

真空微电子器件的进展与问题¹

庄学曾 夏善红 刘光谔

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

摘要 本文简要地叙述了真空微电子学的主要进展,在介绍场发射阵列 FEA、场发射显示器 FED、真空微电子微波毫米波器件等的发展过程中,重点叙述了有关器件对 FEA 的特殊要求、可能的解决办法和存在的问题,并介绍了发展真空微电子微波管的主要内容和意义;最后提到了有效地发展我国真空微电子器件需重视的一个问题。

关键词 真空微电子学,场发射阵列,场发射显示器,微波管,毫米波器件

中图分类号 TN4, TN10

1 引言

1958 年 Shoulders 等提出了微米量级真空管的概念^[1]。1968 年 Spindt 发明了薄膜场发射阴极 (TFEFC)^[2],开辟了低电压场发射阴极(目前统称为场发射阵列 (FEA))的研究领域。70 年代固体微电子技术的巨大进步,使 FEA 的研究取得了实质性的进展,并在其后的十多年里促成了 FEA 及其相关研究的一个热潮。1988 年召开了第一届国际真空微电子学会议 (ICVM, Williamsburg VA, USA),正式确定了真空微电子学这一概念。从此,这门利用现代微细加工技术从事真空电子器件研究的新兴学科,受到了国际科技界的广泛重视。在第三届 ICVM(1990)会议的主题演说中, Takao Utsumi 有一句名言:“真空微电子学是面向 21 世纪的、少数几个新兴的前沿学科之一”^[3]。

以 FEA 为基础,可发展各种真空微电子 (VME) 器件,它们包括:高速开关器件,高分辨率、平板型场发射显示器,兼备固态器件和真空器件优点的微波、毫米波器件,高性能电子枪和传感器件等等。FEA 还能构成各种特殊的电子源或离子源,应用于多种先进的精密电子设备和其它器件之中。限于篇幅,这里不可能介绍所有这些器件,有关 FEA 和 VME 器件较全面的情况可参阅文献^[4]。本文仅对场发射阵列、场发射显示器、VME 微波毫米波器件等进行扼要介绍;重点讨论了有关器件对 FEA 的特殊要求、可能的解决途径和存在的问题;并以 VME 微波管为例,介绍其主要研究内容、问题和意义。

2 场发射阵列 (FEA)

利用强电场能将导体中的自由电子拉入真空,这就是场致发射。电子学家们早就对此发生强烈兴趣,力争研究出一种不需加热的、具有很高发射能力和其它优点的理想阴极:场发射阴极。1928 年, Fowler 和 Nordheim 在量子力学原理的基础上,推导出场发射电流密度 J_{FN} 的理论计算公式^[5]。计算指出,欲获得明显的场发射电流,导体表面的电场强度需高达 $5 \times 10^7 \text{V/cm}$

¹ 1996-05-20 收到, 1996-12-30 定稿
中国科学院军工办资助项目

以上。建立这么强的电场, 需要施加很高的电压并利用顶端很尖锐的发射导体。由于离子溅蚀等原因, 这样的阴极不能稳定可靠地工作, 故场发射阴极就难于实用和推广。利用现代微细加工技术可制造出很尖锐的发射尖锥, 并将栅极与尖锥的距离减小到 $1\mu\text{m}$ 以下, 使场发射阴极在几十伏下能稳定、可靠地工作; 而且还可将尖锥密集地制作在同一片基底上, 组成 FEA, 使 FEA 具有很高的发射能力。1968 年 Mo 质尖锥 FEA(早期称为 TFEC) 的发明是场发射阴极研究的一个重大突破。美国斯坦福研究所(SRI International)对 Mo 尖锥 FEA 的各个方面已进行了将近 30 年仔细、不懈的研究, 报道了 FEA 的最高发射能力 ($1000\text{A}/\text{cm}^2$ 和每尖 $125\text{-}500\mu\text{A}$)、72,000h 以上的工作寿命、最小的极间电容 ($0.07\text{pF}/\text{mm}$)、将 FEA 做成微火山口状用于构成特殊的离子源等, 并在多种领域进行了 FEA 的应用研究, 将 FEA 发展到实用化水平^[6]。1974 年 Thomas 等人报道了单晶硅发射尖锥的制造和应用^[7], 开辟了 Si 尖锥 FEA 的研究领域。除了上述尖锥型 FEA 外, 还有薄膜边缘场发射阴极等, 可用于研制平面器件和其它特殊场合。关于各种类型 FEA 的结构、机理、制备、特性、及其应用的情况可参阅文献 [8,9]。这里将对 Si 尖型 FEA 作一点补充说明。

