

分子电子学及其 LB 膜技术*

陈福深**

(电子科技大学光纤传输与通信国家重点实验室 成都 610054)

刘云圻 徐 愉

(中国科学院化学研究所 北京 100080)

【摘要】 分子电子学是近年来迅速发展起来的崭新学科,理论上的成功将必然导致新型的分子电子器件的产生,而 LB 膜技术已成为一种对广义分子电子器件进行组装的新技术。文中叙述了分子电子学的发展状况和 LB 技术在分子电子学中的应用,探讨了该领域的发展前景。

关键词 分子电子学; 分子电子器件; 组装技术; LB 膜

中图分类号 TN804

超大规模集成电路已使电子元件的尺寸进入亚微米量级,然而由于受到加工工艺和半导体材料某些物理效应的限制,很难应用现有技术使电子布线小到 $0.01\mu\text{m}$ 。近代高技术的发展,提出用主要由 C、H 等元素构成的有机分子材料取代传统的以 Si、Ge 为代表的无机材料作为集成电路的基本材料,其目的是研究出一种具有功能性的分子作为电子线路中的基本单位,以实现了对光、声、电、磁等信号的转换与处理,这类器件称为分子电子器件或分子器件。理论上的工作则是由化学、物理、生物、材料科学与电子工程技术的交叉,从而形成了一门崭新的学科——分子电子学^[1],分子电子学是研究分子水平上的电子学、分子材料及其应用。可以预见,随着分子电子学的发展与成熟,电子器件可实现纳米尺寸,这对信息技术乃至信息革命,都有着不可估量的深远意义。

1 分子电子器件

分子电子器件的目标是采用有机和导电聚合物、电荷转移复合物、有机金属和其他分子材料开创出用于信息和微电子学的新型元件,其研究内容主要包括分子导线、分子开关、分子整流器、分子存储器和分子计算机等。这些分子层次上的器件通常称为狭义分子电子器件或分子器件。除此之外,以有机分子为材料,通过分子层次的成膜技术,如 LB 膜技术、有机分子束外延生长技术所制备的光电子器件,这些器件本身并没有达到分子层次,所以通常称为广义分子器件或有机分子器件。

有效的分子导线是实现分子电子器件的关键单元。作为分子导线必须满足下述条件: 1) 导电; 2) 有一个确定的长度,足以跨越诸如类脂单层或双层膜; 3) 含有能够联接到系统功能单元的连接端点; 4) 允许在其连接端点进行氧化还原反应; 5) 导线必须与周围绝缘以阻止电子的任意传输。

1988 年 L. L. Miller^[2]等人首先在分子导线研究方面取得鼓舞人心的进展,他们以双二烯为原料,通过狄尔斯-阿尔德加成反应和芳构化反应,分别合成了长度为 3.06 nm、5.28 nm 和 7.5 nm 的

1996 年 10 月 3 日收稿

* 国家自然科学基金资助项目 [基金号 69274027]

** 男 51 岁 硕士 副教授

线性分子导线。1991年 M. J. Crossley^[3]等人由双卟啉四酮合成准一维,全共轭的卟啉齐聚体,长度约为 6.5 nm,主链周围有特丁基作为护套,以保证共轭中心与周围绝缘。基本上符合上述对分子导线的要求。分子导线中信息载流子除电子或空穴外还可能是孤立子、极化子、双极化子和光子等。最近 J. S. Lindsey^[4]等人设计合成了分子光子导线,与分子电子导线不同,分子光子导线支持激发态能量的输运而不是电子(或空穴)的输运过程。

