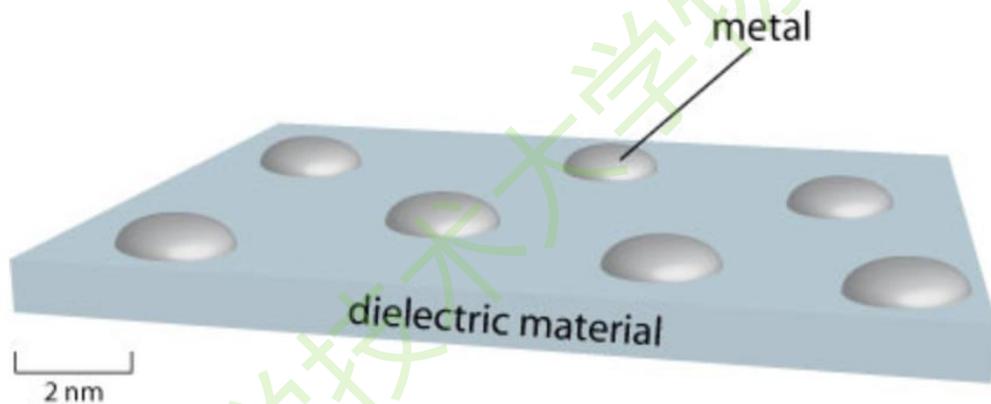


第2章 静电场中的物质与电场能量



物质的电性质

物质导电性能

- 各种物质电性质不同
- 早在1729年，英国人格雷发现金属和丝绸的电性质不同
 - 金属能很快把电荷转移到别的地方，但自己不带电
 - 丝绸不能转移电荷，但是可以带电
- 不同物质中，或者同一种物质在不同环境下，电子的状态不一样，导致自由电荷的转移能力差别很大，物质的导电性能迥异。

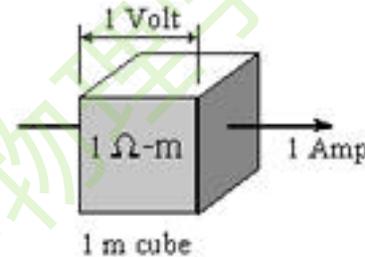
电阻率

Resistor
Resistivity

电阻: $R = \frac{U}{I}$

单位: Ω

电阻率: $\rho = \frac{RS}{l}$



单位: Ωm

- 电阻率与物质的性质有关，与尺寸无关。
- 电阻率反映在一定温度压强条件下物质的**导电能力**，是物质的原子结构决定的属性。
- 根据电阻率，人们把材料分为**导体**、**半导体**和**绝缘体**。

VALENCES OF THE ELEMENTS

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|----------|
| | | +1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 1 | 1 H 1.01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He | |
| 2 | 3 Li 6.94 | 4 Be 9.012 | MULTIPLE VALENCES Transition Metals | | | | | | | | | | 5 B 10.81 | 6 C 12.01 | 7 N 14 | 8 O 16 | 9 F 19 | 10 Ne 20.18 | | |
| 3 | 11 Na 22.99 | 12 Mg 24.31 | | | | | | | | | | | 13 Al 26.98 | 14 Si 28.1 | 15 P 30.97 | 16 S 32.06 | 17 Cl 35.45 | 18 Ar 39.95 | | |
| 4 | 19 K 39.10 | 20 Ca 40.08 | 21 Sc 44.96 | 22 Ti 47.9 | 23 V 50.94 | 24 Cr 51.99 | 25 Mn 54.93 | 26 Fe 55.85 | 27 Co 58.93 | 28 Ni 58.71 | 29 Cu 63.54 | 30 Zn 65.37 | 31 Ga 69.72 | 32 Ge 72.59 | 33 As 74.92 | 34 Se 78.96 | 35 Br 79.91 | 36 Kr 83.3 | | |
| 5 | 37 Rb 85.47 | 38 Sr 87.62 | 39 Y 88.91 | 40 Zr 91.22 | 41 Nb 92.9 | 42 Mo 95.94 | 43 Tc 99 | 44 Ru 101.07 | 45 Rh 102.9 | 46 Pd 106.4 | 47 Ag 107.9 | 48 Cd 112.4 | 49 In 114.8 | 50 Sn 118.7 | 51 Sb 121.7 | 52 Te 127.6 | 53 I 126.9 | 54 Xe 131.3 | | |
| 6 | 55 Cs 132.9 | 56 Ba 137.3 | 57 La 138.9 | 72 Hf 178.15 | 73 Ta 180.9 | 74 W 183.85 | 75 Re 186.2 | 76 Os 190.2 | 77 Ir 192.2 | 78 Pt 195.1 | 79 Au 196.9 | 80 Hg 200.6 | 81 Tl 204.3 | 82 Pb 207.2 | 83 Bi 209 | 84 Po 210 | 85 At 210 | 86 Rn 222 | | |
| 7 | 104 Fr 223 | 105 Ra 226 | 106 Ac 227 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | □ Metals | | | □ Nonmetals | | | □ Metalloids | | | | | | | | | | | |

中国科学网

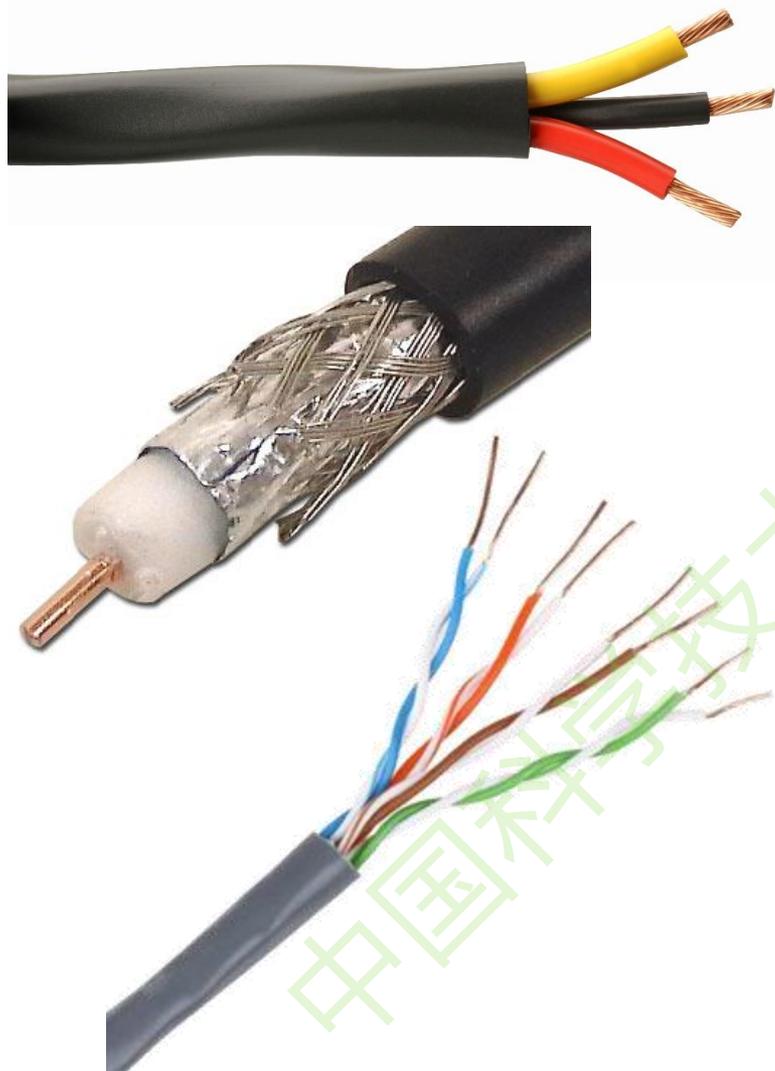
1. 导体 (Conductor)

