

一致性、高可靠性和长寿命的获得主要依靠制管结构工艺的不断改进和制管材料性能的不断提。这些包括:

1. 在结构上广泛采用金属陶瓷结构, 它的机械强度大, 耐震动冲击等性能好, 并且能耐中子辐射。一般对电子管可靠性影响较大的玻璃、云母片、蒸散式消气剂及点焊等都尽量避免采用。同时还简化管子构造, 采用迭片式结构^[109]使装配技术简易、便于自动化生产, 在技术上减少对操作工人的要求, 同时减少管子加工工序。一般管子从投料到成品往往需经 800~900 道工序, 工序越多, 引起不可靠的漏洞也就越多。

2. 在工艺方面, 加强真空卫生, 如在加压清洁室内极其小心地从事零件的处理、装配、焊接和检验等工序。为了增加耐振等可靠性, 还避免滑配合, 采用零件装配压紧的办法。管子经过例行试验和老化以后再严格挑选一批有最均匀和最稳定特性的提供应用。为了保证长寿命, 需在管内加钛泵, 以维持较高的真空度避免阴极遭受正离子轰击损坏。另一方面金属陶瓷封接到现在为止还是一个较难掌握的关键工艺, 目前在封接方法和快速检验方面都有不断的改进^[110, 111]。

3. 在材料方面, 阴极是个重要问题。为了保证长寿命, 阴极需在低电流密度和较低工作温度下工作。例如一个上天用的行波管^[91], 采用氧化物阴极, 其电流密度为 85 毫安/平方厘米, 阴极工作温度为 730℃。此外管内其它材料的放气也很值得注意。气体对新型

扩散阴极(如 L 阴极、钨钨阴极等)的影响还较小,而对氧化物阴极的影响却极大。目前对管内残余气体的测量(如用迴旋振荡质谱仪),残余气体对阴极的影响,以及各种消气剂在吸气方面的作用等问题的研究都已得到日益广泛的重视^[112,113]。

十一、結 論

1. 从总的方面看来,各种类型微波管各有其不同的特点。例如直綫型放大器可以作到大功率、寬頻帶、高增益;而交叉場放大器則主要是高效率、高的相位稳定性等。从个别管型来看,例如行波管,当功率大时頻寬就受到限制,或当增益高时效率必然减小,它的各个电参数相互間存在着矛盾。因此在根据不同的应用,选择和設計某一微波管时,首先必須全面考虑微波管的各種性能(包括經濟指标),先确定选用的管型。然后在具体設計时,又須权衡輕重,慎重地选择各种几何尺寸和参数,务期縮小各种矛盾以得出最满意的方案。

近来一个新的发展趋势是将各种管型以不同方式合并成一个复合型器件,例如将速調管的高增益、行波管的寬頻帶、交叉場器件的高效率等特性結合在一个管内。分布作用速調管^[114,115],中間加入行波羣聚器的速調管^[116],应用行波羣聚系統和諧振腔輸出系統的器件^[117]以及应用參差調諧的速調管激勵系統和行波輸出系統的器件^[118],都是这方面的尝试。其中已出現工业产品,如VA-145A具有頻寬14%、增益41分貝、效率48%,超过一般速調管或行波管的水平。

2. 虽然半导体近年来也向着高頻率、大功率的方向发展^[119],但总的看来在可以預見到的将来在高頻率大功率方面,微波管仍占有絕對的优势。这主要是由于在一般情况下当頻率越高时,半导体管的尺寸越小,它的散热困难,同时工作温度又受到限制。

在較小功率方面,燒道二极管可以工作到 S 波段或更高頻率。脉塞已用作超噪聲放大器。另外新近发展的光激光器在从可見光到亚毫米波段之間可以产生較大功率的相干輻射,并已获得很多运用。这些都是半导体侵入微波領域的一些主要发展。

从耐核輻射、耐中子轰击、耐高温、耐瞬吋功率过载方面看来,半导体管还不如一般的金属陶瓷管^[120]。

3. 微波电子学是一門技术科学。它的发展有賴于以下三方面工作的配合,即:微波管的制造;微波測試条件的建立;和微波电子学的理論研究。在微波管的制造方面,首先要解决設備和材料,并且掌握工艺方法。微波測試条件的建立包括測試設備的建立和測試方法的掌握。这些設備、材料、工艺和測試方法等都是发展微波管的最基本的物質基础。只有具备一定的物質基础以后,才能使微波电子学的理論研究密切地結合实际。同时理論研究的成果进一步指导了微波管的发展,通过工艺和測試方法的提高,使微波管能逐步由簡單到复杂。看来这是在我国发展微波电子管并使其赶上世界水平的唯一道路。

