

单一电子隧穿振荡及其应用

刘喜斌

在本世纪初物理学家密立根在做著名的油滴实验时,曾为不能控制油滴上所带的电子数而烦恼.时至今日,这种烦恼已不复存在.1987年3月6日,前苏联的“理论与实验物理学报”收到了莫斯科大学利哈廖夫等人关于“单电子学效应”的论文,极其巧合的是在同一天美国的“物理评论”收到了贝尔实验室两位学者Theodore Fulton和Gerald Dolan关于同样效应的论文,从而激起了研究单电子学和单电子装置的热潮.

一、单一电子隧穿振荡现象

对于用两块金属膜夹一绝缘层构成的隧道

中国人民武装警察部队学院基础部 河北廊坊 065000

各种结构和功能的关系,探讨细胞的合成、分裂和遗传等生命活动.

激光显微照射术也可以用来俘获细胞,具体做法是在组织切片上覆盖一层透明的热塑膜乙烯醋酸聚合物,把切片放在显微镜下观察,通过显微镜选中要俘获的细胞,这时用与显微镜同轴的脉冲激光束经显微镜聚焦在选中的细胞上,因为焦点处光斑直径在微米量级,和细胞的大小相当,所以当脉冲激光照射在热塑膜上时,被照射的膜非破坏性地熔化在选中的细胞上,当再次移动热塑膜时所选中的细胞就保持在膜上而被俘获.现在,激光显微照射术已经广泛地用在细胞显微外科、细胞遗传学、肿瘤细胞学和实验胚胎学等领域.

三、激光细胞打孔术

激光细胞打孔术是把要研究的细胞浸在含有基因物质的培养基中放在显微镜下观察,用显微镜对准要打孔的细胞,这时用与显微镜同轴的激光束经显微镜聚焦在细胞膜上,由于焦

结,可将其看做一个电容,电子有隧穿绝缘层势垒的几率,穿透几率取决于绝缘层的厚度和电极材料的特性.然而如果这种隧道结的尺寸达到足够小,即绝缘层很薄,约1nm左右,金属电极也非常小,整个结构的电容小于 10^{-16}F ,则实验表明此时电子隧穿能否发生还与电容器极板上积累的电荷数有关.若将电流源接上这样的隧道结,即使在回路中连续地通过电流 I ,每次也只能有一个电子通过或进入隧道.若隧道中已经有一个电子时,第二个电子便不能进入隧道,只有当隧道中没有电子且极板上积累的电荷满足一定条件时,电子隧穿才能发生.这样电子一个一个越过隧道,使得隧道结上出现了

点处的光斑直径极小,所以在功率适当的条件下可在细胞膜上打一个小孔,这个小孔能在1秒钟内自动闭合,而基因物质可以在小孔闭合前流入细胞内,完成基因的转移,当小孔自动闭合后,细胞恢复原状,成为一个携带新基因的细胞.由于激光细胞打孔术可以摆脱有性生殖过程和种属的限制,实现遗传物质的交换,所以为培养新的物种及治疗遗传性疾病提供了前所未有的有效手段.

四、激光细胞融合术

激光细胞融合术是利用短脉冲(宽度为纳秒级)的激光微光束同时照射在两个或两个以上相邻的细胞膜上,在适当的条件下微光束可以在细胞膜上诱发瞬间(毫秒级)的可逆性损伤,这种瞬间的变化可以把相邻的细胞膜融合在一起形成新型细胞.现在激光细胞融合术已成为人工定向创造新品系细胞的重要手段和制成单克隆细胞系的关键技术,对生物遗传工程的研究也具有重要意义.

一个周期性的振荡电压, 振荡的频率等于 I/e , e 为电子电量. 这一现象被称为单一电子隧穿振荡.

二、单一电子隧穿振荡产生的机理

设隧道结的电容为 C , 其极板所带的电量分别为 $+Q$ 和 $-Q$, 则此电容器贮存的静电能为 $E_0 = \frac{Q^2}{2C}$, 如果一个电子从负极板隧穿到达正极板, 则正极板所带的电量变为 $Q - e$, 电容器贮存的静电能变为 $E = \frac{(Q - e)^2}{2C}$, 因此一个电子隧穿所导致能量的减少为 $\Delta E = E_0 - E = \left(Q - \frac{e}{2}\right)e/C$. 一般情况下过程总是朝能量减少的方向进行, 因此电子实现隧穿要满足的条件为 $\Delta E > 0$, 如果 $Q < \frac{e}{2}$, 即隧道结上的电压小于 $\frac{e}{2C}$ 时, ΔE 将小于 0, 所以电子不可能从负极板隧穿到达正极板. 这一现象称为库仑阻塞效应.

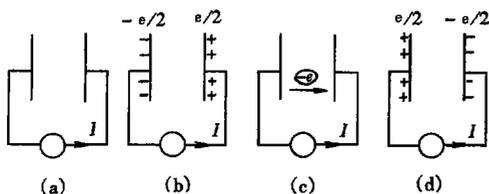


图1 单一电子隧穿过程

如图 1(a) — (d) 所示的过程. 电流为 I 的恒流源给隧道结 (电容) 充电, 在开始时极板上没有电荷, 而后随着极板上电荷的增加, 电压也随之增加. 在正极板上电荷达到 $e/2$ 之前, 电子不会隧穿, 处于库仑阻塞状态. 如果一旦正极板电荷达到 $e/2$, 负极板上便会有一个电子实现隧穿到达正极板, 从而使正极板的电荷变为 $-e/2$, 此时隧道结又处于库仑阻塞状态, 等待充电, 直到正极板电荷再次达到 $e/2$ 时, 负极板上才会又有一个电子实现隧穿. 只要恒流源不断充电, 极板上的电荷和电压便会以频率 I/e 做周期性变化, 从而产生了单一电子隧穿振荡现