1993年 9月 29日美国《研究与发展内情》报道了美阿贡国家实验室的 M. R. Wasielewski 等研制成功一种可靠性强的快速分子开关。其开关速度是其他分子开关的 10~100倍。而且在一天内进行了 8 600万次开关检查,没有发现失灵。原因是这种分子开关在工作时结构不发生变化。相比之下,其他分子开关则是依靠化学键的形成和分裂来进行工作的,因此开关速度慢,可靠性差。这种分子开关,中间是一个受体(苡),两端是给体(卟啉)。在开关过程中,给体发射电子,受体接受电子。当用一低强度的近红外光(713 nm)照射分子开关时,一给体发射一个电子给受体;当用一高强度的黄绿光(546 nm)照射分子开关时,两个给体发射电子。M. R. Wasielewski 等认为这种分子开关的出现将大大推动光计算机、电子器件及光通信装置朝着小型化、高效率、高速度方向发展。他们指出,这种分子开关将在 3~5年内投入应用。但是至今没有见到这种分子开关的详细报道。与此相反,R. A. Bissell^[5]等人则较为详细地报道了他们研究的可逆分子开关。这种分子开关为串珠样的超分子结构,可因 pH变化或电化学氧化还原在两种状态之间可逆地转换。

无论是理论准备还是实验制备,分子整流器是研究得最多的分子器件。其中最为杰出的成果是 G. J. Ashwell^[6]等人利用 LB膜技术,以有机材料做成只有几个分子厚的薄层能像整流器那样,只允许电流沿一个方向流动。并从实验上证明这种整流性能的本质是来源于分子的作用。为此英国的 *New Scientist*^[7]和美国的 *Science*^[8]都迅速地介绍了该项成果。

然而分子存储器和分子计算机主要仍限于理论上的探讨,实验结果报道还很少。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成果可使存储密度达到 10^{10} bit $^{\circ}$ cm $^{-2}$ 。

如果说狭义分子器件的研究至今仍是凤毛麟角的话,那么广义分子器件则是雨后春笋,遍地开花了,其器件包括光电开关、肖特基二极管、发光二极管、场效应晶体管、电照相接收器、太阳能电池、固体电容、可充电池、光波导和气体传感器等等。其中有一些已进入应用基础或应用开发研究。

2 分子电子器件材料

2.1 有机导体和有机超导体

自 1973年美国科学家发现有机晶体 TTF-TCNQ 具有金属导电性以来,有机导体的研究得到飞速发展。这类有机导体都属于电荷转移复合物类型,给体分子和受体分子在晶体中分别面对面紧密有序堆砌,沿着 π 电子重叠方向有着类似金属性的电导。由于 π 电子云相互交叠的各向异性导致了其一维的物理特性,所以存在理论物理上所认为的失稳性。对 Peilars 相变、电荷密度波(C. D. W.)、自旋密度波(S. D. W)的深入研究不仅丰富了人们对低维材料的认识,而且为探索有机超导打下了基础,并且在诸如电开关、温度显示和光盘等方面的研究已有了一定的进展。

1980年有机超导体(TMTSF) $_2$ PF $_6$ 的出现振动了整个科技界,结束了多年来关于有机超导体是否存在的争论。短短十几年,有机超导体的最高临界温度已超过了 12 K。近几年,Co $_x$ 经掺杂,超导临界温度已达 33 K,与无机超导体发展的漫长历史相比,无疑是一个惊人的成果。由于有机超导体既有与高温超导体相似的物理性质又具有氧化超导体所没有的特性,室温有机超导体的记忆和

信息处理的可能关系引起了广大科学家们的极大兴趣和注意。新的有机导体的设计、合成及有关低维物理特性的研究及应用和探索,提高有机超导体临界温度,试探高聚物超导体和室温超导体的可能性等仍是有机导体和有机超导体今后的研究方向。

