

## 第四讲 半导体器件的初登场

在半导体理论和工艺的成熟之前，用半导体特性来制作满足人们需要的器件的探索其实早已开始，其中值得一提的就是基于 Braun发现的整流效应的基础上发展起来的“猫须二极管”。

# 一、Hertz的实验



**海因里希·鲁道夫·赫兹** (Heinrich Rudolf Hertz, 1857 - 1894), 德国物理学家。他在物理学多个方面都有杰出贡献, 特别是在电磁学和光电效应方面。他英年早逝。为了纪念这位杰出的科学家, 频率的国际单位制单位就以他的名字命名为赫兹。

# 一、Hertz的实验

赫兹曾经在德国德累斯顿、慕尼黑和柏林等地学习科学和工程学。他是古斯塔夫·基尔霍夫和赫尔曼·亥姆霍兹的学生。1880年赫兹获得博士学位，

赫兹在柏林大学随赫姆霍兹学物理时，受赫姆霍兹的鼓励研究麦克斯韦电磁理论，当时德国物理界深信韦伯的电力与磁力可瞬时传送的理论。因此赫兹就决定以实验来证实韦伯与麦克斯韦理论谁的正确。

# 一、Hertz的实验



赫兹用两个加上高压交流电的金属小球，进行高压放电，按照麦克斯韦理论，这样会产生电磁波，因此这可以作为电磁波发射器。

他也安置了两个用导线连在一起的金属小球，作为电磁波的接受器在相距一定距离处准备接受电磁波。

经过不懈的努力，他观测到了检波器的电火花隙间确有小火花产生，这说明了的确有电磁波的产生，并且电磁波可以在空间传播，通过测试振荡器的频率并利用检波器量得电磁波的波长，赫兹测得了电磁波的传播速度。正如麦克斯韦预测的一样。电磁波传播的速度等于光速！

# 一、Hertz的实验

随后，赫兹继续研究了电磁波的特性，证实了电磁波具有反射、折射、干涉等性质。赫兹把他的重要发现总结在1887年11月的《论绝缘体中的电过程所引起的感应现象》和1888年1月的《论动力学效应的传播速度》两篇文章中。

赫兹的发现证实了电磁波的存在和麦克斯韦所说光是一种电磁波的预言，使得法拉第和麦克斯韦理论大获全胜。更为重要的是，赫兹的实验为人类利用电磁波奠定了基础，开创了电子技术新时代。

## 二、无线通讯时代的来临

赫兹的发现使人们意识到可以利用电磁波来传递信息--- 无线电发报。

1894年，赫兹去世的那一年，意大利的马可尼读了赫兹写的关于电磁波实验的文章后，他经过努力，制作了金属屑检波器，成功发明了无线电接收机，接收到了远处的无线电信号。此后，他对接收机进行了不断改进。终于在1901年，马可尼成功地进行了横跨大西洋的无线电通信实验，随着他的实验成功，商用无线电通信公司开始出现。

