

# 固体电子学的发展概况\*

張 一 民

## 提 要

本文介绍了固体电子学发展的全貌。特别对国际上发展迅速的一些尖端问题和新的动向,作了概括性的说明。

文中首先讨论了固体电子学高速发展的客观形势和要求以及它在发展中的特色。把固体电子学的具体内容按固体现象、元件及应用加以概括,并且列举了较重要的电子学系统的固体元件化。

全文的重点是讨论固体电子学发展的四大尖端:超快速、超高频、超小型和量子无綫电物理,以及一些新的动向。指出元件和綫路的统一是整个发展中的特色。在这个趋势下,物理研究、材料器件制备和綫路应用将进一步结合起来。其结果将导致新电子学技术向更高阶段迈进。

最后总结了目前发展中几个基本性的理论课题。

## 一、固体电子学总的介绍

近十年来,固体电子学的发展清楚地表明了社会需要决定着科学的发展方向和直接影响着它的发展速度。在这里我们想说明二个問題:1)固体电子学高速发展的客观形势和要求;2)它在发展中的一些特点。

目前除了原子能科学技术的巨大发展外,我们正面临着一个崭新的电子学时代。許多尖端电子技术,如导航技术、計算技术、微波技术、自动化技术等的发展,正把人类对自然的控制推向前所未有的高度。这些新技术都是现代軍事技术的核心,并且在国民經济中引起一系列的革新,产生着巨大而深远的影响。新技术的发展对电子学元件提出了进一步的要求。要求它們更快、更小、更大量、更可靠。一些旧的电子学元件如:真空管、电阻、电容、电感等已远远不能满足发展的需要。必需有大量的多种多样的新材料、新器件。这些新材料和器件利用了固体各方面的性质,包括固体的电学、磁学、光学、力学等性质以及在低温等特殊条件下的各种固体现象。由于固体物理学的高速发展和它与新电子学技术的密切結合,十年来創造了半导体晶体管、鉄氧体元件、各种薄膜元件、新型光电元件、低温量子放大器等日新月异的电子学器件。它們成为今天各项电子学尖端技术发展革新的基础。

固体电子学就是在上述的客观形势下,固体物理学与电子学互相渗透的产物。它主要是固体电子学器件的物理基础与技术的研究。将固体物理中半导体物理、磁学、固体发光、低温物理等学科的最新研究成果发展成新电子学元件和新电子学设备。所以固体电

\* 1960 年 6 月 17 日收到。

子学的发展紧密地依赖于物理学的发展。另一方面,它正是近年来固体物理蓬勃发展的主要动力之一。

固体电子学高速发展中的一个特色就是它紧密地结合并且导致了电子学元件与线路向更高的阶段发展。这个趋势就是电子学线路从宏观的研究发展到微观的研究;元件和线路从彼此孤立的研究发展到元件和线路的统一。这个发展趋势是值得特别重视的,因为它是以上提到的一系列尖端技术如导航、计算技术等向更高阶段发展中的关键问题。当这些技术要求速度更快、频率更高、体积更小,用来制造它们的电子学元件和部件就必须向超快速、超高频、超小型发展。从目前看来,要解决这个问题就必须以新的概念来进行物理、材料、元件与线路的研究。他们互相之间的关系也起了本质上的变化。进行物理研究的物理学家,进行材料和器件制造的工艺学家和进行电子学线路应用的电子学家,将不再是很少连系或漠不相关地各自进行本行的工作。一个新电子学设备或仪器产生的步骤,也不再是首先取得某些材料,然后将材料加工制成各种器件,第三步才开始考虑如何把这些定型的器件连接起来应用于电子学技术上。从一堆熔化的材料中,直接炼制出一只收音机或其他电子学设备已逐渐可以实现,这一切都要求我们把研究固体中各种电子运动复杂的规律和电子学线路中的应用更直接地连系起来考虑。随着我们对固体内部日益深入的了解和各种固体器件工艺过程的发展,电子学线路将从已往的把许多定型的元件,用宏观的分析方法研究它们的连接问题,逐步过渡到新的研究方法,即从电子学应用的需要出发,直接从物理现象和材料的研究中进行线路的微观综合。