参 考 文 献

- [1] D.A.T.A. Microwave Tube Charac. Tabulation, 12th, Ed. (1964).
- [2] D. A. Watkins, *Electronic Industries*, 21, No. 6, 12 (1963).
- [3] O. K. Falor, *Electronic Industries*, 21, No. 11, 106 (1963).
- [4] L. E. Brown, *Microwave Journal*, 7, No. 5, 66 (1964).
- [5] W. W. Teich, *Electronic*, 35, 37 (1962-5-25).
- [6] 张直中, 雷达技术的現况及发展趋势 (1963).
- [7] 电信技术简报, 39 期 (1963-7-22), 49 期 (1963-11-29), 52 期 (1964-1-23).

- [8] *Microwave Journal*, 7, No. 4, 7 (1964).
- [9] *Microwave Journal*, 7, No. 2, 92 (1964).
- [10] AD-408, 406.
- [11] D. K. Winslow, et al., AD-404 484, p. 92.
- [12] A. J. Monk, *Microwaves*, Proc. of 4th Int. Conf. on Microwave Tubes, 83 (1962).
- [13] J. A. Ruetz, *Engrg. Rept.*, No. 214-IF, Varian Associates.
- [14] T. Ronmbanis, et al., AD-404 484, p. 114.
- [15] AD-275, 016.
- [16] B. Arfin, *Microwaves*, Proc. of 4th Int. Conf. on Microwave Tubes, 595 (1962).
- [17] L. B. Anderson, Ditto, 60 (1962).
- [18] C. H. Dix, et al., Ditto, 87 (1962).
- [19] J. Arnaud, Ditto, 157 (1962).
- [20] P. N. Hess, et al., AD-404 484, p. 221.
- [21] AD-412 877, AD-411834.
- [22] R. Latham, et al., *Proc. IEE*, 105, Pt. B, Suppl., 897 (1958).
- [23] L. D. Clough, et al., *JEC*, 12, 105 (1962).
- [24] S. E. Webber, *Trans. IRE*, ED-5, 98 (1958).
- [25] S. E. Webber, *Trans. IRE*, ED-5, 306 (1958).
- [26] T. G. Mihran, *Trans. IRE*, ED-6, 54 (1959).
- [27] A. Bers, *Mikrowellenröhren*, Proc. of 3rd Int. Conf. on Microwave Tubes, 53 (1960).
- [28] J. W. Hansen, et al., *Trans. IRE*, ED-7, 282 (1960).
- [29] J. G. Meeker, et al., *Trans. IRE*, ED-9, 257 (1962).
- [30] J. Ruetz, et al., *Trans. IRE*, ED-8, 176 (1961).
- [31] G. I. Haddad, et al., *Trans. IRE*, ED-11, 20 (1964).
- [32] H. J. Wolkstein, *RCA Rev.*, 19, 259 (1958).
- [33] J. M. Osepchuk, *Microwave J.*, 5, 75 (1962).
- [34] S. Murata, et al., *Mikrowellenröhren*, Proc. of 3rd Int. Conf. on Microwave Tubes, 64 (1960).
- [35] I. Hefni, AD-404 484, p. 65.
- [36] A. J. Lichtenberg, *Trans. IRE*, ED-9, 345 (1962).
- [37] T. N. Chin, *RCA Rev.*, 21, 191 (1960).
- [38] P. G. R. King, *Proc. IEE*, 105, Pt. B, Suppl., 813 (1958).
- [39] E. D. Denman, et al., *Trans. IRE*, ED-3, 83 (1956).
- [40] J. F. Gittins, et al., *JEC*, 3, 267 (1957).
- [41] J. F. Hull, *Microwaves*, Proc. of 4th Int. Conf. on Microwave Tubes, 186 (1963).
- [42] W. J. Dodds, et al., *IRE Wes. Conv. Record*, Pt. 3, 101 (1957).
- [43] J. D. Pearson, et al., *Proc. IEE*, 105, Pt. B, Suppl., 458 (1958).
- [44] M. Chodorow, *Mikrowellenröhren*, Proc. of 3rd Int. Conf. on Microwave Tubes, 88 (1960).
- [45] M. A. Allen, et al., *Mikrowellenröhren*, Proc. of 3rd Int. Conf. on Microwave Tubes, 304 (1960).
- [46] *Electronic Design*, 9, 123 (1961).
- [47] K. N. Kreuchen, et al., *JEC*, 2, 529 (1957).
- [48] H. J. Curnow, *Proc. IEEE*, 106, Pt. B, 487 (1959).
- [49] L. B. Anderson, Ditto, 60 (1962).
- [50] M. Chodorow, et al., *Trans. IRE*, ED-8, 44 (1961).
- [51] H. A. Gould, *Trans. IRE*, ED-9, 192 (1962).
- [52] D. A. Watkins, *Proc. Symp. on Mod. Advances on Microwave Techniques*, 83 (1954).
- [53] *Microwave J.*, No. 1 (1964).
- [54] G. B. Collins, *Microwave Magnetrons*, 622 (1948).
- [55] G. B. Gucker, *BSTJ*, 41, 948 (1962).
- [56] S. J. Rabinowitz, *Trans. IRE*, MTT-2, 23 (1954).
- [57] W. C. Brown, *Proc. IRE*, 45, 1209 (1957).
- [58] J. Feinstein, et al., *Crossed-Field Microwave Devices*, Vol. 2, 130 (1961).
- [59] R. G. Rockwell, *Microwave J.*, 2, No. 4, 27 (1959).
- [60] J. R. Klauder, et al., *BSTJ*, 39, 745 (1960).
- [61] C. E. Cook, *Microwave J.*, 6, No. 5, 63 (1963).
- [62] Rademacher, et al., *IEEE Int. Conv. Record*, Pt. 3 (1963).
- [63] AD-272 212.
- [64] Clampitt, et al. *IEEE Int. Conv. Record*, Pt. 3 (1963).

