

分子整流器是 A. Aviram 于 1974 年首先提出的, R. M. Metzger 等科学家为了实现此设想, 设计合成了 A-J-D 型分子, 通过 LB 膜和模型器件的组装研究了其整流效应。虽然尚未观察到预期的效应, 但有关实验技术已有了一定进展。

所谓分子开关就是具有双稳态的量子体系。在所有讨论的模型中, 基本上都是在聚硫氮— $(\text{SN})_x$ —或聚乙炔— $(\text{CH})_n$ —主链上引入控制基因侧链, 通过位垒或位阱式孤立子来实现开关效应。目前, 对聚硫氮和聚乙炔的研究已比较深入, 但有关分子开关的实验还没有真正开始。

当今科学家们所设计的分子水平存储器主要是通过双稳态或多稳态分子来实现的。具体包括: (1) 分子内或分子间的氢转移; (2) 二聚化反应; (3) 顺-反式异构; (4) 电荷转移; (5) 苯-醌型转变。据来自各方面的消息, 分子存储器的研制工作已在一些著名实验室中秘密地进行着。贝尔和 Naval 实验室的科学家们自称他们的研究结果可使存储量达到  $10^{10}$  bit/cm<sup>2</sup>。

分子计算机在设计概念上不同于通常的计算机。尽管有关它的设想已有不少报道, 但尚有许多问题仍不清楚, 例如数据的输入输出、状态变化的检测及具体的组装等。

为了实现分子器件这一宏伟目标, 今后, 人们将重点解决分子器件中有关的一些基础问题, 如(1) 有机分子的光、电、磁、化学和热力学性质, 以及它们分子间、电子及声子间的相互作用; (2) 分子晶体、准晶体系、分子的微聚集态、层状结构、取向分子的 LB 膜和分子外延膜等不同分子形态结构和性能; (3) 分子模型器件中有关的技术和性能。

### 3 结论

分子材料不是作为现有无机电子材料的代用品或者其延伸, 而是它将成为无机材料所不可替代的新一代电子材料。在今后的实践中, 分子材料将显示出无机电子材料所无法比拟的优越性。我们认为在今后 5 年中, 首先要深入研究分子材料的结构与功能的关系、有机光电磁现象的机制, 同时大力开展有机分子和聚集态设计及制备; 在应用探索方面目前应着重在有机电子材料在微电子学、光电子学等高技术方面的应用。在此基础上, 逐步加强器件设计和研究, 开发出新一代分子材料和器件。

## MOLECULAR MATERIALS

Zhu Daoben

(Institute of Chemistry, Academia Sinica, Beijing 100080, China)

## 介观尺度材料的物理

阎守胜

(北京大学物理系, 人工微结构介观物理国家重点实验室, 北京 100871)

### 1 固态电子学器件的未来发展

固态电子学器件的应用已渗透到当今社会生产技术和信息处理的各个方面。为进一步提

高器件的速度和可靠性,降低功耗和价格,就要实现器件的小型化和集成化。小型化可使元件间的电容和距离减小,导致更高的速度和更低的能耗,集成化是降低成本的关键,而且,集成电路元件间的连接,远比分立的导线和焊接更为可靠。在过去二三十年间,这方面的进展甚为迅速,在一个芯片上微加工的最小尺度大约每五年降低一倍,目前已到亚微米水平。世纪末及21世纪初,这种发展的趋势仍将持续。人们自然会问,这种过程可以一直继续下去吗?

尺寸的进一步减小,会碰到各种限制。一类限制仍可在原有的物理图象中得到了解。例如尺度减小导致器件上电场增加的限制。作为开关器件,势垒高度的变化应使处在“开”状态时,很多电子可以通过,“关”状态时,几乎没有什么电子可以穿越。在半导体器件中,电子能量的涨落可到几个 $k_B T$ ( $k_B$ 是波尔兹曼常数, $T$ 是温度)。在室温(300 K)下, $k_B T/e$ 约为0.026 V( $e$ 为电子电荷)。因此,比0.026 V大几倍的电压不可避免地要加在器件上。当尺度很小时,相应的电场(相当于电压/尺度)会很高。这会使电子从外电场中得到能量的速度快于通过电声子散射传递给晶格(低场时如此)的速度,从而变成温度远高于晶格温度的“热”电子。一些新的散射机制使热电子的速度最终饱和,不依赖于外场,这和低场下速度比例于外场的情形完全不同。此外,被强电场加速的电子,可能会把能量消耗在使电子从价带激发到导带,产生电子-空穴对。新产生的粒子又被高场加速,最后导致载流子雪崩式的增加,样品受到破坏。在对这类限制的讨论中,仍然可用半经典模型,在外场作用下,把电子看成是有确定坐标和动量的经典粒子。另一类限制则伴随着新的物理出现。当尺寸减小到某一特征尺度下时,进入介观尺度范围,这时会出现新的物理,新的现象。因此,从应用的角度,介观物理一方面给出原有器件尺度减小的下限,到什么程度“游戏规则”将全部改变;另一方面,新的现象又成为新器件出现的基础。