总括起来,尖端技术如计算机、导航、微波等向更高阶段的发展,在许多关键问题上将有赖于固体电子学的先行。固体电子学的地位是在最前哨。作为固体物理学和电子学新技术交界处的边缘科学,它具有独特的发展途径和强大的生命力。

## 二、固体电子学的具体内容及国外发展情况

固体电子学的具体内容分下列几个方面:1) 半导体;2) 磁;3) 低温;4) 发光;5) 电介质;6) 量子无线电物理。

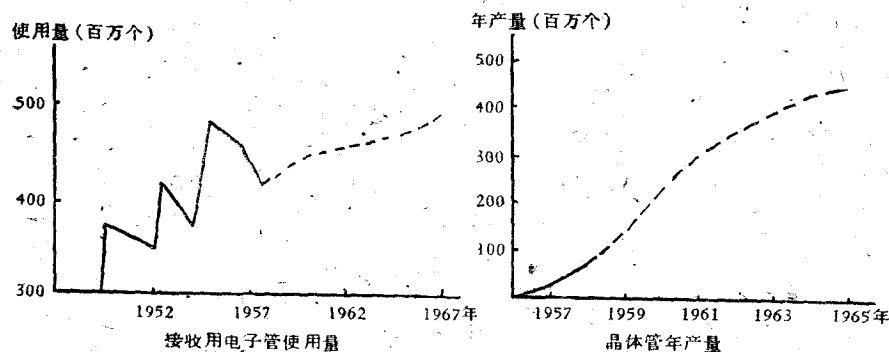


图1 晶体管年产量与接收用电子管使用量比较  
(根据美国, "Electronics", 1958年, 5月号。仅包括美国产品)

近年来,固体电子学发展极为迅速,不但在研究方面进展很快,而且在生产上也已经成为一个重要的新兴电子工业。举半导体元件中的晶体管为例:参考图1,晶体管经过10

表1 现象, 元件及应用

## (1) 半导体元件及其应用

| 现象         | 元件                                                 | 应用                                  |
|------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|
| P-N 结      | 二极管: 点接触<br>面接触<br>三极管: 合金管 <20 兆周<br>扩散管 <1000 兆周 | 检波, 整流及开关<br>放大及开关<br>是半导体电子学最主要的元件 |
| P-N 结雪崩效应  | 闸流管                                                | 快速开关及大电流开关                          |
| P-N 结非线性电容 | 参量放大——低噪音放大器, 米波到毫米波                               | 已有商品出售, 并用在微波接收系统上                  |
| 共振及负阻效应    | 负质量放大器                                             | 理论上可至亚毫米波                           |
| 霍尔效应       | 霍尔效应器件                                             | 功率计, 地磁仪等                           |
| 光电导        | 光电器件                                               | 开关, 红外接收等                           |
| 光生伏打效应     | 光电池                                                | 光电池                                 |

## (2) 磁元件及其应用

| 现象     | 元件                                 | 应用                                       |
|--------|------------------------------------|------------------------------------------|
| 矩型磁滞迴线 | 磁蕊、磁板等                             | 大量应用于电子计算机, 开关时间<br>及自动控制等线路上 } 1—0.1 微秒 |
|        | 磁膜                                 | 快速, 开关时间 } 已使用于部件上<br>1—10 毫微秒           |
|        | 磁放大器                               | 寿命长, 坚固可靠, 大量用于电力控制<br>等应用上              |
|        | 磁调制器, 倍频器等                         | 调制器产生大功率脉冲推动磁控管                          |
| 法拉第效应  | 铁氧体微波元件: 隔离器, 环行<br>器, 微波开关, 微波调制器 | 是微波应用上基本元件                               |
| 磁致伸缩效应 | 换能器(大功率高频)                         | 超声波应用等                                   |
| 共振效应   | 在低温下, 做成量子放大器. 非<br>线性放大上做成参量放大器   | 微波应用                                     |