- 转移和传导电荷能力**很强**的材料，或者说电荷很容易在其中移动的物质。
- 电阻率在 10^{-8} - 10^{-6} Ωm 之间
- 常见导体
 - **固体**：金属、合金、石墨、人体、地等
 - **液态**：电解液等
 - **气态**：各种电离气体

2. 绝缘体 (insulator)

- 转移和传导电荷能力很差的^{很差}材料，或者说电荷在其中很难移动的物质。
- 电阻率在 10^6 - 10^{18} Ωm 之间
- 常见绝缘体
 - 固体：玻璃、橡胶、塑料、瓷器、云母、纸等
 - 液态：如各种油
 - 气态：未电离的各种气体

电缆

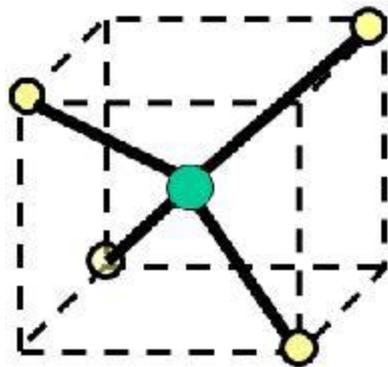


印刷线路板

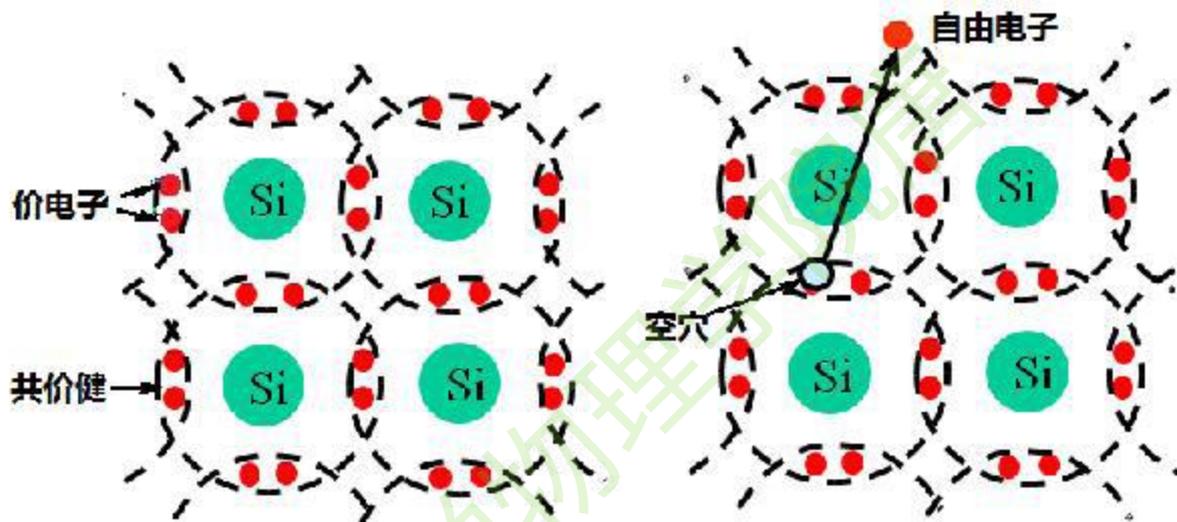


3. 半导体 (Semiconductor)

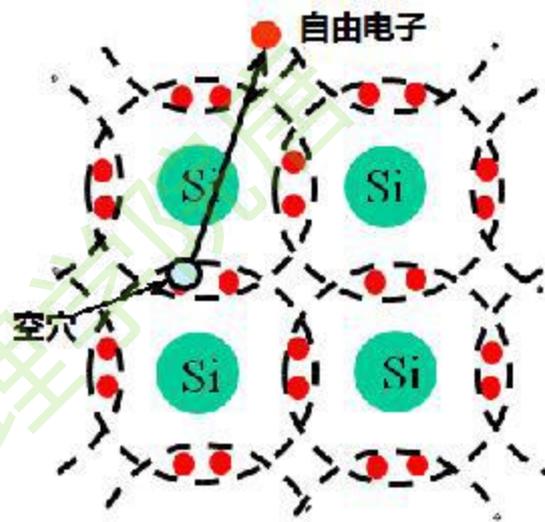
- 半导体材料的导电性能介于导体与绝缘体之间。
- 电阻率在 10^{-6} - $10^6 \Omega\text{m}$ 之间
- 常见半导体有
 - Si, Ge
 - GaP, InSb, InAs, GaSb, GaAs, GaN, SiC.



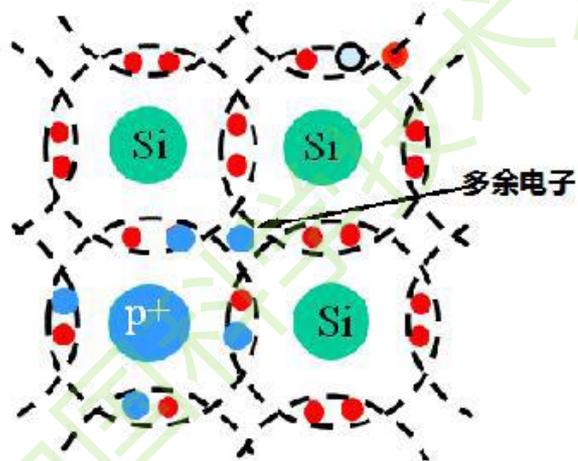
(a) 硅单晶结构



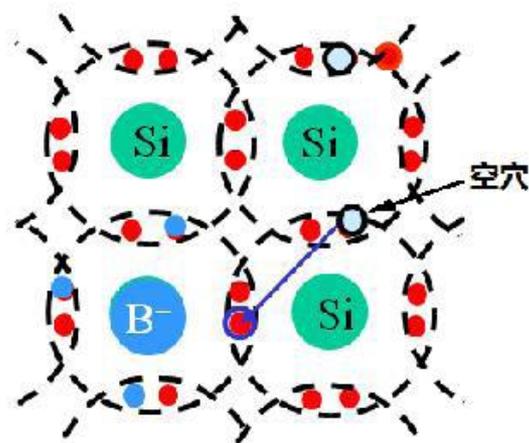
(b) 共价键结构



(c) 本征激发

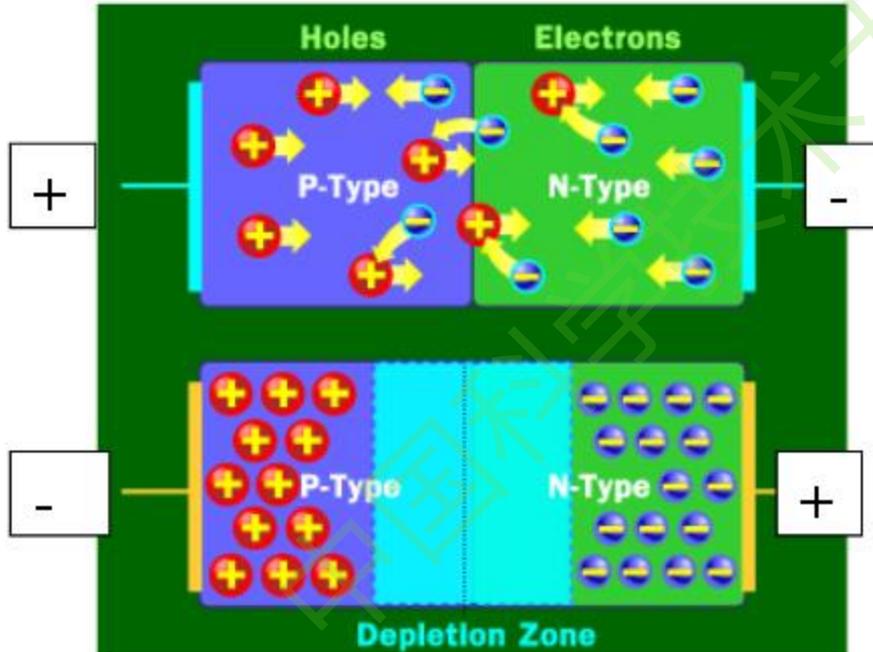
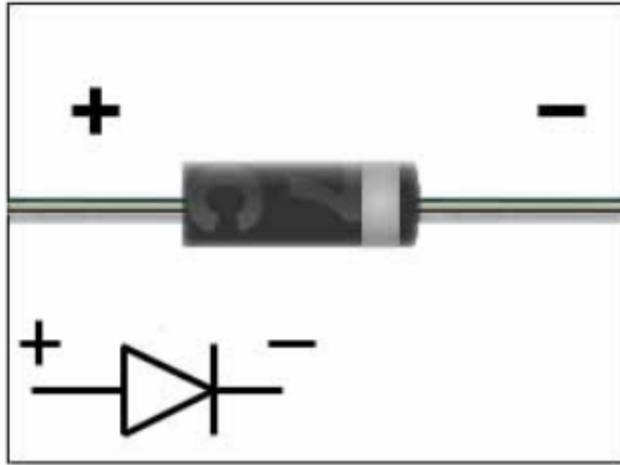