利用 Si 作为基底制备 Si 尖锥 FEA 的优点是: 比较成熟的 Si 集成电路工艺可以直接用来制备大面积的 FEA; 各尖锥的一致性较好; 便于进行批量生产、成品率较高; 能制备出高度达 $11\mu\text{m}$ 的尖锥^[10]以满足特殊器件的要求等等。因此 Si 尖锥 FEA 的研究工作非常活跃。但其发射能力在报道上差异较大, Gray 和 Makhov 等曾观察到 Si 尖锥 FEA 的场发射电流在每尖几 μA (或更小) 时呈现饱和现象。这是因为半导体内的掺杂浓度和电子漂移速度都是有限的。就 Si 而言, 导带内电子的最大浓度和最大漂移速度分别为: $n = 10^{19}/\text{cm}^3$, $v_s = 3 \times 10^7 \text{cm}/\text{s}$, 因此流向尖锥顶端发射表面的最大电流密度为

$$J_m = nev_s = 10^{19} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^7 = 4.8 \times 10^7 \text{A}/\text{cm}^2$$

这与 Mo 尖锥 FEA 实际能够达到的最大 $J_{NF}(10^{11}\text{A}/\text{cm}^2)$ 相比低了许多。但是, 半导体内足够高的电场 (大于 $5 \times 10^6 \text{V}/\text{cm}$) 所引起的雪崩过程能大大增加其电子空穴对的数目, 工作过程中 Si 尖温度的升高能使更多的电子从禁带进入导带, 能增加导带内的电子浓度 n , 也能使 J_m 有所增加。在 Si 尖锥表面涂敷一层几百埃厚的钨膜能提高其发射能力, Betsui 和 Gray 等已分别报道了每尖发射 $50\mu\text{A}$ 和 $20\mu\text{A}$ 的结果。此外, 硅表面容易生成几个原子层厚的氧化物, 而且这层氧化物较难去除。这是在 Si 尖锥 FEA 的制备及其应用处理过程中需要注意的一个问题, 否则将严重影响其发射能力。上述有关问题的研究工作仍在进行之中。

无论是 Mo 尖型还是 Si 尖型 FEA, 目前都已具有高水平的发射能力, 并已进入实用阶段。但从工程上考虑, 尚存在诸如离子轰击、打火、噪声和大电流运用时的过热等问题需要继续深入研究。

3 场发射显示器 FED

FEA 加上矩阵选址技术, 可以开发出大面积、平板型、高分辨率的真空微电子场发射显示器 (FED)^[11]。FED 会集了阴极射线管 (CRT) 和液晶显示器 (LCD) 的主要优点, 以其仅几毫米厚的平板型结构、工作电压低、功耗小、不需偏转磁场和无 X 线辐射等优势, 可取代 CRT; 并以其图象质量高 (亮度、色彩、灰度、分辨率和响应速度等)、不需背光、无视角限制、能在很宽的环境温度下工作等优势, 可取代 LCD。而且, FED 的结构和制造工艺较简单、宜于规模生产以降低成本。从性能、技术、市场和经济效益等方面来看, FED 定将成为显示器市场的主角。据预测, FED 在今后的年代里将主宰 1000 亿美元的显示器产业。因此, 主要发达国家

的有关大公司竞相出巨资进行研制,争取早日进行大屏幕、高分辨率 FED 的规模生产,以夺取 FED 市场的最大份额。例如,1992 年在法国成立了 Pixel 国际集团,随后组成了包括美国 TI、Raytheon、Dallas 公司和日本 FUTABA 公司等六大工业伙伴的联盟,利用法国 LETI 的技术进行 FED 的商业开发,计划在 1996 年制成 12 英寸 FED,达到年产 10 万只的规模,并在 2000 年研制出 40 英寸(每英寸等于 2.54cm)的 HDTV 显示器。