2.2 导电高聚物

1977年由美国化学家 A. G. MacDiarmid 物理学家 A. J. Heeger 和日本化学家 H. Shirakawa 首先发现掺碘的聚乙炔具有金属特性,从此导电聚合物受到了各国科学家、产业界和政府的高度重视。1987年西德 BASF 的 H. Naarmann 首先研究了碘掺杂的高度取向的聚乙炔,使其室温电导率高达 $1.5 \times 10^5 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$,其电导值可与铜相比拟而重量只有铜的 1/12。随后,以聚吡咯、聚噻吩及聚苯胺为代表的聚芳烃、聚芳杂环的导电聚合物相继问世,它们的电导虽不如聚乙炔高,但因有很好的稳定性更接近应用而格外受重视。导电高聚物除了导电性之外,还呈现了电致变色、高的三阶非线性光学系数等特性,所以在能源、能量转移、通信、信息处理以及隐身技术上展现了广阔的应用前景。

2.3 有机与高分子非线性光学材料

自本世纪 60 年代人们发现尿素有机化合物具有非线性光学现象以来,人们已制备了几种有机和分子非线性光学材料。与无机非线性光学单晶相比,有机材料具有非线性效率高、响应速度快和光学损伤阈值高等特点,而且有机材料又具有容易加工成型、便于应用于器件等优势。因此,有机和分子非线性材料已成为当今世界前沿科学领域中的重要课题之一。目前研究的有机非线性光学材料可分为三类:有机晶体、聚合物和 LB 膜。非线性有机晶体从其化学结构来分为五种:1) 尿素及其衍生物;2) 间二取代苯的衍生物;3) 芳香硝基化合物;4) 有机盐;5) 聚二乙炔单晶。其中 MNA、NPP 都具有较高的二阶非线性系数。1988 年英国科学家发现了光学质量极佳的 MBANP 大晶体,其 d_{22} 为石英单晶 d_{11} 的 69 倍。有机晶体很可能在二阶谐波上首先获得应用,但目前仍有较大的差距。与有机晶体相比,非线性高聚物的研究还刚刚起步,许多基本问题尚不清楚,但由于高聚物具有易加工成薄膜、纤维等优势,因而近几年对于它的研究已有了很大的进展。高聚物材料在性能上具有响应快、非线性光学系数高和直流介电常数低等特点,在光通信、光信息处理方面有着较好的应用前景。

2.4 有机铁磁体

含有 d 电子的过渡金属元素的无机铁磁性材料已为人们所熟知,而有机铁磁材料具有易加工成膜和结构多变等优点,并且是以分子为单元记录信息的,因而一直吸引着科学家去探索它的存在。1986 年 Epstein 等人报道了二茂铁衍生物与 TCNQ 形成的电荷转移复合物,分子在晶体中以 $-D \cdot A \cdot D \cdot A-$ 的形式混合排列构成分子链,并存在着铁磁相互作用;同年,前苏联科学家又报道了在含有氮氧自由基侧链的聚双乙炔中观察到了铁磁现象,目前各国科学家在重复此实验时仍存在着争议;1989 年日本分子科学研究所的 Y. Maruyama 教授发现了有较强宏观铁磁性的小分子自由基有机化合物 (NTDIO)。中国科学院化学研究所在获得大尺寸高质量单晶后,对其基本磁性质和微观图像作了大量研究,并成功地将其高分子化。近期 C_{60} 的电荷转移复合物铁磁研究,在国内外都有很大进展。

2.5 有机半导体、光导体

有机半导体已有 40 年发展历史,人们制备了不少有机半导体,并对其电导、光导和其他物理性能及结构进行了详细研究。虽然固体能带理论和晶格动力学已对无机半导体材料的研究和应用探索等方面起了指导作用,并已被实践证明是十分成功的,但在解释有机半导体和光导现象上仍有许多不适用的地方。主要原因是有机固体在化学上和结构上往往较复杂,所以有机半导体理论还有

待进一步发展。有机半导体及光导体最成功的应用例子,是作为复印机和激光打印机中的光导鼓材料。据报道,在日本激光打印机产品中有机材料就占了 90% 以上。此外,有机半导体材料也正逐步被用于大屏幕显示、各类敏感元件、开关元件、光盘及太阳能电池等方面。