(a) 掺入磷后，磷多余的电子贡献为自由电子

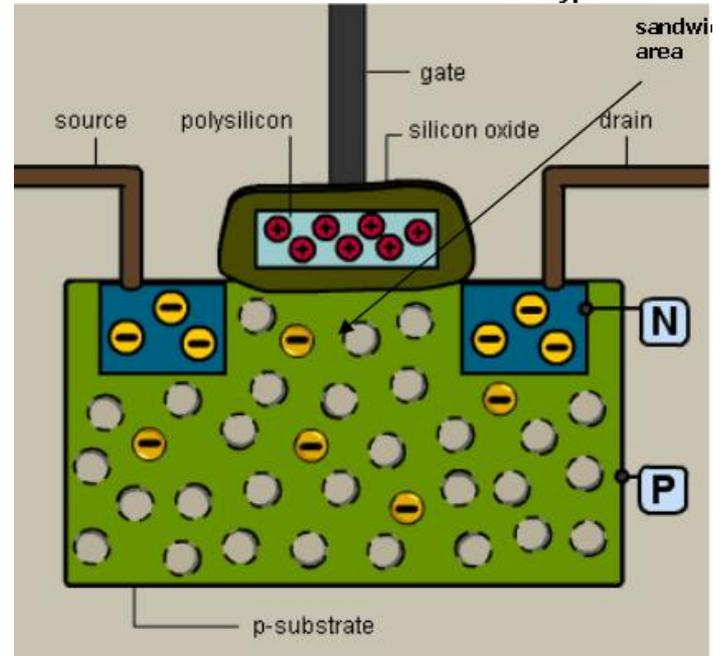
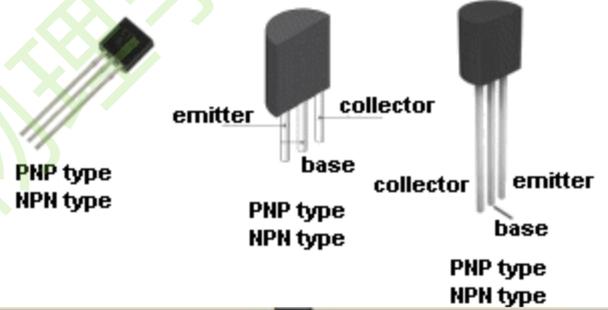
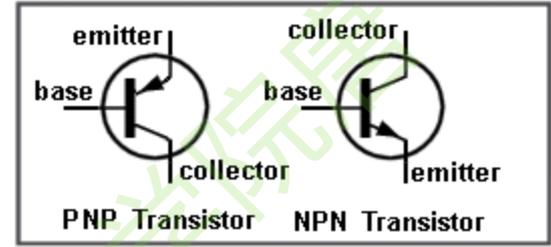


(b) 掺入硼后，硼接收一个电子成为离子，空穴增多。

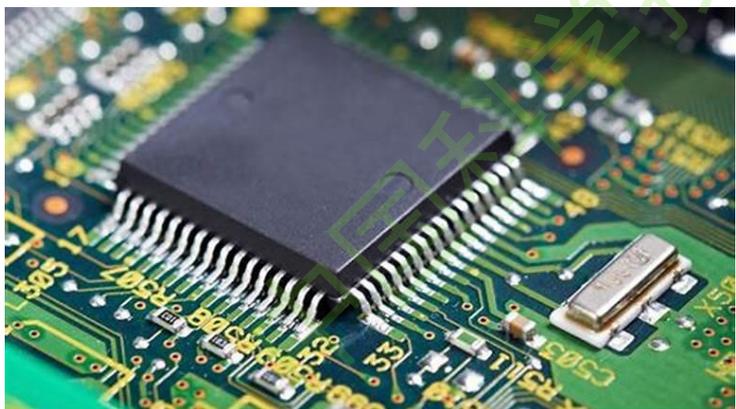
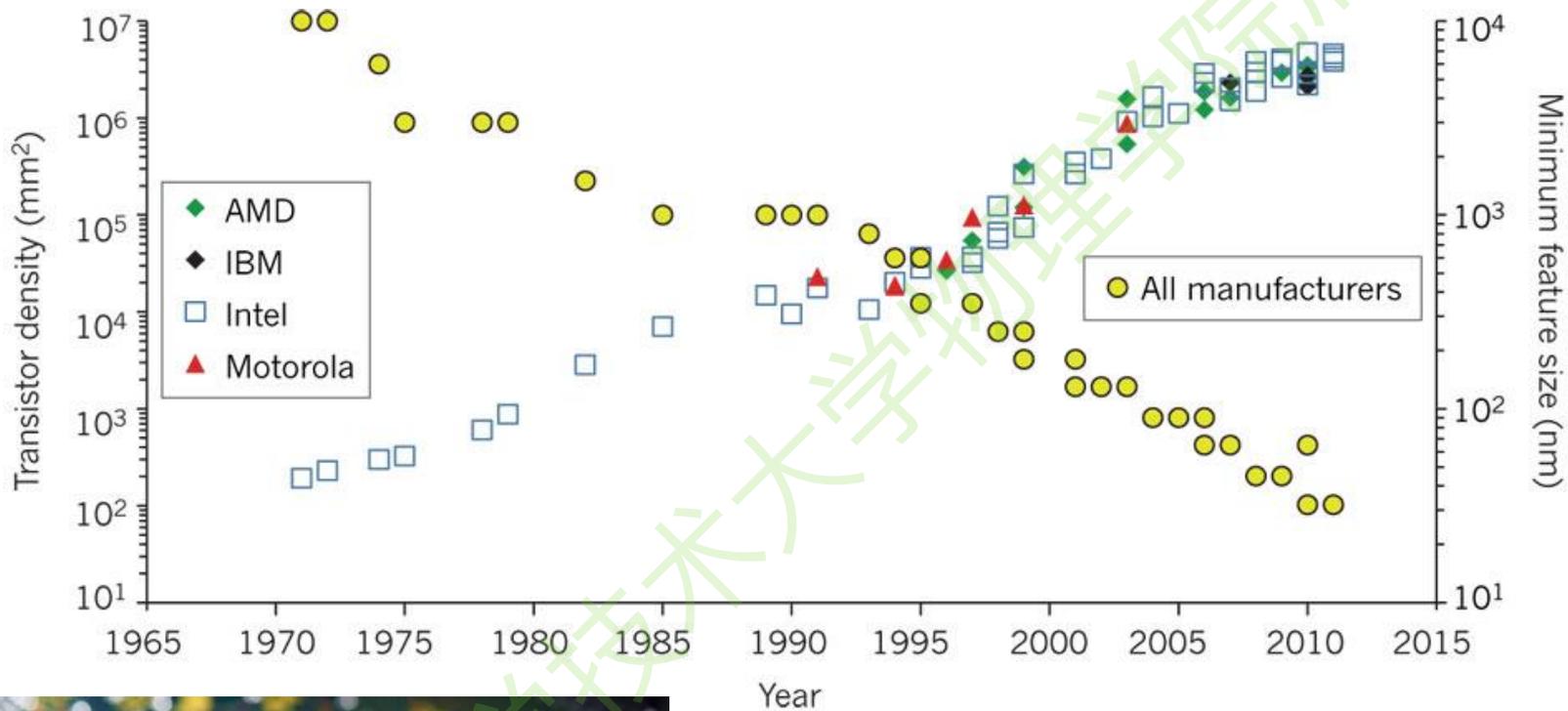
二极管