FED 四个主要的技术关键是:低电压荧光屏、选址特性、平板间隔技术和大面积 FEA 的制备。这里仅简单叙述 FED 对 FEA 的一些特殊要求及其解决办法。

3.1 发射能力和均匀性

FED 对 FEA 发射能力的要求,决定于其发光亮度、荧光屏电压、荧光粉效率和玻璃板的透光率等。对于亮度为每平方米几百烛光的一个 1000 线的 FED 而言,其 FEA 的发射电流密度应达到 $0.15\text{A}/\text{cm}^2$ 左右。若发射尖锥的间距为 $5\mu\text{m}$,则平均每一尖锥的峰值发射电流为 40nA 即可。但为了在整个荧光屏上获得较均匀一致的亮度,就要求在大面积的 FEA(如对角线为 30cm)上,保证其各处的发射电流密度基本一致,而且每一象素内所有的尖锥应提供较相同的发射电流(或者,发射电流较大的与较小的尖锥应均匀地分布)。这对于大面积的、每平方厘米包含几百万个尖锥的 FEA 的制备来说,无论是设备还是工艺技术方面都是一个极大的难题。一种较好的解决方法是从 FEA 的结构入手:在尖锥根部与选址导电带之间引入一高电阻层^[12],即在每一个发射单元都串联一个阻值相同的阴极电阻。只要阻值适当,就能将同一 FEA 上发射特性相差很大的各尖锥的发射电流拉回到较一致的水平,例如能将电流零散度从 $0.05 - 10\mu\text{A}$ 减小到 $0.1 - 0.5\mu\text{A}$ 之间^[13]。这种结构不但能使 FED 各象素之间和每一象素之内都能具有较均匀一致的发光强度,而且有助于进一步消除尖锥过热损坏和栅极与尖锥之间的短路现象。

3.2 电子束的聚焦

通常的 FEA 只有 1 个栅极,其尖锥表面的等位面强烈弯曲,使发射的电子具有相当可观的横向速度,电子束将以较大的发散角飞向阳极。为了保证 FED 能有必要的分辨率(例如每毫米 2 - 4 个象素),FEA 与荧光屏的间距就必须非常小,通常为 $0.1 - 0.5\text{mm}$ 。因此其阳极工作电压只有几百伏,进而限制了 FED 的亮度。欲提高 FED 的分辨率和亮度,就需研制具有聚焦能力的 FEA,例如双栅极场发射阵列(DGFEA)。DGFEA 的每一个发射尖锥上方具有 2 个同心的栅极,形成静电透镜系统,以获得发散角很小的场发射电子束。这项研究近年已取得较大进展^[14]。

3.3 降低栅压,提高寿命

影响 FED 工作寿命的重要因素之一是 FEA 的栅极工作电压较高(一般为 100V 左右),尖锥遭受离子轰击而受损。大多数管内残余气体的第一电离电压在 $12 - 16\text{V}$ 之间,如果 FEA 能够在 12V 以下正常工作,则能大大提高其工作寿命。当 FEA 的栅压为 5V 时,FED 的选址驱动电路就能利用 COMS 元件组成,这将使整个显示装置的成本降低 70%。这种超低栅压的 FEA 必须具有极高的尖锥密度(如 $10^9/\text{cm}^2$)方能满足器件对发射电流的要求。Spallas 等人利用美国 Lawrence Livermore 国家实验室的激光干涉光刻装置,对极高密度尖锥阵列的制备技术进行了研究,在直径 5cm 的 Si 基底上制成了尖锥间距为 $0.3\mu\text{m}$ 、高度为 $0.75 - 0.9\mu\text{m}$ 的 Si 尖锥阵列^[15]。