## (3) 低温元件及其应用

| 现象                                                | 元件                       | 应用                            |
|---------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 顺磁共振                                              | 固体量子放大器——低噪音微波<br>放大器    | 已用于远程雷达及多路微波通讯, 噪<br>音低, 频率稳定 |
| 超导                                                | 冷子管, 薄膜元件——开关元件<br>及记忆元件 | 适用于快速计算机部件,<br>开关速度 <10 毫微秒   |
| 半导体在低温下的雪崩击穿                                      |                          | 开关速度 <10 毫微秒 } 干扰小, 体<br>积小   |
| 超导体屏蔽磁场的性能<br>(在磁场没有达到临界强度<br>时, 超导体能阻止磁力线通<br>过) | 低温迴转器 (Gyroscope)        | 将制成迄今最精确的导航用的重要元件             |
|                                                   | 低温磁透镜                    | 有可能制出更强大的电子显微镜, 用<br>来直接观察原子  |

## (4) 发光元件及其应用

| 现 象      | 元 件        | 应 用                      |
|----------|------------|--------------------------|
| 场致发光     | 固体显示屏      | 固体雷达屏, 电视屏, 体积大, 取代阴极射线管 |
| 场致发光和光电导 | 光加强器(光放大器) | 电视照相机                    |

## (5) 电介质元件及其应用(电介质元件包括压电晶体, 铁电体等元件)

| 现 象    | 元 件          | 应 用                    |
|--------|--------------|------------------------|
| 矩型电滞回线 | 记忆元件, 电介质放大器 |                        |
| 电致伸缩   | 换能器, 压电晶体    | 超声波应用等, 是效率最高的换能器, 滤波器 |
| 高的介电常数 | 电容器          | 可以制成体积小电容量极大的电容        |

年的发展在年产量上已接近有 50 年历史的电子管。有的国家估计在 3、5 年后, 二者的使用量和生产量即将趋近相等, 在价格方面也将趋近相等。单从这个元件的生产和使用量上就可推测固体电子学发展的规模和产生的巨大影响。

## 三、各种电子学系统的固体元件化

各种电子学系统的固体元件化, 具体地说明了固体电子学在尖端技术和国民经济上的重大影响。

1. 计算技术 固体计算机取代电子管计算机大体上已成定局, 具体分成下列几个部分:

开关及逻辑元件用于执行运算控制, 它包括目前已大量生产的高频晶体管和正在研制中的低温半导体元件、变参数元件、隧道二极管、雪崩元件等。

记忆元件用于存储信息, 包括磁心、磁膜、磁带、磁线、磁鼓、低温薄膜、电介质元件和光电元件。

转换元件用于输入输出设备, 包括光敏元件、场致发光屏、光电导部件。

目前的快速计算机主要是以半导体及磁元件为主, 国际上一些新的发展是研制低温计算机和微波计算机。

2. 微波技术 低噪音固体微波放大器及铁氧体非互易元件(隔离器及环行器等)是目前微波技术中最受重视的领域之一。在微波的产生、传输、接收及测量上都起着重大的影响, 特别重要的是雷达系统的固体元件化, 使雷达的接收距离更远, 体积更小。用发光体制成的大面积固体显示屏, 用磁元件制成的天线聚焦和扫描系统, 都是重要的发展。

3. 电视技术 这方面特别重要的发展是固体电视屏和光放大器。

4. 邮电通讯 固体自动交换机, 固体增音器。

5. 自动化技术

6. 导航电子学技术 这方面特别重要的是固体元件在红外技术和超小型技术中的发展。

## 四、固体电子学发展的四大尖端及一些新动向

### 1. 超快速元件及其应用上的一些问题

如上一节所说,在计算技术、脉冲通讯、自动控制等脉冲应用中,都需要有快速开关元件和存储元件。随着尖端技术上要求把速度进一步的提高,首要的问题就是发展超快速元件。下面把目前国际上正在大力发展的一些超快速元件列在表2中。

表2 几种超快速固体元件

| 元 件   | 开 关 时 间 $10^{-9}$ 秒 | 发 展 情 况 |
|-------|---------------------|---------|
| 高频晶体管 | 10                  | 最成熟     |
| 低温元件  | 10                  | 研制阶段    |
| 磁膜    | 1—10 (不能放大)         | 研制阶段    |
| 隧道二极管 | <1                  | 研制阶段    |
| 变参数元件 | 1 (用 10000 兆周电源)    | 研制阶段    |