象. 电流在导体中连续地流动, 而电子却是相隔同样的时间一个一个穿过绝缘层隧道, 这如同没有拧紧的水龙头一样, 水在水管中连续地流, 而在水龙头口上却是一滴一滴往下掉. 由以上分析可以看出, 库仑阻塞发生在正极板电荷处于 $-e/2$ 和 $e/2$ 之间, 或者对应于电容上电压处于 $-\frac{e}{2C}$ 和 $\frac{e}{2C}$ 之间, 如图 2 所示. 值得指出, 在使用超导电极的隧道结中也会产生类似的现象, 只不过此时不是单个电子穿过隧道, 而是两个电子结成库柏对通过隧道, 电压振荡频率不是 I/e , 而是 $I/2e$, 这称为布洛赫振荡.

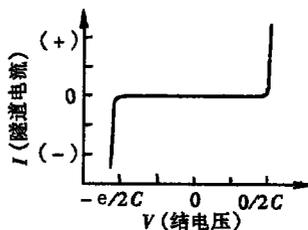


图2 库仑阻塞

三、应用前景

1. 用于电学计量

由于一个极小隧道结只能通过单一电子, 因此若记录下单位时间内通过的电子数目, 就可以准确地知道该电路中的电流值. 如果在具有单一电子隧穿效应的器件上加一交流信号 (频率为 f), 则产生的单电子隧道电流为 $I = f \cdot e$, 也即在交流信号变化的一个周期内, 正好允许一个电子通过隧道结, 这类类似于大饭店或商场的旋转门, 每转一圈只允许一个人通过, 因此这种现象又称为旋转门效应. 由于 f 的测量准确度是极高的, 并可溯源到原子钟, 因此从理论上讲单个电子隧道电流可能成为准确度极高的电流自然基准. 提高精度的主要困难是要求在库仑阻塞时电子隧穿几率为零, 而实际上此时总有一定的隧穿几率. 另外单电子隧道电流对于实际应用来说太小了, 例如若 $f = 10\text{MHz}$, ef 仅为 1.6pA , 这就需要将许多隧道结并联起来使用, 又增加了复杂性. 最近由于在减少单个电子隧道器件的交叉电容和器件噪声等方面取得了突破性进展, 单个电子隧道电流基准数电子

激光致盲武器的

原理、特点及其预防手段

方延平 任静



激光致盲武器是一种可能在未来战场出现的高技术兵器,它是一种依靠激光束致盲敌方作战人员,使他们失去作战能力,以致无法开动坦克、打响火炮、驾驶飞机…这样一种非致死性武器,其主要用途是射击敌方作战人员的眼睛

徐州市空军后勤学院 二系 江苏 221000

的准确度已达 1.5×10^{-8} , 进一步提高数电子的准确度和电流量值, 就有可能成为实用的电流量子基准. 这个电流量子基准与超导电流比较仪相结合, 可望将电学量另外两个量子基准(约瑟夫森电压基准和量子化霍耳电阻基准)联系在一起, 形成电学量的完备基准体系. 这样三个电学量的量子基准通过欧姆定律可以互相印证, 完成对基本物理常数 h 和 e 的高准确度绝对测量和电学量 V 、 I 、 R 的绝对测量. 如果这些工作完成, 则可以通过电流天平对力学量进行高准确度绝对测量.

2. 单电子晶体管

单一电子隧穿振荡的一个最有希望和前途的应用便是单电子晶体管, 如图 3 所示, 它是由两个隧道结串联构成, 中间的电极称为控制极. 当与电压源相接后, 如果一个电子隧穿第一个结而达到控制极, 则控制极上马上会有一个电子隧穿第二个结而形成电流, 即两个结中电子的隧穿是相互关联的, 而且控制极积累的电荷还能决定隧穿过程能否发生. 如果控制极的电荷为 0 或 e 的整数倍, 则系统处于库仑阻塞状态, 所以没有电流; 如果控制极的电荷为 $e/2$ 的奇数倍, 则库仑阻塞被解决, 即使在很小的外

使之失明以及敌方的光学或光电装置的传感器使之无法正常工作.

一、激光致盲武器的致盲机理

人眼相当于一个高级的聚光系统, 又相当于一架精致的照相机, 入射激光经曲光介质的聚焦作用, 可使在视网膜上的激光能量密度比角膜处高 10 万倍, 因此, 即使微弱的高亮度、准

电压下, 电子也能隧穿形成电流. 因此可以由控制极注入(或抽出)电荷来控制这种结构中电流的“开”与“关”. 单电子晶体管能用单一电子

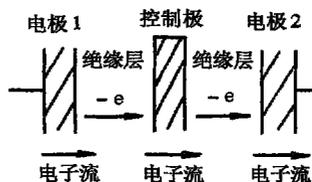


图3 单电子晶体管

的存在与否来表示二进制信息, 它将是下一世纪大容量存储器的最好选择.

3. 开辟新

的学科——“人造原子物理学”

目前隧道结中容纳的电子数较多, 可以将其看做一个电子气系统, 外电场作用在电子气上将被屏蔽, 不能穿透电子气, 因此有电子隧穿时不会改变电子的位形, 其能量变化可由简单的静电能变化而得到. 但是如果将结中的电子数减少到十几个或几个, 那么屏蔽效应将不复存在, 系统很像一个很大的“原子”, 称为“人造原子”. 这种“人造原子”的维数是准二维的, 约束势是抛物线型, 而非通常原子中的 $1/r$ 势, 原子中的电子数亦可人为地控制, 其能级作为电子数的函数只能由量子力学计算, 从而开辟了一门新的学科——“人造原子物理学”