尽管 FED 具有巨大的商业价值,但这种价值必须在成熟的工艺技术和规模生产中才能体现出来。因此,只有那些在技术、设备、资金和管理等方面实力雄厚的企业和单位才适于参加这场竞争。有关 FED 的专项技术的研究和开发,如能得到它们的支持和合作,则能较顺利地进行,并较快地取得应用效果。

4 真空微电子微波、毫米波器件

载流子在半导体中的最大漂移速度为 $5 \times 10^7 \text{cm/s}$ 。而在真空中, 工作于 100V 的电子的运动速度达 $6 \times 10^8 \text{cm/s}$, 比在半导体中高出 1 个多数量级。可见, VME 器件在提高器件的工作频率和开关速度方面具有很大潜力。真空器件还具有功率容量大、过载能力强、良好的抗辐射能力和承受高/低温等性能。因此, 既具有固态器件效率高、体积小、工作电压低、启动快捷、并便于进行大批量重复生产等特点, 又具备上述真空器件优点的 VME 微波、毫米波器件, 就成为目前国际上公开报道较多和研究工作十分活跃的 VME 器件。

将信号直接施加在 FEA 的栅极上以控制三极管的流通电流, 利用这个原理设计的分布放大器, 是发展 VME 微波、毫米波器件的一个领域。三极管的截止工作频率 F_t 与其跨导 g_m 和栅极电容 C_g 的关系为: $F_t = g_m / (2\pi C_g)$ 。因此, 提高 FEA 的 g_m 和减小 C_g 是发展这类 VME 微波、毫米波器件的首要研究内容。 g_m 可表示为

$$g_m = (\partial I / \partial V) = (\partial / \partial V)(N\alpha J_{FN}) = N\alpha \times (\partial / \partial V)(J_{FN})$$

其中 J_{FN} 是 Fowler-Nordheim 场发射电流密度, N 是 FEA 上的尖锥数目, α 为每一尖锥的发射面积。 $(\partial / \partial V)(J_{FN})$ 将随发射尖锥逸出功 ϕ 的降低和 FEA 的电场增强因子 $\beta(E = \beta V)$ 的提高而增加。因此可采取下列方法来增加 FEA 的跨导值 g_m :

- (1) 将尖锥在一个方向密集起来形成楔形发射脊, 据估计发射面积 α 可增加 50 倍;
- (2) 增加 FEA 上发射尖锥的密度以增加 N (已实现 $1.28 \times 10^7 / \text{cm}^2$ 个尖锥);
- (3) 在发射尖锥表面涂敷低逸出功元素或化合物, 如钨^[16]、铯^[17]、ZrC 等^[18];
- (4) 利用诸如在高温下施加强电场的“thermal field-forming”^[19] 或特殊的化学处理^[20] 等方法, 使发射尖锥顶端更尖锐; 或尽量缩小栅极孔径 (已制备出孔径为 $0.4 \mu\text{m}$ 并正在研制孔径为 $0.1 \mu\text{m}$ 量级的 FEA), 来提高 β 值。

为了减小栅极电容, 可将 FEA 制作在玻璃基片上, 制备仅一个单列的尖锥阵列 (线阵), 使栅极覆盖发射基底的宽度仅为 $2 \mu\text{m}$, 则 C_g 可减少到 0.07pF/mm ; SiO_2 绝缘层厚度的增加可使 C_g 进一步减小, McGruer 等在其设计的 VME 微带放大器^[21] 中将栅极与基底间的距离增加到 $12.5 \mu\text{m}$, 使 C_g 值和栅极微带线的损耗明显降低。此外, 还可以将栅极刻蚀成很细的圆环状, 或把栅极与发射基底之间的 SiO_2 绝缘层尽量掏空等, 但是这两种方法在制备上比较困难。

可见, 采用栅极直接调制原理的 VME 微波、毫米波器件对 FEA 的性能提出了近乎苛刻的要求: 必须制备很高发射能力的、单列的、发射体为楔形脊的 FEA。虽然某些专家预言这类 VME 器件的工作频率可高达 $100 - 1000 \text{GHz}$, 但有实验结果的报道是一种工作在 1.6GHz 的 VME 三极管放大器^[22]。如能避开直接在栅极上进行微波调制, 研究新颖的、微小型微波电路, 使 FEA 所发射的电子与电磁场相互作用, 实现微波的发生和放大, 将为 VME 微波、毫米波器件的发展打开一个新的局面。利用共平面波导的 SIMTRON^[23] 是这种新思路的一个例子。