其中除了高频晶体管外,其他都在研制阶段,但都已有上述的初步结果。特别是隧道二极管和变参数元件都有极大的发展潜力,将使开关速度突破1毫微秒大关。超快速元件用于计算技术中,有希望制造出运算速度为每秒1千万次以上的计算机。

超快速元件中的一个基本问题就是很难区别元件和线路。物理研究和线路应用是紧密结合的。在这么高的速度下,一根导线就是一个大电感,讯号的输入方式和管壳的设计本身就是一个大问题,也是元件设计的一部分。以低温半导体开关为例,它是在一块特殊的半导体材料上烧上一个接触点,放在低温下,利用它的雪崩现象,这就是一个负阻开关元件。在一块1平方厘米面积、0.1厘米厚的半导体材料上,可以烧上625个接触点,也就是制成625个独立的元件。讯号怎么输入到这625个元件上去,这些元件彼此间又怎么连接,这些问题和元件的制备很难分开来。在这个例子上可以看到:物理的研究(低温下的半导体雪崩现象)、材料的制备(含特殊杂质的锗或硅片)、器件的制造和线路应用(烧接触点、连线)都打成一片,清楚地说明了物理、材料、器件和线路的统一问题。

超快速元件应用的另一个问题,就是元件间讯号的传输问题。讯号传输的最快速度是电磁波在空间以每3毫微秒1米而传送。我们可以设想,如果要制造一个快速的大型计算机,那么讯号就必须在数以千计或万计的元件间传送。这样,传送时间就会变成限制速度的一个重要因素。解决问题的一个方法,是把元件做小,连线做短。在这个问题上,线路和元件的统一又成了解决问题的一个主导思想。小型问题的另一个提法是考虑用新的介质传输方式来代替波导管传输。目前利用微带传输方式已能使传输距离大大缩小。但是,它进一步小型化,传输波能量的辐射和干扰问题还有待于解决。彻底解决这个问题一个途径是对固体内部进行更深入的研究。考虑出一种方法能把高频能量集中在一个小的体积内进行传送。

### 2. 超高频元件及其应用上的一些问题

这里指出的“超高频”范围较广,包括分米波(300—3000兆周)、厘米波(3000—30000

兆周)、毫米波(30 千兆周至 300 千兆周)以及亚毫米波(300 千兆周至 3000 千兆周)波段。在雷达、微波多路通讯、超高频电视、射电天文学等微波技术的应用中,固体元件都起着重大影响,并不断引起革新。最主要的一个方面是具有放大和振荡性能的低噪音固体元件。下面把目前国际上正在大力发展的一些超高频元件列在表 3 中。和电真空元件比较,固体超高频放大及振荡元件中的优点是噪音较低,缺点是功率较小。发展中的一个特色和我们超快速元件所提的一样,很难区别元件和线路。以隧道二极管为例,理论上隧道现象有极高的频率极限。在实际上(特别由于隧道二极管的阻抗低)限制频率的是超小型工艺,管壳设计和线路问题。有人曾在元件和线路合一的思想指导下,设计了 4000 兆周的振荡器如图 2 所示。在这个例子上,制造振荡器线路和制造一个单一的二极管在工艺上区别不大。由于元件与线路合一,取得了迄今隧道二极管最高的振荡频率。