3 LB膜技术

LB膜是由漂浮在水面上的单分子层转移到固体基片上形成的,习惯上把由这些浮在水面上的单分子层叫 L膜,而把由这些单分子层累积而成的多层膜称为 LB膜。LB膜与其他膜相比,具有三个显著的特点:膜厚能薄至数十埃甚至数埃;能制备几乎没有缺陷的单分子层膜;高度的各向异性的层结构。这些特点预示着其广泛的应用前景。自本世纪 70 年代以来,各学科相互交叉发展,测量与表征的进步,使 LB膜的研究出现了高潮^[9-11]。

3.1 LB膜的特征

在气-液界面上形成单分子膜的分子通常是具有双亲基团即疏水基团如长脂肪链(18-22碳链)和亲水基团如-OH-COOH-NH₂等的分子,疏水链通过化学键与亲水基团相连。两亲分子在空气-水界面上达到热力学平衡,形成单分子层——一种二维有序体系。人们发现单分子膜存在各种状态。各种不同类型的膜性质之间有显著差别。因此和体相物质相类似,可将其分为似气、似液、似固三种状态。这种性质的差别是由成膜分子都是极性-非极性型这一事实引起的。极性基(或头)能与亚相(水)强烈地相互作用,这种相互作用可能是通过氢键、离子氛等效应实现的,而非极性部分(或尾)之间也有相互作用。对这两种类型作用的分析是解释单分子膜许多行为的基础。根据表面压力 π (定义为水面与单分子层的表面张力之差)与单个分子占有的面积 A 之间的关系,可以将单层分成三种状态:气态膜、液态膜、固态膜。

图 1 是一个典型的 $\pi-A$ 曲线。从 $\pi-A$ 曲线上我们应当知道:(1)作 dc 段曲线的切线,下推至 $\pi=0$,此时对应的 A 值,称为单分子极限占有面积,它相当于成膜分子的截面积,是了解分子的构造、排列、取向的重要数据;2)样品的成膜性,通常能形成稳定的固态单层并且崩溃压较高的样品具有较好的成膜性;3)制备 LB膜的最佳压力范围,对应于 $\pi-A$ 曲线上的 dc 段,一般采用直线段部分的中间值。

3.2 沉积技术

将水面上的单层膜转移到固体基片上以获得 LB膜的过程如图 2 所示:1)铺展,将成膜材料溶解于与水不混溶的溶剂中,小心地滴加到 LB槽中清洁的水面上,让溶剂挥发;2)压缩,压缩水面上的膜直至分子形成紧密的单分子层(对应于 $\pi-A$ 曲线上的固态膜);3)膜转移,以图中的垂直没渍法为例,根据基片的憎水性或亲水性的差别,在恒定的表面压力下以不同的方法将基片伸入或拉出水面。随着基片的上下运动,分子以不同的部位(疏水端或亲水端)附着的基片上。这样单层被逐层转移至基片上,形成多层膜。转移比(TR)是膜转移过程的重要参数,定义为: $TR = \text{水面上失去单分子膜面积} / \text{基板面积}$,用以衡量单分子膜转移的质量。控制固体基片的表面性质以及在水-空气界面进出的程序及次数,可以得到单层或多层膜,所以我们可以获得三种不同类型的 LB膜:X型、Y型和 Z型,如图 3 所示。

从上面的描述可以看到, LB膜是一种有序的单分子膜的组装体系。说它有序是指成膜过程中,这种单分子膜由于疏水基与疏水基之间,亲水基与亲水基之间的相互作用而具有形成有序结构