兼备了固态器件和真空器件两者优点的 VME 微波、毫米波器件是一种比较理想的器件, 但从器件的工作机理、微波传输和互作用电路、相应的 FEA 和器件的结构设计, 到具体的制备技术等方面尚有大量课题有待深入研究。

5 真空微电子微波管

微波管(这里指传统的慢波型微波管)的理论、设计和制造技术等均已相当成熟,是目前品种最齐全、性能十分优良的微波功率器件,被广泛地应用于各种实用装备和系统之中。但进一步提高其工作频率和输出功率等却遇到了困难。微波管所使用的热阴极已成为其进一步发展的重大障碍。FEA不断取得的进步并开始进入实用阶段,开辟了VME微波、毫米波器件的另一个研究领域:将FEA与微波管相结合,发展新一代高性能的微波管——真空微电子微波管。

5.1 FEA的特点及其在微波管中的应用

(1) FEA具有很高的发射能力。这种高发射能力可显著地减小电子枪的面积压缩比,有利于电子光学系统的设计,获得性能更优良的电子注,甚至使面积压缩比等于1的强流电子枪有可能成为现实。从发射能力而言,FEA是提高微波管工作频率、输出功率和工作带宽等性能的理想电子源;

(2) FEA是一种冷阴极,不需消耗热子功率,有利于提高器件的总效率;FEA的使用排除了热阴极发射物质蒸散和热子故障引起的器件失效的主要原因,在要求高效率 and 长寿命工作的卫星行波管等领域将具有良好的应用前景;

(3) FEA的发射电流由其本身的栅极控制,不必采用“对栅”技术即可实现大导流系数电子注的栅控,这对于发展许多高性能微波管颇为理想;

(4) FEA的微小结构与新型相互作用电路和微细加工技术相结合,便于发展超小型和微型的微波、毫米波器件。

5.2 VME微波管的主要研究内容

在微波管中采用FEA作为电子源,并不是一种简单的零件取代,需要研究解决一系列课题。它意味着设计和发展一类全新的器件,带来的将是频率和功率上限的突破和器件整体性能的提高。VME微波管的主要研究课题有下列几个方面:

5.2.1 研制适用于微波管的FEA 它应具备三个基本条件:较高的发射能力,很小的电子横向初始速度,和长期稳定、可靠的工作特性。

微波管是利用强流电子注的功率器件,其电子源需要具备尽可能高的发射能力。例如:FEA的每一尖锥需提供 $1-10\mu\text{A}$ 的发射电流(相当于连续运用时 J_k 大于 $5\text{A}/\text{cm}^2$ 以上),才能在发射能力上对热阴极具有竞争优势。

单栅极FEA所发射电子的横向初速很大,不利于形成直径很小的、长射程强流电子注,因此难于应用于微波管(特别是高频段的毫米波管)。研制具有较高发射能力的、横向初速很小的DGFEA,是VME微波管的一项重要研究内容。

微波管内的真空环境比试验二极管内复杂得多。较高的工作电压、周围各种零件可能的放气、大发射密度下连续工作等,对FEA工作稳定性和可靠性的影响都需进行仔细深入的研究。

5.2.2 电子光学设计中的课题 FEA发射尖锥顶端的曲率半径约为 20nm 左右、实际发射面积只有几十平方埃量级,这是电子光学设计(如在设计DGFEA)中的特殊问题。FEA由大量的发射单元所组成,各相邻发射单元的间距一般为 $5-10\mu\text{m}$,与 $1\mu\text{m}$ 量级的单元束直径相比大了许多倍,需要研究FEA这种点阵式发射特性对电子注质量的影响。FEA是一种平面型阴极,这种边界条件也是电子枪设计中应注意的问题。