## 2 从宏观到介观

大量粒子组成的宏观体系特点是具有自平均性(self-averaging)。可以把宏观物体看成是由很多体积相同的小块组成,小块间是统计独立的,整个宏观物体表现出来的是众多小块平均的结果。如果减小宏观物体的尺寸,只要还足够大,测量的物理量(如电导率,和系综平均值)的差别就很小。通俗地讲,宏观物体的物理性质表现出一种“共性”。

介观体系则不同,它有许多特殊的表现。仍以电导率为例,对比宏观体系来说明。对宏观尺度的样品,通电流 $I$ ,测量样品上的电压降 $V$ ,电流 $I$ 从0逐渐增大,在一定范围内(以样品不发热为度),样品电导 $G=I/V$ 为一常数,此即欧姆定律。按此常数值,加上样品的截面积,电压引线间的距离,即可算出电导率。但对介观尺度的样品,得到的 $G=I/V$ 非周期地涨落,表面看似无规,但却十分重复固定,无规起伏的图式随样品而异,每个样品好象有它自己的涨落“指纹”。1985年,Alshuler, Lee和Stone等人通过计算更是得到出乎意料的结果:涨落的大小是普适的,数量级为 $e^2/h \simeq (25 \text{ k}\Omega)^{-1}$ ( $h$ 为普朗克常数)。普适性表现在涨落的大小与样品的维度、几何形状、尺度(只要在介观尺度范围)、平均电阻(即杂质数量)和种类无关或关系不大,称为普适电导涨落。这时电阻率已没有意义。每个样品有它自己的“指纹”,说明自平均性已消失。在这种意义下,可以说介观体系的材料是极富“个性”的,与宏观体系截然不同。

普适电导涨落来源于电子的行为不再能用半经典方式描述,其状态要用量子力学的波函数来刻画。波函数有振幅和相位,遵从波的叠加原理,因而有与相位相联系的波的干涉和衍射现象,与经典描述本质上不同。对于宏观大小的样品,由于杂质分布和散射的无规性,散射波之间的相位相干性一般可不予考虑。这类类似于池塘中的雨点,每个雨点都以它为中心产生一向外

扩展的波,但由于雨点何时落下以及落在何处均为无序,因而这些波之间的叠加不产生什么规律性的结果。

那么在多大尺度上要考虑这种效应呢? 80年代初期主要是对超薄金属膜低温输运性质的实验研究,使人们对这一问题有了全新的认识。其关键是认识到弹性散射和非弹性散射这两类过程重要的差别。载流子受弹性散射,如杂质散射,尽管散射过程复杂,但散射前后载流子波函数的相位有确定的关系,在这种意义下保持了相位的记忆,或者说弹性散射不破坏波函数的相干性。非弹性散射则不同,能量是和波函数的频率相联系的,因此,带来了相位无规的变化,破坏了载流子波函数的相干性。这样,载流子的非弹性散射平均自由程定义了一个有物理意义的尺度,称为相位相干长度  $L_\phi$ ,一般把尺度相当于或小于  $L_\phi$  的小尺度体系称作介观体系,表示中介于宏观体系与微观体系之间。上述普适电导涨落即是这种载流子在  $L_\phi$  尺度内,虽经多次弹性散射,仍保持相位的相干性的结果。

介观尺度内重要的物理现象还有正常金属中的 Aharonov-Bohm 效应及正常金属介观环中的持续电流。由于正常金属环总有杂质,存在缺陷或表面的不平整性,有剩余电阻。如在环中激发-闭合电流,一般认为会很快衰减,但当环的尺度小到和  $L_\phi$  可比时,由于波函数相位的相干性,持续电流可以存在,这已为实验所证实。Aharonov-Bohm 效应也是发生在介观尺度环上载流子波函数的相位相干现象。从环上某一点出发,沿顺时针和逆时针走的两条路径在相遇处干涉,其强度随环中通过的磁通量周期振荡。在无规分布的杂质存在的情况下,能否观察到这种效应是争论了 20 多年的物理问题,大多数物理学家认为不行,少数人认为可以。1985 年 Webb 等人在  $\mu\text{m}$  尺度的金环上观察到了这种振荡。