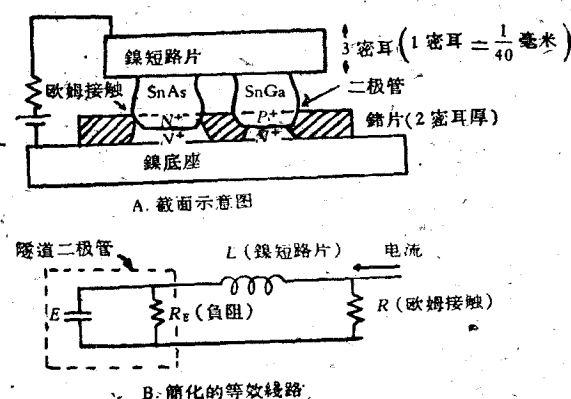


图 2 用隧道二极管元件和线路合一制成的微波振荡器

表 3 几种超高频率固体元件

| 元 件    | 已制出放大器频率 | 理论上极限频率 | 特 征 和 发 展 情 况            |
|--------|----------|---------|--------------------------|
| 高频率晶体管 | 1000 兆周  |         | 成熟                       |
| 参量放大器  |          | 厘米波及毫米波 | 需要微波电源                   |
| 半导体二极管 | 10000 兆周 |         | 功率为毫瓦级, 研制成熟, 已应用于电子学系统上 |
| 铁氧体    | 7400 兆周  |         | 功率较大                     |
| 隧道二极管  | 4000 兆周  |         | 功率小(微瓦级), 研制阶段           |
| 负质量放大  |          | 亚毫米波    | 宽频放大, 尚处于理论探讨阶段          |

固体元件在微波技术中另一个主要的应用是制成非互易器件。在这方面,铁氧体占主要的地位。利用铁氧体制成的微波隔离器、环行器等元件已成为微波传输的关键性元件,大大简化了微波线路和设备,或者是完成了其他器件不能完成的作用。利用半导体霍尔效应来研制非互易元件最近也有了进展。固体元件这方面的发展中的一个重要的问题是小型化的问题。结合上面所提到的微波计算机制造,可以设想假如有大量超小型的隔离器和环行器,微波计算机制造中的许多关键问题就可以解决得更好。它们将起类似于晶体二极管在普通计算机中所起的重要作用。

### 3. 超小型固体元件及固体组件

目前国际上正在这方面开展大量的研制工作, 它的成果有可能使电子学线路和设备体积缩小 3 到 4 个数量级 (1000 到 10,000 倍), 使用功率缩小 3 个数量级。这样, 电子学线路和设备的面貌将起根本的变化。

在工作的发展过程中, 解决超小型问题的研制途径不断在变化和改进。最开始是把电阻、电容、晶体管等元件尽量做小, 然后把它们紧密的连接成线路来获得小体积。这方面的工作如制成体积小小的钛电容、薄膜电阻等。一个重要的有利条件是晶体管本身有很大的缩小潜力。如图 3 所示, 以一个 PNP 扩散管为例, 起作用的部分仅是直径为小于 1 毫米、厚度为 0.2 毫米左右两个 P-N 结。全部有效体积小于 0.2 立方毫米。直接把晶体管做到线路路上, 只要能很好的解决密封问题, 将使体积大大缩小。目前这方面的工作, 已渐趋于成熟。

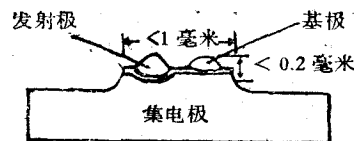


图3 合金扩散高频晶体管

超小型问题进一步的发展, 是在元件和线路统一的主导思想下制成固体组件。从一片半导体材料开始, 进行工艺加工如扩散、烧结、喷涂、超声波切割、腐蚀等过程。最后制成一块具有某种电子学线路性能的组件。所谓“组件”就是各个元件已很难互相区别开来, 只能从整个组件的特性来说明它的线路性能。有人曾制成火柴头般大的触发器线路。一小块  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{8} \times \frac{1}{32}$  英寸大的硅, 包括两个晶体管, 两个电容, 八个电阻。这里我们将简单地讨论这一个设计原理。在图 4 上, 我们可以看到, 在一片半导体或其他材料上可以制