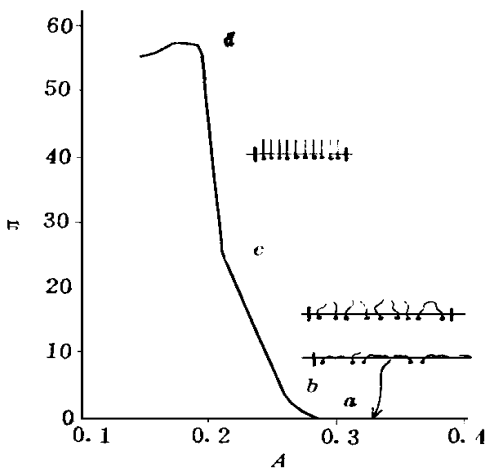


图 1 典型状态下的硬脂酸的 $\pi-A$ 曲线

π 表示表面压力 (mN/m), A 表示单个分子占有面积 (nm^2)

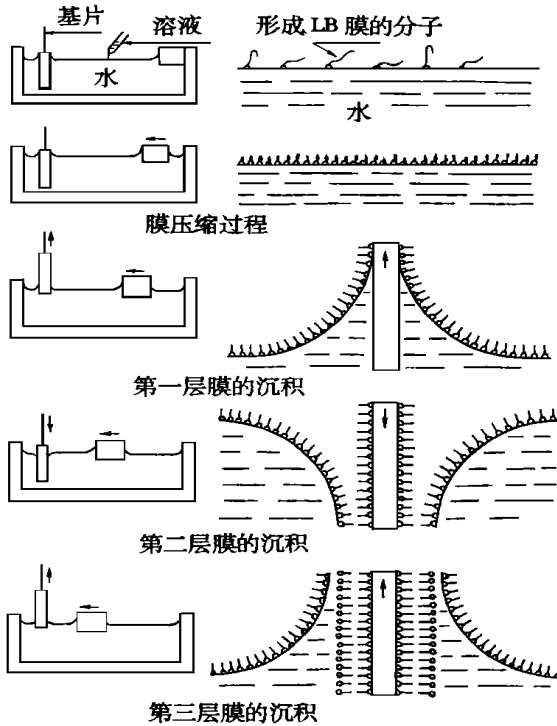


图 2 LB膜在固体基片上的成膜过程

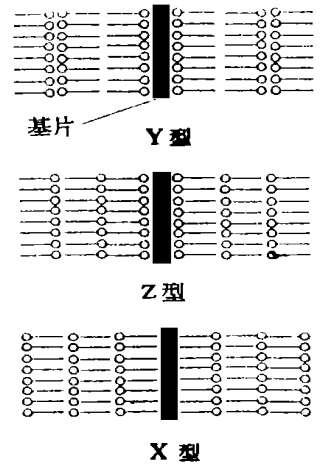


图 3 三种不同形式的 LB膜

的能力。它又是一种组装体系,在成膜过程中,有序单分子膜不可能改变自身的结构或引起整个膜的相变,所以 LB膜是一种有序的二维体系。当然,实际情况往往与理想状态有差别,膜内部有小孔,边界存在类似于晶粒边界的缺陷。

LB膜技术是近期发展很快的广义分子器件的一种组装技术,其研究成果层出不穷。但这种方法也有一定的缺陷,例如其成膜程序是非常精密的操作,基片进出水面的速度必须非常缓慢(1~3 mm/min),否则单层结构可能造成缺损或皱折。同时层与层之间主要靠范德瓦尔斯力或氢原子键结合,并非十分稳定,随着时间的推移,层内分子也可能倒转或重排。这些问题都可能是大规模制作或长期使用的主要问题^[12]。

4 LB技术与分子电子学的关系

根据上面的叙述可以看到 LB技术提供了一种可以在分子水平上控制分子排列和薄膜厚度的、形成有序膜的手段。LB技术的这一特点使得人们认识到了它在分子电子学中的潜在应用。这里需要指出的是,前面述及的分子电子学的概念(即以单个分子作为功能单元)是十分理想化的。经过几十年的研究,人们逐渐认识到尽管在这一研究领域中已经取得了很多成果,但在目前的技术条件下真正实现它是不大可能的。因而对于分子电子学的概念已经从狭义扩大到广义:研究具有潜在的电子学、光学应用前景的分子材料,包括导电高分子、有机超导体、分子铁磁体、电致光致变色材料、非线性材料、热电压电材料、液晶等。在这种广义上的分子电子学中, LB技术的研究便集中于解决一些常规的问题,最具有潜力的领域包括:

1) 薄膜光学^[13,14] 有机体系的非线性效应包括二阶(SHG)、三阶(THG)非线性效应、四波混频及双稳态等。过去十年以来,其工业化应用研究已经列入许多大公司的研究项目, Bell实验室报

道聚合交联的二乙炔聚合膜的 $i^{(3)}$ 达 1.0×10^{10} esu, 是所知有机材料中最大的。其中二阶非线性信号叠加的必要条件是非中心对称的结构。根据 LB 技术的特点, 这种要求可以很方便地通过控制其成膜方式来实现。

2) 传感器^[15] 传感器的工作原理是功能分子在外界环境改变时产生的电化学活性、光导、质量等的变化, 其灵敏性与膜的厚度有密切关系, 因为 LB 膜可以制备超薄膜, 应用 LB 技术预期可以得到高灵敏度的传感器。

3) 集成电路的绝缘层 微电子技术实际上是薄膜的加工技术, 绝缘层是其中非常重要的一个方面。目前绝缘层加工技术的决定性因素在于其规整性。很明显针孔的存在会导致短路。Kuhn 研究小组的以硬脂酸镉制作的 Metal-Monolayer-Metal 的电池^[16], 其不漏电的特性令人振奋并继续引起人们的研究兴趣。

4) 电子线路的元件 首先应该指出的是由于金属与有机物之间电学性能的差异, 有机材料几乎不可能代替金属材料。但是有机薄膜的研究不仅有着重要的理论意义, 有些已经成功地用于制作薄膜结器件。Schottky 二极管、场效应管 (FET)^[17, 18]、光生伏打电池等。例如用聚二乙炔、聚噻吩、聚苯胺、噻吩齐聚物、酞菁络合物制作的 Schottky 二极管, 整流比大于 1 000, 理想因子小于 2.5^[19]; 用聚亚胺单分子膜制备的光电二极管, 光电流比现有产品大 100 倍; 还有用 TCNQ 电荷转移复合物制备的电开关、光开关、传感器^[20], 用导电高聚物、噻吩齐聚体、酞菁铅制备的场效应管^[21-25], 以及用聚酰亚胺 LB 膜制备的超导隧道结等^[26]。尽管这些器件的性能指标总体上还比不上用无机材料制备的器件, 但它们是分子器件的雏形, 是最终实现分子器件所必要的初级阶段。

5 结束语

分子电子学是今后微电子学发展的一个方向, 世界上先进的工业国都把它列为本国高技术发展内容之一。近年来无论是在理论探索还是在实验室研究方面都取得了一定的进展, 但总的说来, 真正实现分子水平的器件还有相当长的距离。目前研究的重点应主要集中在下述三方面: 1) 有机固体的光、电、磁、化学和热力学性质, 以及它们分子之间、电子及声子之间的相互作用, 包括分子晶体、准晶体系、分子的微聚集态、层状结构、取向分子等不同分子形态结构和性能; 2) 继续进行相关技术的研究和开发, 尤其是分子层次的成膜技术和表面修饰技术; 3) 制备以有机材料为基础的各种功能器件。逐步实现微型化、分子化以期最终实现分子电子学的宏伟目标^[27-28]。