5.2.3 器件结构和工艺技术的研究 欲将FEA实际应用于微波管,器件的结构设计是研制工作的关键之一。FEA阴极组件的构成、电子枪的实际构造、以至整个器件的结构都要既有利于微波管各项性能的实现,又要为FEA能稳定、可靠地工作提供较理想的工作环境。例如需要合理设计阴极组件(将FEA芯片组装成“阴极”),该组件需承受随后的真空处理过程、有

利于实现电子枪的精度要求、并确保 FEA 获得良好的发射特性等。围绕 FEA 在微波管中的应用, 还需研究相应的装配、焊(封)接和真空处理等制管工艺技术, 为研制出合格的 VME 微波管提供技术保证。

5.3 发展 VME 微波管的意义

由上述分析可见, FEA 与微波管相结合, 为微波管的进一步发展开辟了一个崭新的研究领域, 能研制出新一代的, 高频率、高功率、高效率、超小型和长寿命的高性能微波功率器件: VME 微波管。这将促进高性能微波和毫米波应用系统的发展, 也将对进一步发展“理想的”VME 微波、毫米波器件(见第 4 节), 和深入开展真空微电子学其它领域的研究, 起到积极的推动作用, 很有现实意义。

6 结 论

真空微电子学是一门发展前景广阔的新兴学科。在这个以科技竞争为核心的时代, 积极从事真空微电子学的研究、努力发展 VME 器件并尽快取得重要的应用成果, 已成为各先进国家电子学研究的优先任务之一。我国真空微电子学的研究始于 1979 年, 80 年代中后期才逐渐引起人们重视。在 1988 年召开的第一届国际真空微电子学会议上我国就有论文发表^[24]。90 年代初, 我国在该领域的研究进入了一个迅速发展的阶段。目前, 全国约有 20 多个院所在该领域进行着很有意义的研究工作, 并在各个方面取得了重要的进展, 例如已研制出 FED 的原理性实验样管等^[25], 令人鼓舞。同时也需看到, 我国真空微电子学的研究目前基本上尚属起步阶段, 与先进国家相比尚存在较大差距。为了在 2000 年前, 使我国真空微电子器件的研究发展工作能够有效地取得重大进展, 亟需注意充分发挥真空电子器件和微电子技术两类专业单位各自的优势, 积极开展两者之间密切而融洽的合作研究; 同时争取具有实力的企业(集团)的积极参与和支持。

参 考 文 献

- [1] Buck D A, Shoulders K R. An approach to microminiature system. Proc. of the Eastern Joint Computer Conf., Amer. Inst. of Elect. Engrs. New York: 1958, 55-9.
- [2] Spindt C A. A thin film field emission cathode. J. Appl. Phys., 1968, 39: 3504-3505.
- [3] Takao Utsumi. Vacuum microelectronics: what's new and exciting, Keynote address on 3rd Int'l Vacuum Electronics Conference. IEEE Trans. on ED, 1991, ED-38(10): 2276-2283.
- [4] Brodie I, Schwoelbel P R. Vacuum microelectronic devices. Proc. IEEE, 1994, 82(7): 1006-1034.
- [5] Fowler R H, Nordheim L W. Electron emission in intense fields, Proc. R. Soc., London 1928, A.119: 173.
- [6] Spindt C A, Holland C E, Rosengreen A, Brodie I. Field emitter arrays for vacuum microelectronics. IEEE Trans. on ED, 1991, ED-38(10): 2355.
- [7] Thomas R N, Wickstrom R A, Schroder D K, Nathanson H C. Fabrication and some application of large area silicon field emission arrays, Solid-State Electronics, 1974, 17: 155-163.
- [8] Brodie I, Spindt C A. Vacuum microelectronics. Adv. Electron. Electron Physics, 1992, 82: 1-78.
- [9] Busta H H. Review vacuum microelectronics-1992, Journal of Micromech. & Microeng., 1992, (2): 43-74.
- [10] Rakhshandehroo M R, Pang S W. Fabrication of Si field emitters by dry etching and mask erosion. Journal of Vac. Sci. and Technol., 1996, B 14(2): 612-616.
- [11] Curtin C. The field emission display: A new flat panel technology, Invited Paper, Int'l Display Research Conference, San Diego, CA: 1990, 12-5.
- [12] Lee K J, Hill D N, Cockran J K, Chapman A T. Current limiting of field emission array cathodes, 1st Int'l Conf. on Vacuum Microelectronics, Williamsburg, Virginia, USA: 1988.
- [13] Vaudine P, Meyer R. 'Microtips' fluorescent display, Proc. IEDM 1991, 197-200.