晶体管



晶体管的发展



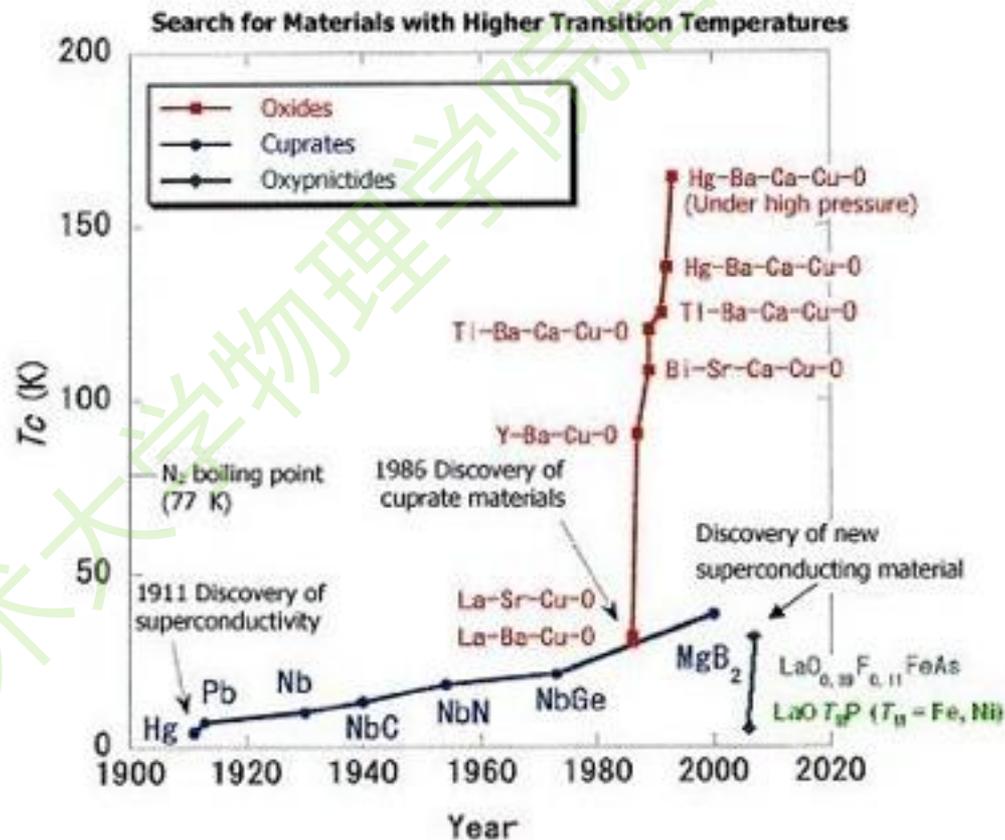
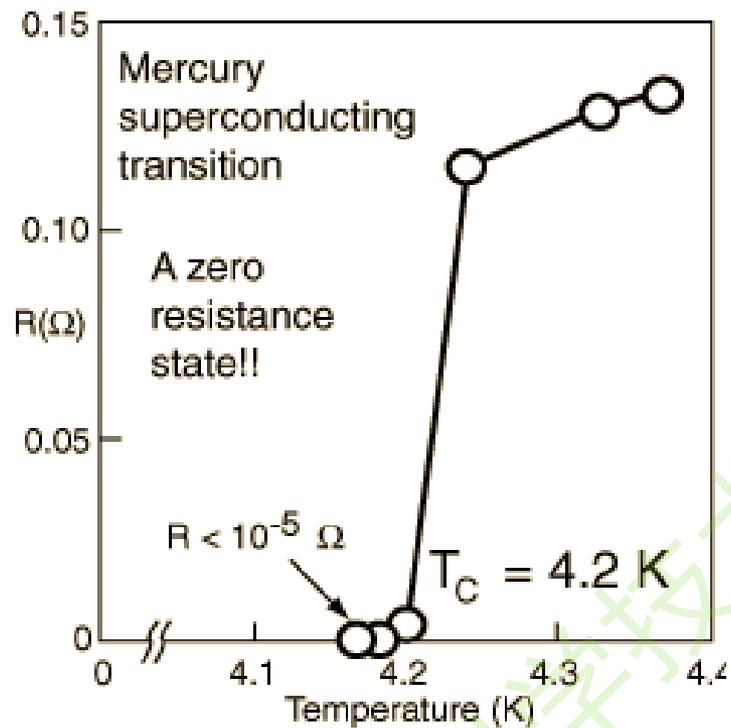
4. 超导体 (Superconductor)

- 某些金属或合金的温度降到接近绝对零度时，其电阻突然变为零或接近于零，这种现象称为超导电现象。
- 现代超导重力仪的观测表明，超导态物体的电阻率必定小于 $10^{-28} \Omega\text{m}$ ，远远小于正常金属迄今所能达到的最低电阻率 $10^{-8} \Omega\text{m}$ ，因此，可以认为超导态的电阻率确实为零。

K. Onnes教授(1853-1926年), 荷兰莱登实验室

- 1895: 空气被液化81K
 - 1898: 氢气被液化20K
 - 1908: 氦气被液化4.25K
 - 1911: 发现水银在4.22~4.27K电阻消失
-
- 1913年获诺贝尔物理学奖 (60岁)
 - 29岁: 莱登大学教授
 - 30岁: 阿姆斯特丹皇家科学院院士
 - “绝对零度先生”

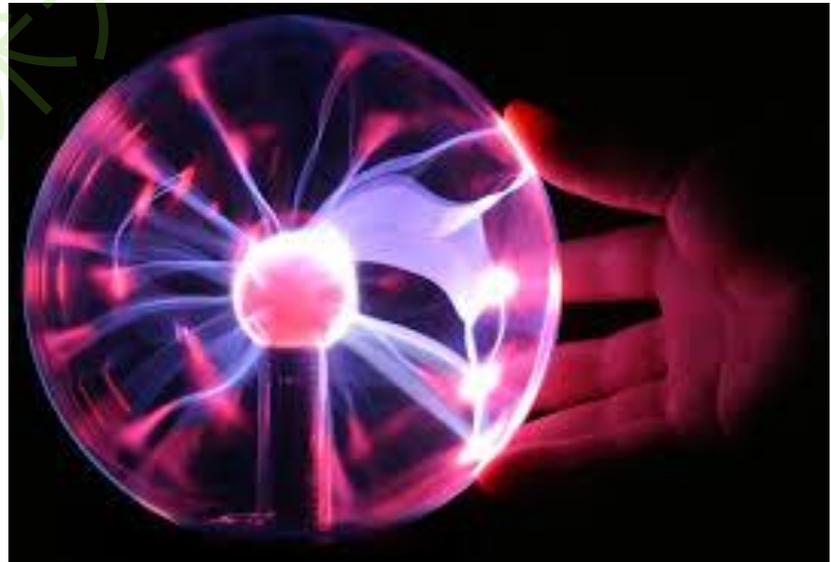




2008年中国科学技术大学物理学院陈仙辉教授发现铁基新超导体。

5. 等离子体 (Plasma)