参 考 文 献

- 1 Aviram A. A Strategic plan for molecular electronics. *Inter J Quan Chem*, 1992, 42: 1 615~ 1 624
- 2 Kenny P W, Miller L L. Synthesis of molecular lines, rigid linear molecules with nanometer scale dimensions. *J Chem Soc Chem Commun*, 1988: 84~ 85
- 3 Crossley M J, Burn P L. An approach to porphyrin-based molecular wires: synthesis of a bis(porphyrin) tetraone and its conversion to a linearly conjugated tetrakisporphyrin system. *J Chem Soc Chem Commun*, 1991, 21: 1 569~ 1 571
- 4 Wagner R W, Lindsey J S. A molecular photonic wire. *J Am Chem Soc*, 1994, 116: 9 759~ 9 760
- 5 Bissell R A, Cordova E, Kaifer A E et al. A chemically and electrochemically switchable molecular shutter. *Nature*, 1994, 369: 133~ 137
- 6 Martin A S, Sables J R, Ashwell G J. Molecular rectifier. *Phys Rev Lett*, 1993, 70: 218~ 221
- 7 Clery D. Automatic ANDI checks aircraft skin for trouble spots. *New Scientist*, 1993, 137: 21~ 24
- 8 Waldeck D H, Beratan D N. Molecular electronics: observation of molecular rectification. *Science*,

- 1993, 261: 576- 577
- 9 Aviram A, Ratner M A. Molecular rectifiers. *Chem Phys Letters*, 1974, 29: 277- 283
- 10 Carter F L. Molecular level fabrication techniques and molecular electronic devices. *J Vac Sci Technol*, 1983, BI(4): 959- 968
- 11 Conrad M. On design principles for a molecular computer. *Communications of the ACM*, 1985, 28(5): 464- 480
- 12 陶雨台. 有机分子组合应用于非线性光学材料制备. *化学(台湾)*, 1993, 51: 548- 552
- 13 Girling I R, Cade N A, Kolinsky P V et al. Observation of second-harmonic generation from Langmuir-blodgett multilayers of a hemicyanine dye. *Thin Solid Films*, 1985, 132: 101- 112
- 14 Stroeve D, Srinivasan M P, Higgins B G et al. Langmuir-blodgett multilayers of polymer-merocyanine-dye mixtures. *Thin Solid Films*, 1987, 146: 209- 220
- 15 Ohmori Y, Muro K, Yoshino K. Gas-sensitive and temperature-dependent Schottky gated field-effect transistor utilizing poly(3-alkylthiophene)s. *Synth Met*, 1993, 55(57): 4111- 4114
- 16 Polymeropoulos E E. Electron tunneling through fatty-acid monolayers. *J Appl Phys*, 1977, 48: 2404- 2407
- 17 Gomes H L, Taylor D M, Underhill A E. Charge transport in poly(3-methylthiophene) Schottky barrier diodes. *Synth Met*, 1993, 57(1): 4076- 4081
- 18 Assadi A, Willander M, Svensson C et al. Fabrication and characterization of Schottky gate poly(3-alkylthiophene) planar field-effect transistors. *Synth Met*, 1993, 58: 187- 193
- 19 Garnier F, Hajlaoui R, Yassar A et al. All-polymer field-effect transistor realized by printing techniques. *Science*, 1994, 265: 1684- 1686
- 20 Iwasa Y, Koda T, Takura Y et al. Switching effect in organic charge transfer complex crystals. *Appl Phys Lett*, 1989, 55(20): 2111- 2113
- 21 Akimichi H, Waragai K, Hotta S et al. Field-effect transistors using alkyl substituted oligothiophenes. *Appl Phys Lett*, 1991, 58(14): 1500- 1502
- 22 Hotta S, Waragai K. Crystal structures of oligothiophenes and their relevances to charge transport. *Adv Mater*, 1993, 5: 896- 908
- 23 Sevet B, Ries S, Torsi M et al. X-ray determination of the crystal structure and orientation of vacuum evaporated sexithiophene films. *Adv Mater*, 1993, 5: 461- 464
- 24 Dodabalapur A, Torsi L, Katz H E. Organic transistors two-dimensional transport and improved electrical characteristics. *Science*, 1995, 268: 270- 271
- 25 Guillaud G, Chaabane R B, Jouve C et al. Transient behaviour of thin film transistors based on nickel phthalocyanine. *Thin Solid Films*, 1995, 258: 279- 282
- 26 Yunqi L, Jnbiao Z, Peiji W, Daoben Z et al. Preparation of superconducting edge junctions using polymeric langmuir-blodgett films as barrier layers. *J Appl Polym Sci*, 1994, 51: 2035- 2039
- 27 朱道本, 刘云圻. 有机分子组合应用于非线性光学材料制备. *物理*, 1993, 22(3): 140- 145
- 28 刘云圻, 朱道本. 分子器件. *物理*, 1990, 19(5): 260- 265