**伽利尔摩·马可尼 (1874-1937) ，意大利人，商用无线电报通信的创始人。**

## 二、无线通讯时代的来临



**Marconi Admiralty Pattern Coherer**

*Source: The Science Museum (UK)*

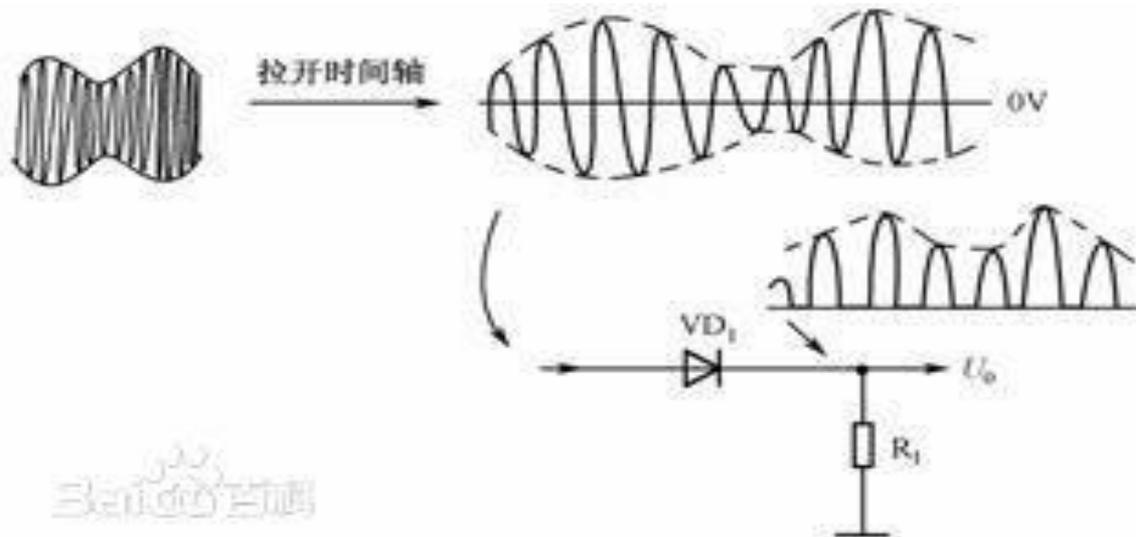
## 二、无线通讯时代的来临

马可尼的金属屑检波器在实际应用中，工作很不稳定，故障率高。因此，是否可以设计和制作有更好性能的检波器，就成了当时面临的一个重要难题。

第一讲中所提到的德国物理学家卡尔·布劳恩（Karl Braun）在研究一种硫化铅化合物的导电性质所发现的整流特性由于无线电通讯的发展而获得了应用。这也是半导体材料的第一个器件应用。

## 二、无线通讯时代的来临

利用无线电技术传递信息时，是通过调制（调频或调幅）将信息加载于无线电波之上。一般而言，调幅信号是将一个低频信号加载在一个高频信号上，携带信号的无线电波通过空间传播到达接受端。如果将整个信号接受下来，此时对每个周期取平均其值恒为零。如果用具有整流效应的器件，由于其特有的单向导电性的特点，只有半个周期的信号被取出来，此时取平均值即为调幅的低频信号的波包，这样就实现了检波功能，获取到了所要传输的信息。



## 二、无线通讯时代的来临

William Brattain, co-inventor of the transistor, would acknowledge that Bose had beat everyone to the punch on semiconductors and would credit him with **inventing the first semiconductor rectifier.**



*"J.C. Bose was at least 60 years ahead of his time" and "In fact, he had anticipated the existence of P-type and N-type semiconductors."*

--- Sir Neville Mott, Nobel Laureate in 1977

Jagadish Chandra Bose

## 二、无线通讯时代的来临

将点接触的整流器件发展成为真正实用器件的是美国的发明家G. W. Pickard。

他的器件被称为“猫须探测器” (**cat's-whisker detector**)，并且是基于硅材料的器件，他的专利于1906年被批准。（据说他尝试了约30000种材料，最终发现硅材料最稳定）。



Radio pioneer G.W. Pickard (1877-1967) in his Boston laboratory

*source: Wikipedia*

## 二、无线通讯时代的来临

A galena cat's-whisker detector, a point-contact diode



金属线（猫须）一端和晶体材料（半导体，请注意当时尚未有半导体这一概念）接触（点接触）一端接着一个有绝缘柄的调节器上，通过调节器调节接受方向和角度以得到最佳效果。

*By J. A. Davidson - en wikipedia,  
Copyrighted free use*

**猫须探测器是世界上第一个实用的半导体二极管！**

## 二、无线通讯时代的来临

# The Nobel Prize in Physics 1909



**Guglielmo Marconi**  
Prize share: 1/2



**Karl Ferdinand  
Braun**  
Prize share: 1/2

The Nobel Prize in Physics 1909 was awarded jointly to Guglielmo Marconi and Karl Ferdinand Braun *"in recognition of their contributions to the development of wireless telegraphy"*

### 三、真空管的出现与半导体器件的首秀失败

1883年，为了寻找电灯炮的最佳灯丝材料，爱迪生做了一个实验。他在真空灯泡内的碳丝附近放置了一块金属铜薄片，希望它能阻止碳丝的蒸发。实验结果使爱迪生大失所望。但在实验过程中，爱迪生无意中发现了——一个奇特的现象：当电流通过碳丝时，没有连接在电路里的金属薄片中也会有电流通过。可惜的是，爱迪生并没有重视这个现象，只是把它记录在案，申报了一个未找到任何用途的专利。后来，人们将这一发现命名为“爱迪生效应”。

### 三、真空管的出现与半导体器件的首秀失败

1904年，弗莱明基于“爱迪生效应”发明了所谓的“热离子阀”器件。

它是一个特殊的灯泡，灯泡中放置了一块金属片，如果给金属片加上高频的交变电压，交流电在通过这个装置后就会变成直流电。这个能够充当交流电整流和无线电检波的装置，就是世界上第一个电子管 - - 真空二极管。



约翰·安布罗斯·弗莱明 (*John Ambrose Fleming*) (1864年11月29日 ~1945年4月18日)，英国电机工程师、物理学家

### 三、真空管的出现与半导体器件的首秀失败

德福雷斯特（De Forest Lee）是美国发明家。他也对“爱迪生效应”感兴趣，想以此发明出新的器件。当他听说Fleming已经率先发明了真空二极管后，心中十分沮丧。但他仔细研究了Fleming的发明后，认为还有改进的余地，经过不懈的努力，发明了真空三极管（Triode）