- 等离子体是部分或完全电离的气体，由大量自由电子和正离子以及中性原子、分子组成。
- 物理性质主要由电磁相互作用决定。
- 等离子体在宏观上是近似电中性的，即从宏观上说，所含的正电荷与负电荷几乎处处相等。
- 物质的第四态。



第2章 静电场中的物质与电场能量

§ 2.1 静电场中的导体

§ 2.2 电容与电容器

§ 2.3 静电场中的介质

§ 2.4 静电场的能量

中国科学技术大学物理学院

§ 2.1 静电场中的导体

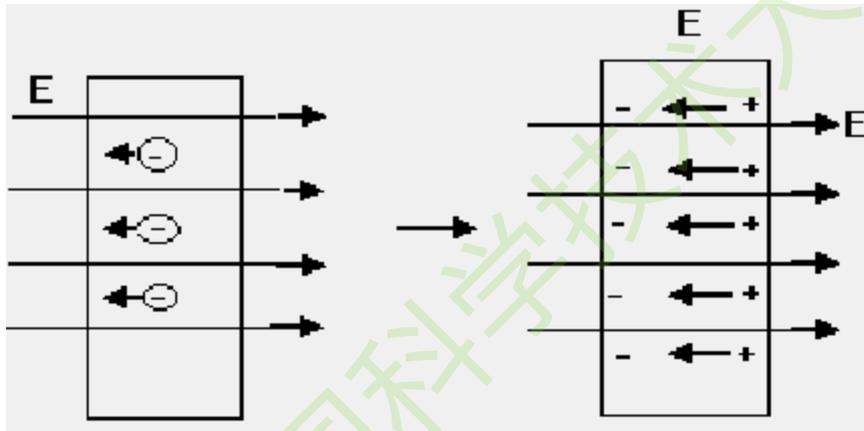


§ 2.1.1 静电平衡 Electrostatic equilibrium

将导体放入静电场时

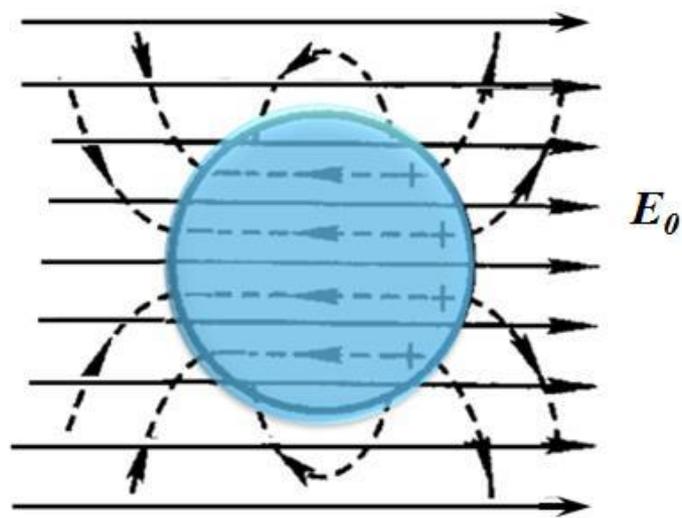
自由电子在电场作用下作定向运动 → 电荷聚集在导体表面

→ 导体表面电荷产生感应电场，在导体中逐渐抵消原电场



直到导体中电场强度为零

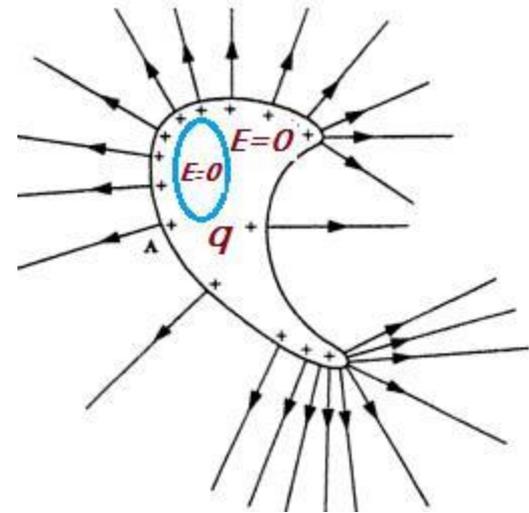
达到**静电平衡**



- (a) 感应电荷在球内的场强与外场源
在球内的场强大小相等方向相反

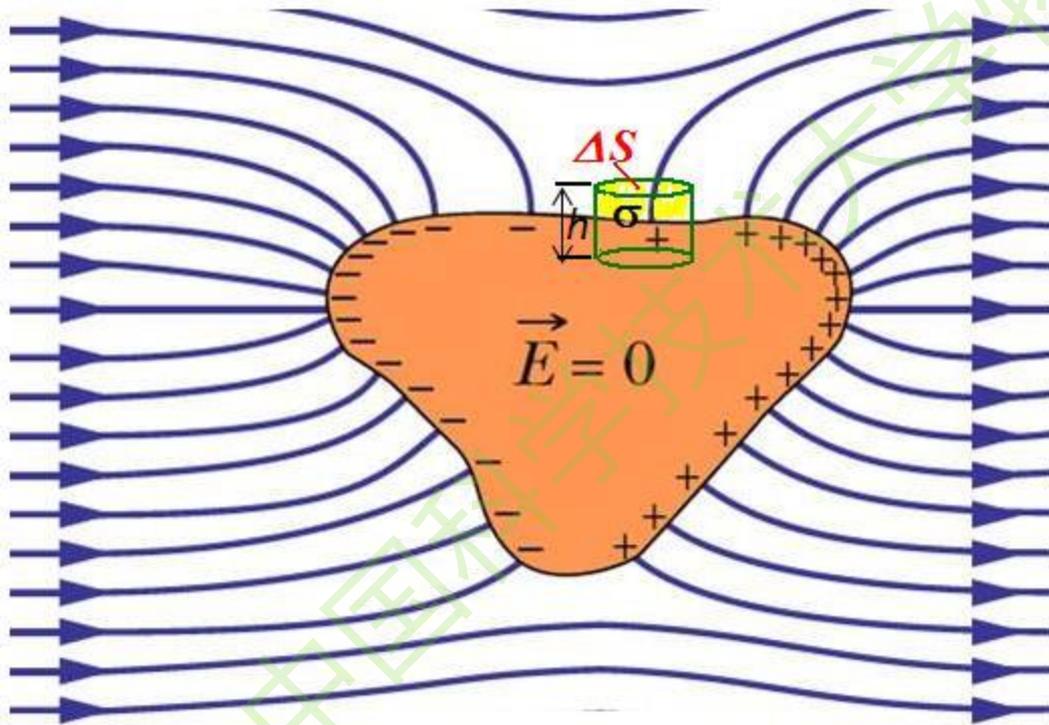
静电平衡导体的电荷分布

- 导体内部体电荷密度处处为零
- 电荷只分布在导体表面很薄的一层
- 导体表面的电荷分布与曲率半径有关：
 - 尖的地方电荷密度大
 - 平坦的地方电荷密度小



静电平衡导体的电场分布

- 导体内部电场处处为零
- 导体表面的电场与表面垂直，场强大小为 σ/ϵ_0

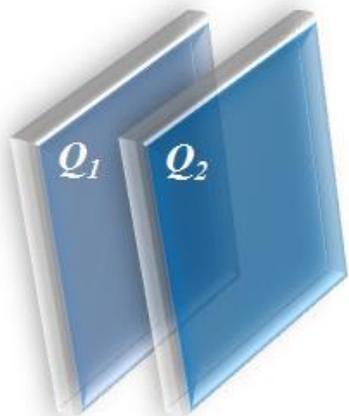


$$\Phi = E\Delta S = \frac{\sigma\Delta S}{\epsilon_0}$$

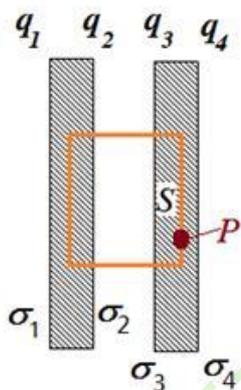
$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