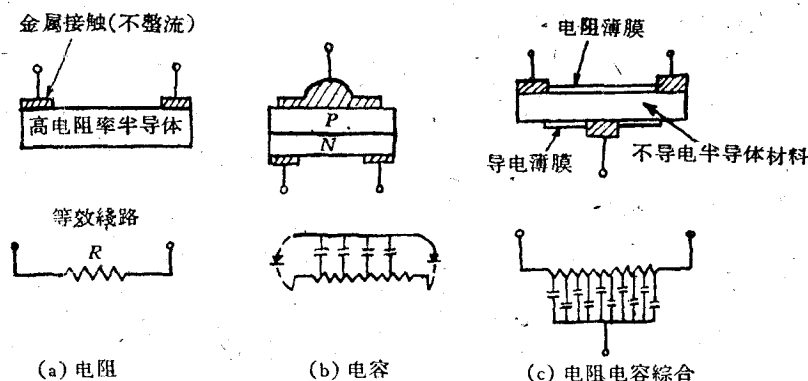


图4 利用元件和线路统一来获得小体积

成等效电阻、电容等元件。图 5 表示如何从一个简单的不谐多谐振荡器线路图制成固体组件<sup>[1]</sup>。电阻  $R_1, R_2, R_3, R_4$  是用电阻性薄膜制成。电容  $C_1, C_2$  是利用间距极近的电阻薄膜中间的分布电容形成。在  $T_1, T_2$  位置上制成扩散管 PNP 结。线路图上各个单元之间的连线可以是分布式的, 也就是不需要外面用线连接, 而是利用材料本身的渐变。如  $R_1, R_2$  和  $C_1$  间的连接就是如此。

固体组件的另一个新的研制途径是直接从熔化的材料中炼制出电子学线路<sup>[2]</sup>。有人从半导体材料中拉出具有不同区域的带状单晶。精确地控制不同的区域, 能使拉出来的带状单晶具有特殊的电子学线路效应。带状单晶尺寸很小, 约 0.5 厘米宽, 几十微米厚,

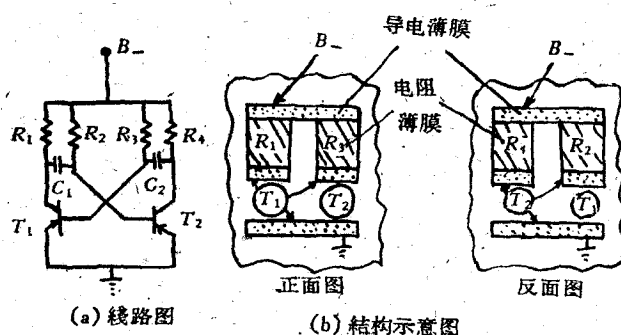


图5 元件和线路合一制成的不稳多諧振盪器

現在已經可以看到它們的成果將使電子學線路及設備從設計、生產到應用，都改變舊面貌，引起一系列的技术革命。

#### 4. 量子無線電物理

低温固体量子放大器能得到极低的噪音，精确和稳定的频率。它的出现标志着一个崭新的研究领域。用量子放大器产生的微波放大，不同于一般的微波电真空放大器件。不再是在真空中利用电子枪产生自由电子与高频电磁场交换能量因而放大输入信号。它利用电磁波激发物质中的离子，使之发生量子态的转换而放出与信号频率相同的量子，从而把输入信号放大。

我們知道，某些物质中分子的量子态能量极为接近（例如顺磁盐类离子在加磁场的情况下），相当于无线电波中微波波段的辐射能。所以如果利用有一定频率的电磁波作为电源，把較低的量子态激发到更高的量子态，并且有足够的弛豫时间，使得进入的适当频率的信号能够激发处于高量子态的分子，放出与输入信号频率相同的辐射能，便能产生放大。一般来讲，要获得有足够长的弛豫时间来产生放大，必须在液体氮的低温下进行。要使输出功率足够大，使能满足一般应用上的要求，最好采用固体材料。

由于在低温下工作，并且没有运动着的自由电子，因此，量子放大器可以得到迄今最低的放大器噪音系数。有人已将它应用到射电天文望远镜和远程雷达的前级放大上，接收到了从金星上反射回来的雷达信号。它将对雷达技术和射电天文的发展起着极大的作用。另外在开拓微波新波段如毫米波和亚毫米波的产生和放大上，量子放大的原理提供了一条新的重要研究途径。