- [65] P. Lacy, Ditto, Pt. 3 (1963).
- [66] S. B. Cohn, *Microwave J.*, 7, No. 2, 49 (1964).
- [67] G. M. W. Badger, *IRE Conv. Record*, Pt. 3, 82 (1957).
- [68] 韩家瑞、吉承灿, 国外电子器件, 1, No. 1 (1961).
- [69] M. R. Currie, et al., *JAP*, 30, 94 (1959).
- [70] W. M. Mueller, et al., *JAP*, 30, 1876 (1959).
- [71] J. Berghammer, *RCA Rev.*, 21, 369 (1960).
- [72] W. M. Mueller, *Proc. IRE*, 49, 642 (1961).
- [73] A. L. Eichenbaum, et al., *RCA Rev.*, 23, 421 (1962).
- [74] AD-408 797.
- [75] AD-408 798.
- [76] AD-265 881.
- [77] B. G. Bosch, et al., *Microwaves*, Proc. of 4th Int. Conf. on Microwave Tubes, 458 (1962).
- [78] B. P. Israelsen, *Trans. IRE*, ED-9, 217 (1962).
- [79] B. P. Israelsen, et al., *Proc. IRE*, 50, 1683 (1962).
- [80] D. A. Watkins, *PGMTT*, Nat. Symp., 37 (1961).
- [81] PB-153 937.
- [82] R. Adler, et al., *Proc. IRE*, 47, 1713L (1959).
- [83] T. J. Bridges, et al., *Proc. IRE*, 48, 361 (1960).
- [84] A. Ashkin, Mikrowellenröhren, Proc. of 3rd Int. Conf. on Microwave Tubes, 364 (1960).
- [85] R. H. Pantell, Ditto, 385 (1960).
- [86] J. W. Klüber, Ditto, 367 (1960).
- [87] J. C. Bass, et al., *Microwaves*, Proc. of 4th Int. Conf. on Microwave Tubes, 249 (1962).
- [88] C. Veronda, *Electrical Engineering*, 71, 686 (1952).
- [89] J. R. Hetchel, et al., *Microwaves*, Proc. of 4th Int. Conf. on Microwave Tubes, 81 (1962).
- [90] E. F. Belohoubek, et al., *Trans. IEE*, ED-11, 102 (1964).
- [91] M. G. Bodmer, et al., *BSTJ*, 42, Pt. 3, 1703 (1963).
- [92] B. T. Murphy, Mikrowellenröhren, Proc. of 3rd Int. Conf. on Microwave Tubes, 478 (1960).
- [93] AD-272 627.
- [94] S. P. Fan, et al., *Proc. IRE*, 41, 25 (1953).
- [95] R. Laplante, *Electronic Industries*, 22, 90 (1963).
- [96] *Electronic Design*, p. 19 (1962-10-11).
- [97] J. W. Sedin, AD-404 484.
- [98] R. M. White, et al., Proc. Symp. Millimeter Waves, 367 (1959).
- [99] M. Dethomsson, *Microwaves*, 1, 38 (1962).
- [100] R. M. Philips, *Microwaves*, Proc. of 4th Int. Conf. on Microwave Tubes, 371 (1962).
- [101] R. H. Pantell, *Proc. IRE*, 47, 1146 (1959).
- [102] P. D. Coleman, et al., *JAP*, 31, 1695 (1960).
- [103] B. W. Hakki, et al., *Proc. IRE*, 49, 1084 (1961).
- [104] H. Motz, *JAP*, 22, 527 (1951).
- [105] J. R. Baird, et al., *Proc. IRE*, 49, 1890 (1961).
- [106] G. E. Weibel, et al., Mikrowellenröhren, Proc. of 3rd Int. Conf. on Microwave Tubes, 243 (1960).
- [107] A. L. Cullen, *Proc. IEE*, 110, Pt. B, 475 (1963).
- [108] P. D. Coleman, *Trans. IRE*, MTT-11, 27 (1963).
- [109] B. A. Highstreet, *Microwave J.*, 7, No. 1, 49 (1964).
- [110] J. W. Tweeddale, et al., *Adv. in Electron Tube Techniques*, 2, 47 (1963).
- [111] L. R. Falce, Ditto, 51 (1963).
- [112] P. della Porta, Ditto, 55 (1963).
- [113] M. F. Axler, Ditto, 125 (1963).
- [114] M. Chodroow, et al., *Trans. IRE*, ED-8, 44 (1961).
- [115] H. A. Gould, *Trans. IRE*, ED-9, 192 (1962).
- [116] N. T. Lavo, *JEC*, 9, 1 (1960).
- [117] S. V. Yadavalli, *Proc. IRE*, 48, 263 (1960).
- [118] *Microwave J.*, 7, No. 3, 130 (1964).
- [119] J. Bardeen, *Electronic Industries*, 21, C12 (1963).
- [120] R. E. Moe, *Communication and Electronics*, No. 48, 81 (1960).