例2.1:

两块相同大小的导体板平行放置，相距很近，忽略边缘效应。若带电量分别为 Q_1 和 Q_2 ，求4个导体表面上的电荷。



(a)



(b)

作如图高斯面:

$$\sigma_2 + \sigma_3 = 0$$

P点电场强度:

$$E = \frac{\sigma_1 + (\sigma_2 + \sigma_3) - \sigma_4}{2\epsilon_0} = 0$$

$$\sigma_1 = \sigma_4$$

$$q_1 = q_4 = \frac{\sum q_i}{2} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

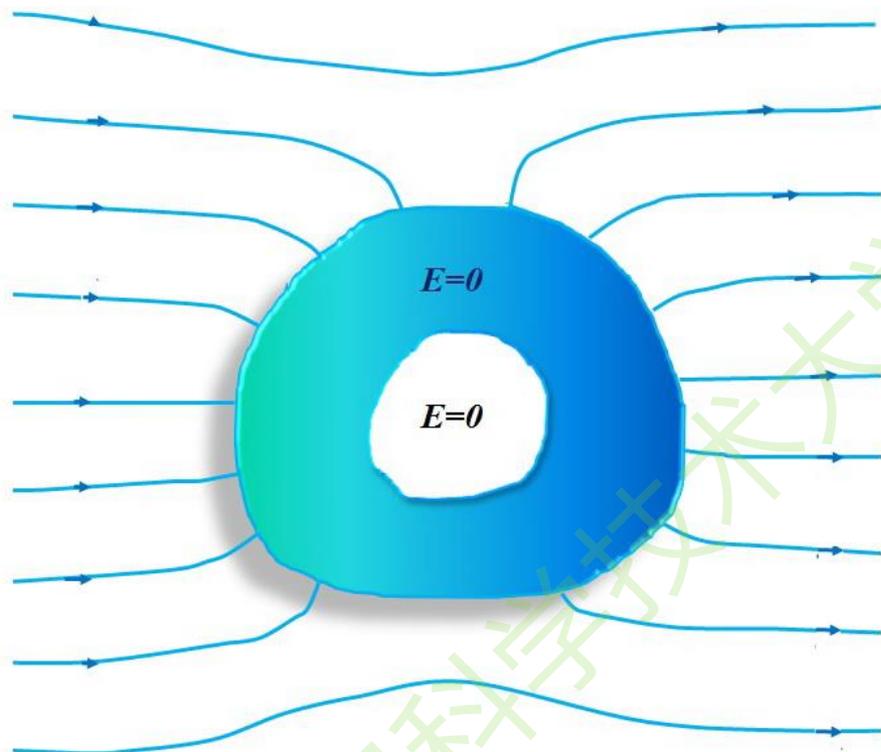
$$q_2 = Q_1 - q_1 = \frac{Q_1 - Q_2}{2}$$