在气体波谱方面现已制成了氨分子钟和铯原子钟，频率稳定度极高，可作为稳频器和时间标准。利用氨气体分子吸收的窄谱线制成的分子钟和利用铯原子制成的原子钟，都有很高的稳定度。长时期用稳定度小于  $10^{-10}$ ，短时期（几小时）的稳定度小于  $10^{-12}$ ，并且正在不断地继续改进中。过去作为时间标准的是特殊稳定的晶体振荡器，最好的长期稳定度约在  $10^{-8}$ /月。用分子钟和原子钟这样稳定和精确的频率标准，可以进行许多精确的物理实验，例如利用多普勒效应，可以准确地测量出各种运动物体的速度。这在导航技术中有重要的应用，并能引起物理学和天文学上新发展的可能。

可以拉成几十米长。人们已制成触发器、放大器等带状固体组件，并且制成固体电源如图6所示。有人预言在1962年将能拉出绿豆般大的无线电收音机，特别强调在三、四年间能拉出红外探测器、导航设备中所用的几种电子学仪器的固体组件。

总之，超小型的研究途径是多种多样的，并且在不断发展中。

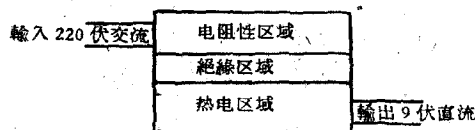


图6 固体电源示意图及工作原理

电阻性材料区域把交流电能变成热能。热能通过绝缘区域，在热电材料区域由于 Seebeck 效应又变回成电能，输出直流电没有纹波。



### 5. 三超元件的相互关系和开辟新途径的展望

从以上超快速、超高频及超小型元件的讨论中, 可以看到这三个尖端方向是密切联系、相互促进的。从制造更高速度的计算机中特别清楚地说明了“三超”的相互依赖关系。它们的发展各有重点, 发展的途径也是多方面的。但是一个重要的主导思想是元件和线路的统一, 也就是固体物理研究和电子学线路应用更密切的相互渗透。固体组件正是这个趋势的一个落实的具体表现。元件和线路统一的概念的进一步发展, 将使我们能更好地利用目前已知的和尚在探索中的一些固体现象, 如 P-N 结、隧道现象、超导膜、负质量放大、雪崩现象等, 把它们综合成新的组件、新的线路。再进一步, 就必须广泛地探索新现象并加以应用, 特别是可以从固体内部去考虑: 研究固体中微结构如晶体界面、位错、磁畴界壁等的电磁性质。在这儿我们再讨论一个有启发性的新元件, 晶粒界面晶体管<sup>[3]</sup>。如图 7 所示, 如果我们拿两个籽晶的 [001] 方向平行放着, 然后对称地对这个方向各倾斜一个相等的角度, 用它们拉出来的晶体是孪生的, 它的两个晶体的晶格间的夹角就等于原来两个籽晶的夹角。我们可以沿垂直于生长的方向切一片材料, 制成晶体管。如果晶体本身是 N 型, 晶粒界面呈 P 型, 那末结构就与 NPN 相似。晶体管如照图 7b 方式连接起来,