Molecular Electronics and LB Film Techniques

Chen Fushen

(University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054)

Liu Yunqi Xu Yu

(Institute of Chemistry, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract Molecular electronics is one of the novel research fields developed rapidly in recent years and its theoretical successes will result in the production of molecular electronic devices, which can be assembled by using the LB (Langmuir-Blodgett) film techniques. In this paper, the progress of molecular electronics and LB techniques are briefly reviewed, and their perspectives are discussed.

Key words molecular electronics; molecular electronic devices; assembly techniques; Langmuir-Blodgett(LB) film

编辑 徐安玉

.....

◦ 科研成果介绍 ◦

机载嵌入式实时操作系统 CRTOS/386R

主研人员: 罗 蕾 熊光泽 高汝宗 李黎明 何 激 成 科

CRTOS/386包括分布式应用的运行支持软件和宿主交叉开发软件两个组成部分。运行支持软件是由实时多任务内核, 1553B总线网络管理, 集散式数据管理等组件构成的 80X86实模式实时多任务操作系统。宿主交叉开发软件, 是建立在 PC/486DOS平台上, 为上述 80X86实模式实时操作系统的应用软件开发提供了配套的工具环境, 包括: 编程固化、模拟调试和交叉调试等开发功能。其次, 该成果创造性地提出了一种基于软件执行时间检测的故障处理算法, 实现了对多任务软件核心态和应用态任务级故障检测和恢复处理机制, 使软件具有多重可靠性保证措施。

其主要技术指标为:

- 响应时间快且确定: 任务切换时间、中断延迟时间、系统调用时间均在 μ s 级;
- 提供三种可靠性措施: 任务重试, 操作系统重试, 独立的中断栈;
- 最大应用任务数: 254个
- 基于 1553B的实时多任务网络通信
- 最大事件数: 254* 8个
- 集散的数据管理
- 最大信号量数: 255个
- CRTK/386R代码: 10. 552 kB
- NTM/53B及 DDM/53B代码 5. 936 kB

该软件成果在技术上属国内领先, 达到国际 90年代水平。

A716 1000 HP转子循环试验器微机控制系统

主研人员: 项 勇 张连生 古天祥 张富华 徐全渝 杨宗龙等

A76 1000 HP转子循环试验器微机控制系统由微机测控箱、电气控制箱、智能转速表、PC机等部分组成, 能够完成航空发动机、燃气轮机转子的超转试验和多种载荷谱的低周循环疲劳试验任务。系统的主要指标:

- 1) 当试件转速为 3 000~ 5 000转/分或 5 000~ 25 000转/分, 稳定控制精度不低于 $\pm 0. 3\%$ 或 $\pm 0. 2\%$, 稳速时间大于 5 min
 - 2) 作循环运转时上限转速重复精度为 $\pm 0. 3\%$, 最大升、降速加速度为 1 000转/分。
 - 3) 可任意设置常规、等幅、变幅、随机循环等多种试验模式的试验参数, 能够实时显示、存储和打印。
 - 4) 具有超转速、超转加过速、回路过电流、直流发电机过激磁、直流电动机欠激磁等报警及保护功能。
- 该系统为航空发动机结构强度、寿命可靠性研究及发动机延寿等工作提供了先进的试验手段。

◦ 科 卜 ◦