$$q_3 = -q_2 = \frac{Q_2 - Q_1}{2}$$

§ 2.1.2 静电屏蔽 Electrostatic Shielding

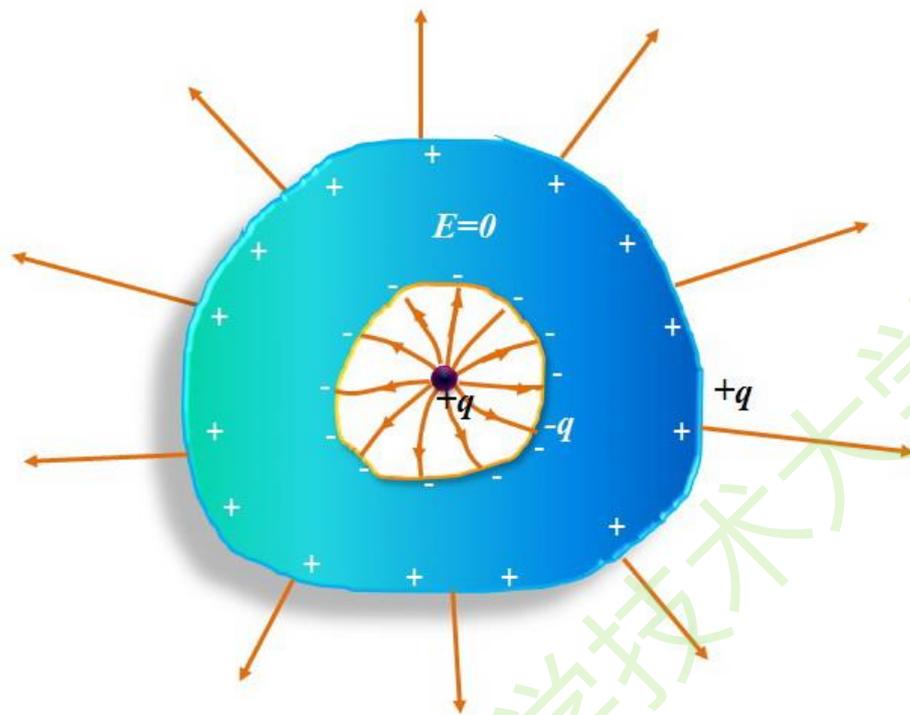
腔外不影响腔内

空腔内无电荷时



- 空腔内场强处处为零
- 空腔外的导体和场源不影响空腔内的物体
- **静电屏蔽**

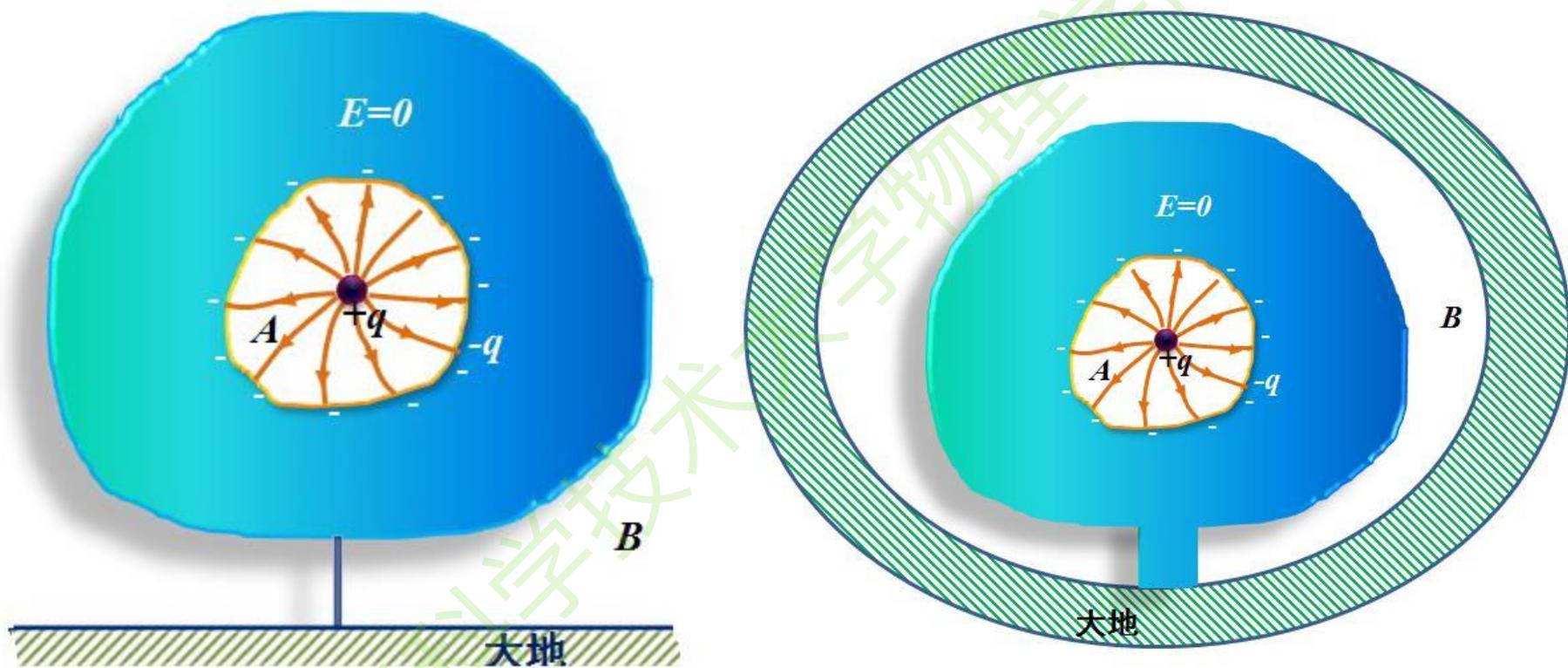
腔内却影响腔外



空腔内有电荷时

- 腔内腔外均有电场
- 内表面总电量与腔内电量大小相等，符号相反
- 外表面总电量与腔内电量相等
- 腔外电场只取决于**电荷总量**和空腔**外表面形状**

屏蔽腔内电荷 → 将外表面做得无限大 → 接地!