### 3 弹道输运和库仑阻塞,单电子电子学

当体系尺度小到接近弹性散射的平均自由程时,进入弹道输运区。此时,限制电流的主要是载流子和样品边界的散射。这方面的实验工作主要是在 AlGaAs/GaAs 异质结界面处高迁移率的二维电子气中进行。在这种材料中,低温下弹性散射平均自由程可超过  $10\ \mu\text{m}$ 。一般在横向对电子的运动再加限制,使电子主要在一个方向上运动,成为准一维体系。这一领域中最重要物理现象是量子点接触的电导量子化。量子点接触是长度和宽度近似相等的准一维体系。1988 年实验发现其电导以  $2e^2/h$  为单位量子化,颇出乎人们意料之外。其它物理现象有电子束的准直效应、聚焦、负的弯曲电阻、霍尔效应的淬灭等。

对于足够小的系统,载流子间库仑相互作用产生的量子关联作用将变得很重要,它的经典图象是所谓的库仑阻塞效应。在此基础上发展了一些对单电子运动进行控制的电路和器件,如旋转门器件,使电子像进出旋转门那样,一个一个地通过。这一领域现在称为单电子电子学。

### 4 介观体系物理研究的重要性

如前所述,介观体系的尺度是以载流子的非弹性散射平均自由程  $L_\phi$  的长度来刻画的。80 年代初开始的研究工作所揭示出来的新的、出人意料的结果是,这个特征尺度令人吃惊地长。人们原以为是几个晶格间距,或至多是弹性散射平均自由程的尺度,在正常金属中约  $10\ \mu\text{m}$ 。现在发现,  $L_\phi$  可到  $\mu\text{m}$  的量级,随温度的下降还会增加。从应用的角度,由于  $L_\phi$  已进入目前微加工的最小尺度范围,因而其研究具有十分重要的实用的背景。现在已有一些基于介观体系新的物理的器件原型出现。1993 年美国《Physics Today》杂志曾邀请九位著名学者讨论未来物理学的发展。原布什总统的科学技术顾问,科学技术政策办公室主任,现耶鲁大学教授

Bromley 讲到:“单电子器件的出现,在我看来预示着一个新的发展浪潮。……,我斗胆地说,物理学的未来将会远比其过去更为让人激动。”

介观体系物理的研究也有重要的基础研究意义。在同一会议上,美国国家科学委员会成员,斯坦福大学教授 Zare 讲到,我们对少体问题(指微观体系)及多体问题(指宏观体系)的了解已有很大的进步,我们欠缺的是对介乎其中的 Some-body problem(指介观体系)的研究。他认为这方面的工作在未来十年及下一世纪会得到很大的发展。这段话很精辟地说明了介观体系研究的重要性。

北京大学物理系在国家计委、科委、教委和自然科学基金会的支持下,成立了人工微结构和介观物理国家重点实验室。一年多来在超薄材料生长,微加工技术,把 STM 技术用于原子尺度的微加工以及在室温下观测量子点接触的电导量子化行为,非均匀体系的量子输运,用飞秒技术研究小体系样品中的超快过程,介观尺度微腔激光器及介观体系理论研究等方面取得了很好的进展。国内其它有关单位也开展了这方面的工作。总的讲,这方面工作还刚刚起步,特别是实验工作难度大,需要得到重点的支持。

## PHYSICS OF MESOSCOPIC SYSTEMS

Yan Shousheng

(*Department of Physics & Mesoscopic Physics Laboratory Peking University, Beijing 100871, China*)

# 21 世纪我国生物材料的研究工作

邹翰

(暨南大学生物医学工程研究所,广州 510632)

生物材料是一种具有特殊功能的材料。生物材料与人体组织、体液及血液相接触时不会产生毒性或副作用,不凝血,不溶血,不引起人体细胞的突变、畸变和癌变,不引起免疫排异反应。它是研制各种人工器官及与人体直接相接触的各种医疗器械的物质基础。没有符合使用要求的材料就做不出合用的人工器官和器械。历史已经证明,每一种新型生物材料的诞生都会引起医疗技术的新飞跃和发展,如:生理惰性医用硅橡胶的问世和应用,使人工的耳、鼻、颌骨、关节、乳房等人工器官及特殊用途的医用导管和组织修补技术向实用化飞跃;可形成假生物内膜的编织涤纶血管的研制成功,使人工血管向实用化飞跃;血液相容性较好的各向同性碳涂层材料的开发成功,使碟片式人工心脏瓣膜得到广泛应用;血液相容性及物理机械性能较好的聚氨酯系列共聚物(如 Biomer, Pellethane, Avcothane-51, Tecoflex 等)的研制成功,促进人工心脏向临床应用跨越了一大步,等等。以上都说明生物材料是与人类健康的密切相关的一类新材料,它对促进人类的文明,探索生命的奥秘,保证人类的健康与长寿起着重大作用。

目前在美、日、欧洲等发达国家,生物材料及其制品已逐步形成一个新产业。我国在有机、无机、金属及天然生物材料等领域取得了一批较高水平的研究成果,但从总体而言,大多仍处