- [14] Yasushi Toma, Seigo Kanemaro, Junji Itoh. Electron-beam characteristics of double-gated Si field emission arrays. *Journal of Vacuum Sci. and Technol.*, 1996, B 14(3): 1902-1905.
- [15] Spallas J P, Hawryluk A M, Kania D R, Field emitter array mask patterning using laser interference lithography. *J. of Vacuum Sci. and Technol.*, 1995, B 13(5): 1973-1978.
- [16] Djubua B C, Chubun N N, Emission properties of Spindt-type cold cathodes with different emission cone material. *IEEE Trans. on ED*, 1991, ED-38(10): 2314-2316.
- [17] Macaulay J M, Brodie I, Spindt C A, Hollan C E. Cesium thin-film field-emission microcathode arrays. *Appl. Phys. Lett.* 1992, 61(8): 997-999.
- [18] Tianbao Xue, Mackie W A, Dvis P R. Field emission from ZrC film on Si and Mo single emitters and emitter arrays, *Journal of Vacuum Sci. and Technol.*, 1996, B 14(3): 2090-2092.
- [19] Fursey G. The forming of submicrogeometry on the solid and liquid surface in the strong electric fields, 3rd Int'l Conf. on Vacuum Microelectronics, Monterey CA, USA: 1990.
- [20] Hunt C E, Trujillo J T, Orvis W J. Structure and electrical characteristics of Si field-emission microelectronic devices, *IEEE Trans. on ED*. 1991, ED-38(10): 2309-2313.
- [21] McGruer N E, Johnson A C, McKnight S W, Schwab W C, Chung Chan, Shen Tong. Prospects for a 1-THz vacuum microelectronics microstrip amplifier. *IEEE Trans. on ED*. 1991, ED-38(3): 666-671.
- [22] Philips P M, Neidert R E, Malsawma L, Hor C. Microwave triode amplifiers from 1-2 GHz using molybdenum thin film field emission cathode devices. *IEEE Trans. on ED*. 1995, ED-42: 1674-1680.
- [23] Friz W, Ettenburg M. The SIMTRON concept, 3rd Int'l Conf. on Vacuum Microelectronics, Monterey CA, USA: 1990.
- [24] Liu G Y, Jin S L, Bian P, Liu J H, Zhou Q H, Xue Z. Cha Z Y. A new kind of chip structure for TFFEC—Wide channel isolation on the dielectric surface. 1st Int'l Conf. on Vacuum Microelectronics, Technical Program, Williamsburg, USA: 1988,7-8.
- [25] 柯春和, 李兴辉. 平板显示器进展. 中国电子学会真空电子学会分会第 10 届年会论文集 (下集), 北京: 1995, 20-23.

A DISCUSSION ON SOME VACUUM MICROELECTRONIC DEVICES

Zhuang Xuezen Xia Shanhong Liu Guangyi

(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract A brief introduction of some major vacuum microelectronic devices is presented including field emitter arrays(FEA), feild emission displays(FED) and the vacuum microelectronic devices in microwave and millimeter-wave bands. The paper mainly discusses the requirements for FEA by the mentioned devices, possible solutions to the requirements, and further research topics. As an example, the paper also discusses research topics and problems about vacuum microelectronic microwave tubes.

Key words Vacuum microelectronics, Field emission arrays(FEA), Field emission displays(FED), Microwave tubes, Millimeter-wave devices

庄学曾: 男, 1939 年生, 副研究员, 从事真空微电子器件、毫米波器件和技术等研究.

夏善红: 女, 1959 年生, 研究员, 从事真空微电子传感器、电子光学等研究.

刘光诒: 女, 1937 年生, 副研究员, 从事真空微电子学、阴极电子学等研究.