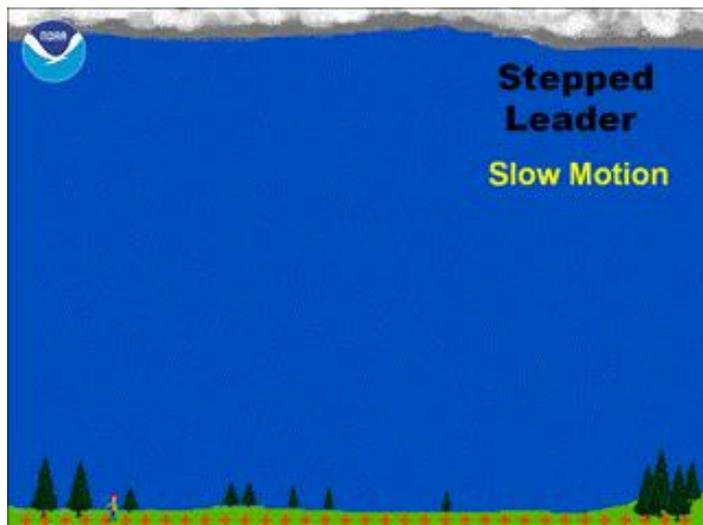
- 腔外不影响腔内，腔内不影响腔外



屏蔽室

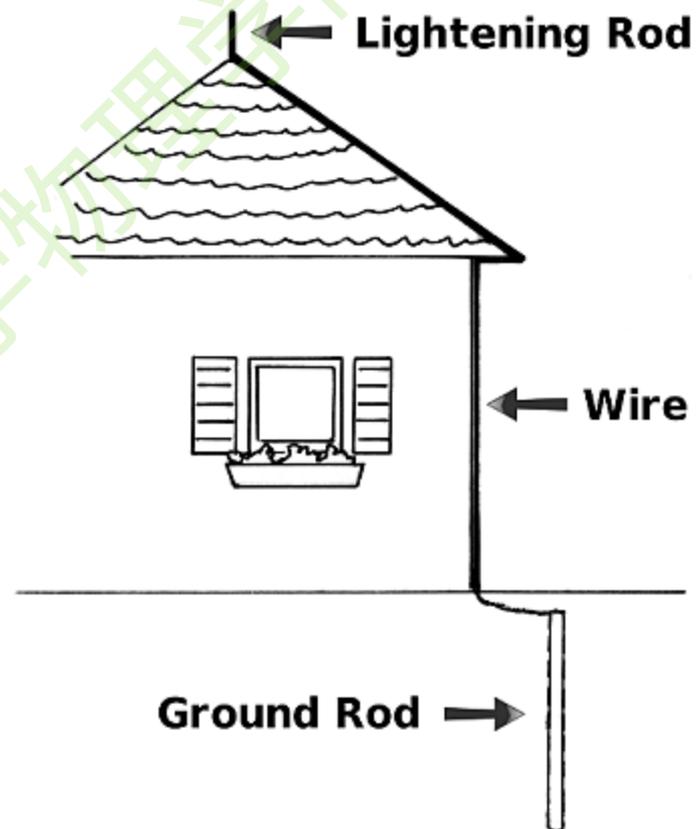
§ 2.1.3 静电的应用

雷电



§ 2.1.3 静电的应用

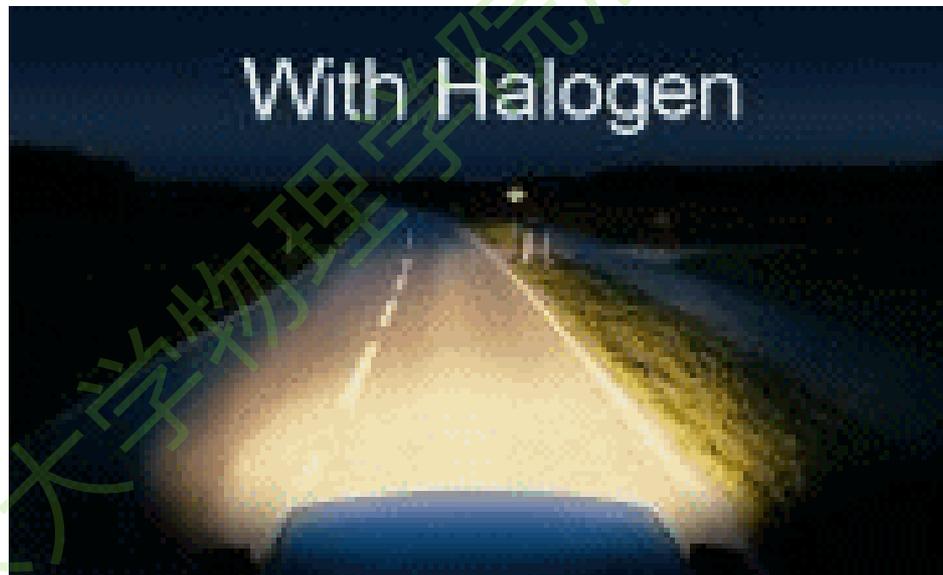
避雷针



气体放电灯



IMAX 投影氙气大灯

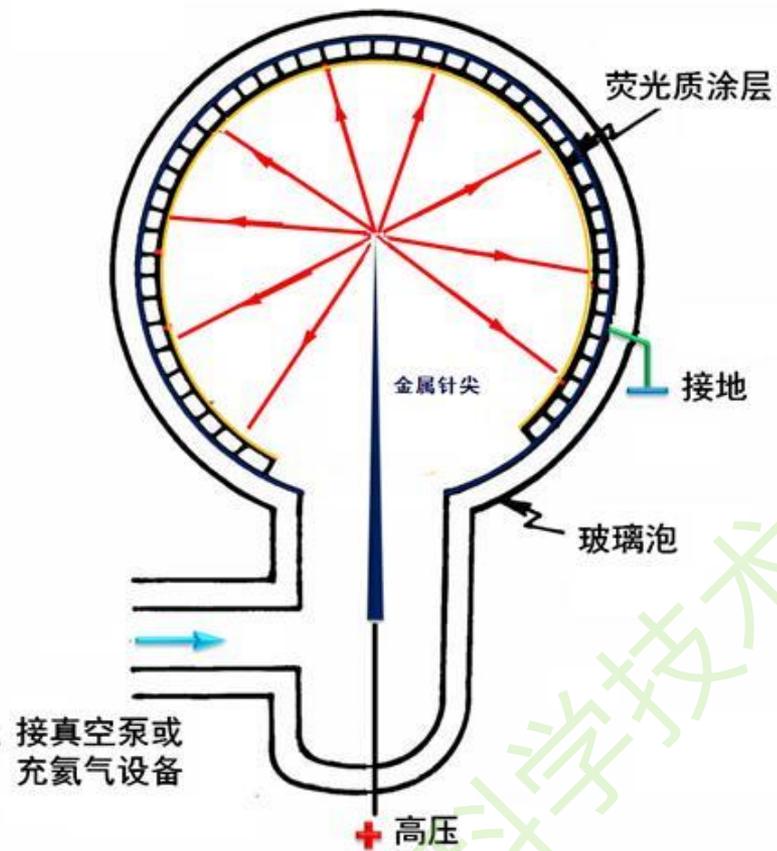


汽车氙气大灯

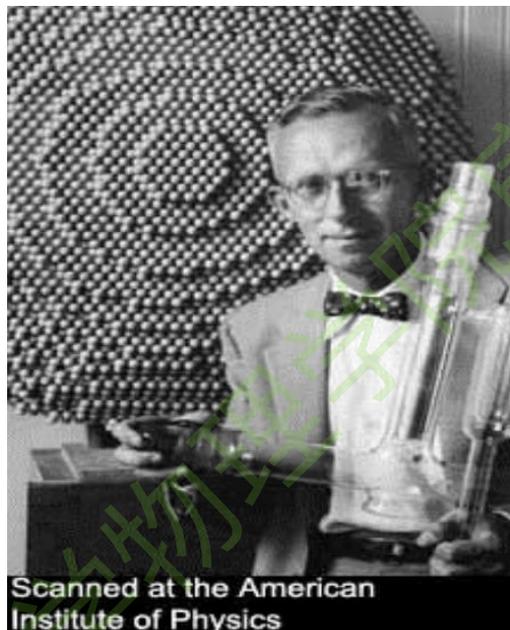


憎水性带电作业屏蔽服又叫**等电位均压服**，是采用均匀的导体材料和纤维材料制成的服装。其作用是在穿用后，使处于高压电场中的人体外表面各部位形成一个等电位屏蔽面，从而防护人体免受高压电场及电磁波的危害。

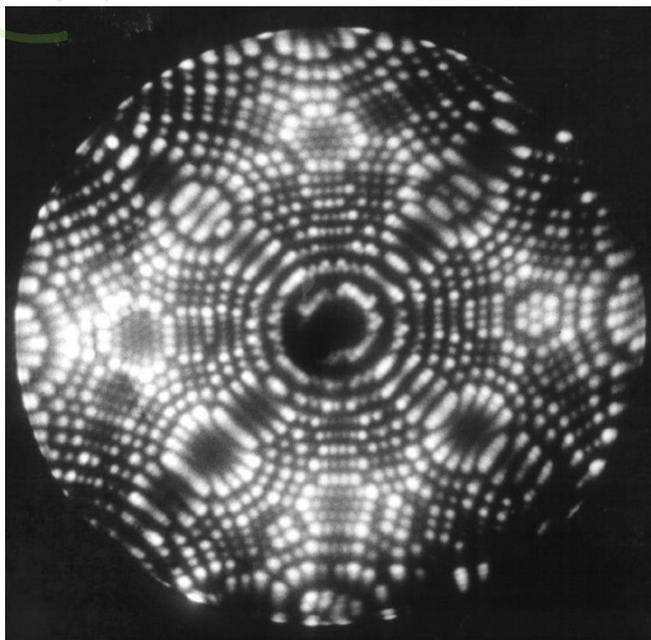
场致发射显微镜



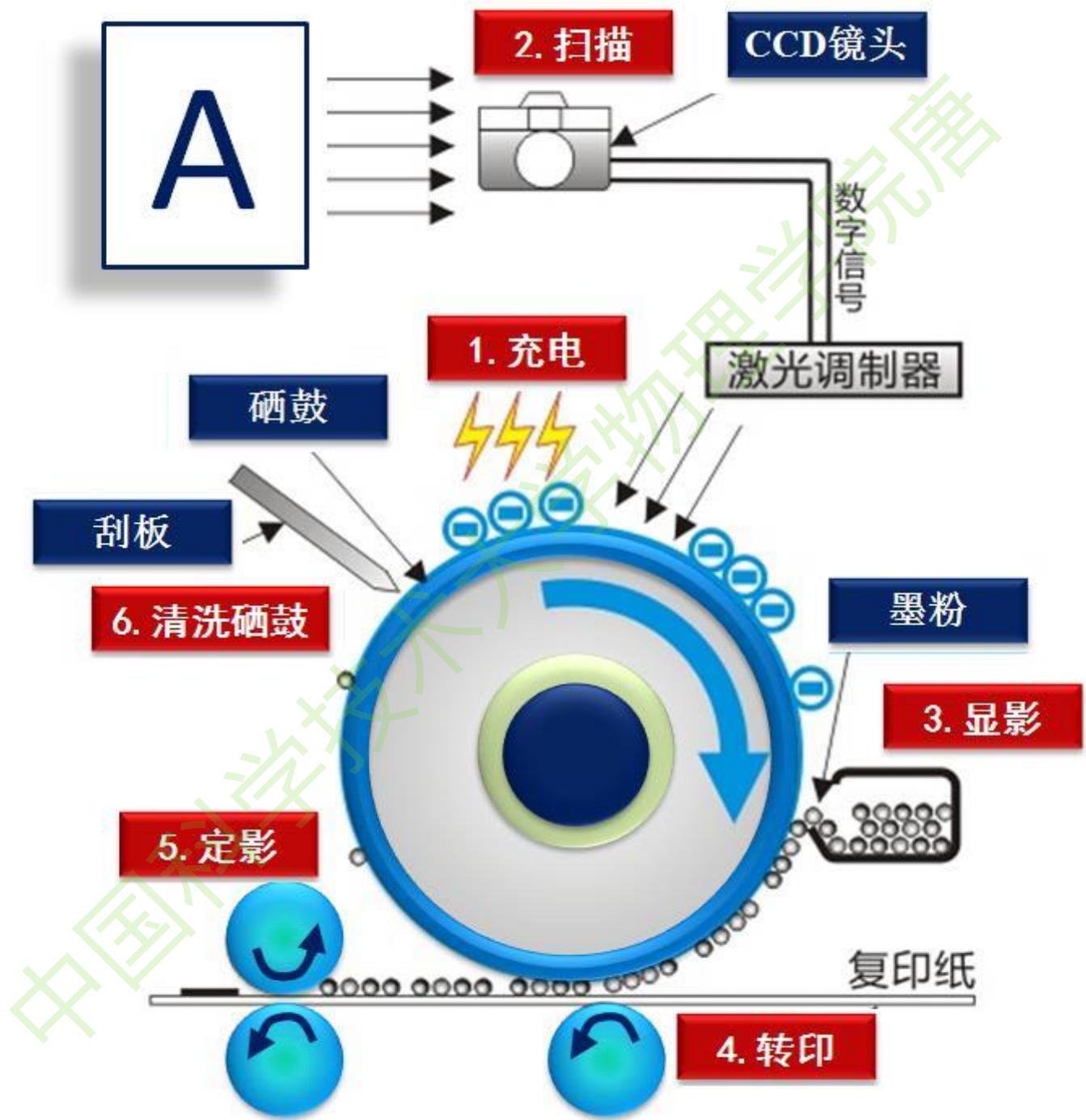
200万倍放大率



第一个看到原子的人



静电复印



作业

- 2. 3
- 2. 5
- 2. 10

中国科学技术大学物理学院唐