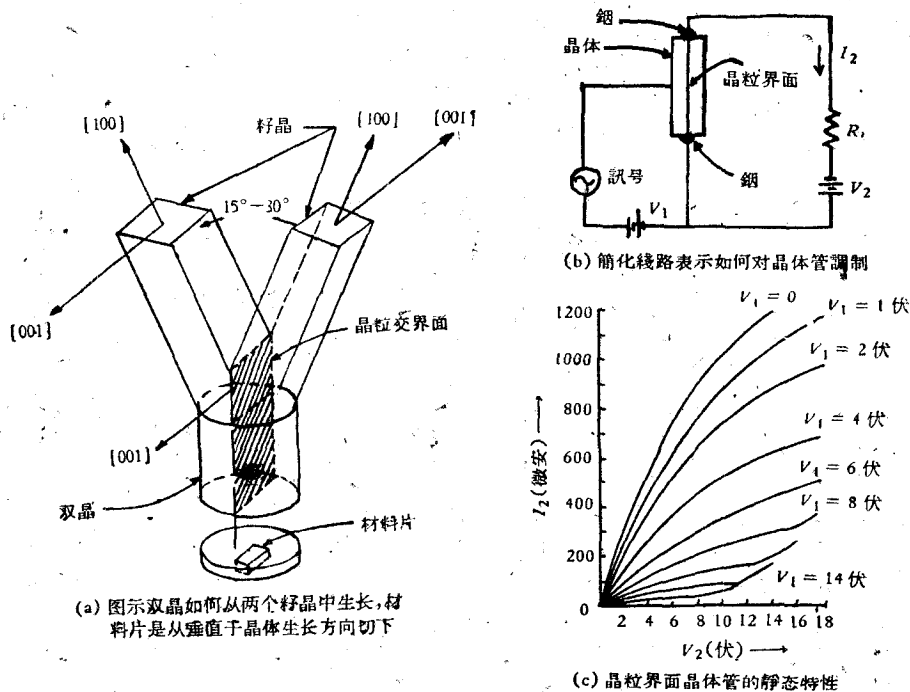


图 7 晶粒界面晶体管

利用调制 P-N 结阻挡层厚度调制输出电流, 就能产生放大, 并且可以在极低温度 ( $2^{\circ}\text{K}$ ) 下工作。这个工作也有人在进行。将来有可能应用于星际技术中作低温下的放大用。

上面的一个工作虽然尚不成熟, 特别是新元件的电学性质尚不够清楚。但它说明了研究固体内部微结构如晶体界面、位错的电磁性质, 把它们更好的控制和排列组合。可能会导致三超元件方面新的突破。

## 五、結 束 語

在本文中我們对固体电子学发展的全貌,作了初步的介紹,特別对国际上发展迅速的一些尖端問題和新的动向作了概括和分析。最后我們把比較基本的几个問題,总结为下面几点。

1. 元件和綫路的統一問題 这个問題是有逐步变化过程的。最初是一个电子学綫路問題,如在分布放大器的設計中,必須把綫路和真空管合在一起考虑。現在进一步的发展,它說明了固体物理和电子学相互渗透,更紧密的結合。它代表着一个日益显明的趋势,那就是物理研究、材料器件制备和綫路应用更进一步的融合起来。总的来講,它是固体电子学这门边缘科学发展中的特色。在这个主导思想下,固体現象将更好的与新技术应用相結合。新电子技术将迅速地改变面貌,向更高的阶段迈进。

2. 綜合理論 元件和綫路合一的系統研究方法之一是进行“固体組件綜合理論”的研究。这个研究有两个方面:一方面是以物理研究为主,进行固体内部微結構,如晶体界面、位錯、磁畴界壁和其他新現象的研究。另一方面是以綫路为主,对各种已知的物理現象,进行固体网络綜合理論的研究。

3. 微波傳輸問題 包括微波在固体內傳輸的研究,和新非互易元件的研制。希望能导致超小型的微波傳輸元件和新的微波傳輸方法。

4. 固体組件制造理論的研究及发展 解决从一堆熔化的材料中直接炼制出电子学仪器及設備,促使将来的电子学設備的設置和生产起根本性的变化。

## 参 考 文 献

- [1] Hager, C. K., *Electronics*, Sept. 4 (1959), 44.
- [2] 报导, *Electronics*, Feb. 12 (1960), 36.
- [3] Weber, S., *Electronics*, Jan. 23 (1959), 34.

## THE PRESENT STATUS OF SOLID STATE ELECTRONICS

CHANG I-MIN

### ABSTRACT

The rapidly rising field of solid-state electronics is reviewed. The characteristics of its development, the important items at the present time and its future trend of development are examined and analyzed.

The content of solid-state electronics is summarized under the headings: solid-state phenomena, devices and applications. Solid-state electronic systems are discussed briefly.

The main theme of the paper consists of a discussion of the four important developments at the present time, namely:

1. Ultra-high-speed switching devices and their applications.
2. UHF and microwave devices and applications.
3. Microelectronics and its synthesis.
4. Quantum-mechanical amplifier.

The paper concludes by summarizing some of the fundamental problems in the development of solid-state electronics.