电子注参量放大器綜論

楊 祥 林

提 要

本文对电子注参量放大器的形式和类别、理論、結構、性能、运用及其现状进行了綜合評論，亦給出了不同类型电子注参量放大器結構和性能的一些比較。最后指出了进一步发展所要解决的問題和今后发展的趋向。

一、引 言

参量放大器的研究,由于应用上的迫切需要,目前已經被提到重要的地位。参量放大器、量子放大器等器件突出的性能是其噪声系数很低。电子注参量放大器是参量放大器中的一类,用于微弱信号接收时,它有許多优点,目前已达到的最好結果是 1.2 分貝(美国 Zenith 无线电公司 500 兆赫試驗管)、1.6 分貝(日本 N. E. C. 1200 兆赫試驗管)、0.79 分貝(美国 B. T. L. 4000 兆赫試驗管)的低噪声特性。

波长愈短,要获得更低的噪声系数就愈困难,这是由于波长愈短管子的尺寸愈小,因而最低噪声系数的获得就受到工艺結構上的限制,而不是由于理論上的限制。在理論上,現代的电子注参量放大器的噪声系数可以达到零分貝。随着波长的縮短,要实际研制出噪声很低的电子注参量放大器,往往与难于加工出理想的管子元件和难于获得适当的泵浦源等問題相联系,因而至今所有电子注参量放大器的頻率还都在 10000 兆赫以下。

电子注参量放大器亦分再生型和行波型两类。行波型电子注参量放大器又分纵向快空間电荷波和快迴旋波两大类。纵向快空間电荷波参量放大可以在漂移管中亦可以在慢波結構中进行,而且亦象普通固体参量放大器一样,可以簡并、非簡并和上变频方式工作,同时也可用諧波注入。迴旋波参量放大器不仅可以簡并、非簡并、上变频及以諧波注入等方式工作,而且可用直流“注入”来获得低噪声快波放大*。用直流“注入”,再应用“冷却”技术后,已得到了在 400 兆赫时的 0.24 分貝的低噪声性能。除上述这些电子注参量放大器外,目前还在大力研究等离子区参量放大。

电子注参量放大器,一般都由电子枪、輸入耦合器、泵浦机构、輸出耦合器等几个主要部分组成。不同部分的結構形式可以不一样。采用不同結構的目的,在于获得器件的各种优良性能,例如,噪声、頻带、稳定性等。为解决这些問題,目前应着重从理論和設計、結構和工艺等方面着手。在理論和設計方面需要研究的問題是:(1)参量放大器用电子枪的有关理論和設計;(2)快波耦合器及其中波的相互作用理論;(3)泵浦机构的理論、設計及其中波的相互作用理論;(4)新的泵浦方式的理論及其泵浦机构的理論和設計;(5)各部

* 严格说,这种放大器已不属于参量放大器了,因为它没有表征参量放大器特点的空間頻率。