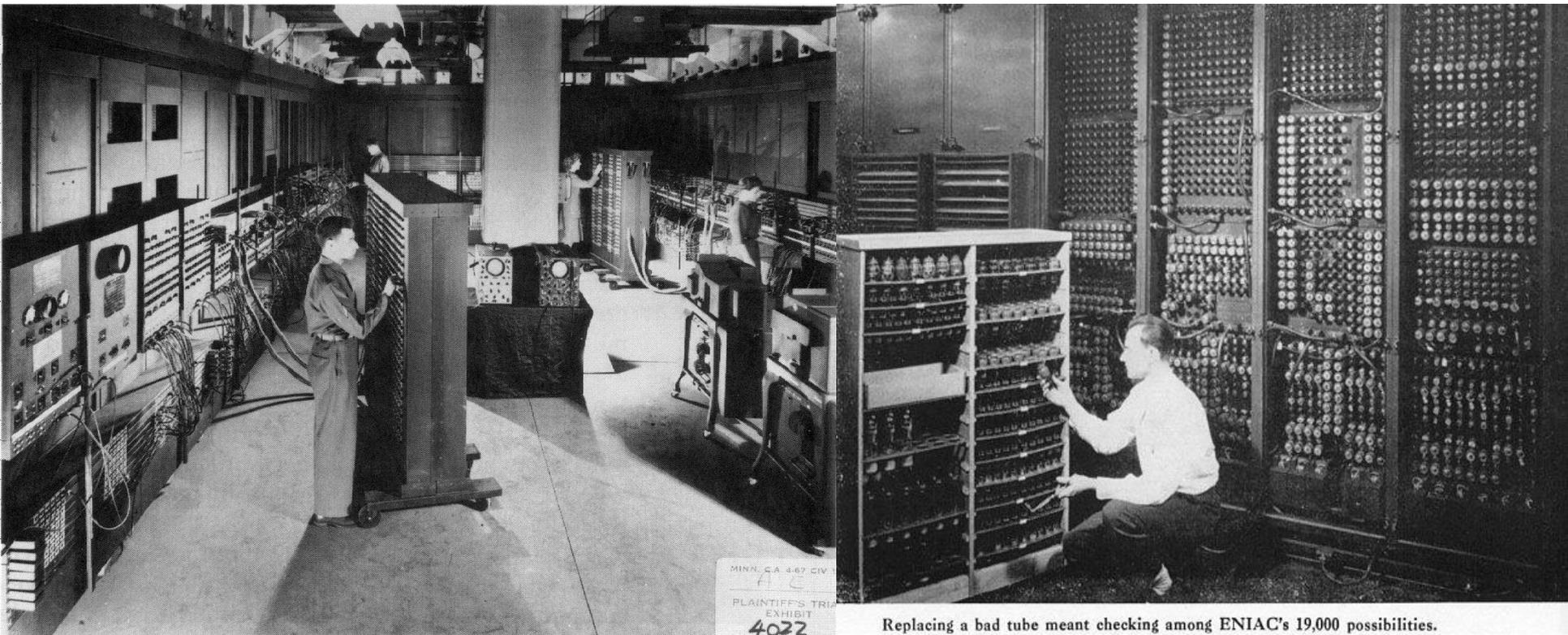
1906年10月，德福雷斯特申请了真空三极管放大器的专利，并于1907年1月被批准。

德福雷斯特的三极管不仅能做到真空二极管的整流和检波作用，更为关键的是其具有对微弱信号的放大作用。

### 三、真空管的出现与半导体器件的首秀失败

德福雷斯特在原有二极管的基础上又加进一个栅极，从而使该元件成为具有三个电极的器件，实验表明，电子流的速度会随着栅极可以很灵敏地控制从灯丝流向屏极的电子流。栅极上如果有一个变化中的微弱电流，就会在灯丝-屏极组合上得到较大的电流，且具有相同的变化趋势。这就意味着新的器件可以作为放大元件，也可以用于整流。

# ENIAC – 第一个电子计算机 (1946)



Replacing a bad tube meant checking among ENIAC's 19,000 possibilities.

## ENIAC– Electronic Numerical Integrator and Computer.

Built by John W. Mauchly (computer architecture) and J. Presper Eckert (circuit engineering), Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania. Formed Eckert & Marchly Computer Co. and built the 2<sup>nd</sup> computer, "Univac". Went bankrupt in 1950.

18000个电子管，占地150m<sup>2</sup>，重30吨，计算速度每秒5000次，存储容量千位。

**140 KW 无故障时间 7 min**

### 三、真空管的出现与半导体器件的首秀失败

真空管的出现，它具有的稳定性，特别是真空三极管所具有的小信号放大特性，使得半导体点接触整流器件的首秀基本上以“失败”而结束。

从二极管和三极管出现开始，世界进入了电子管时代 (Vacuum Tube Age) ，直到1948年...

*\*所谓基本，是猫须探测器在雷达上仍有应用*

## 第四讲 课后研讨题

- 1、真空管的工作原理是什么？现在真空电子学的发展现状；
- 2、调研一下无线通信的发展历史和未来的发展方向；