

高密度有机信息存储材料及其多进制存储性能研究

路建美*, 徐庆锋, 李 华, 李娜君, 贺竞辉, 陈冬赞, 王丽华

(苏州大学材料与化学化工学部, 苏州纳米协同创新中心, 苏州 215123)

摘要:超高密度有机存储材料是当前热门的研究课题。本文主要介绍了本课题组在有机信息存储材料的研究进展,特别是多进制存储材料的研究,提出了独特的多电荷陷阱机理实现电学多稳态,即多进制,为高密度信息存储材料的发展提供了新思路和新材料。

关键词:多进制; 电存储; 有机材料

引言

3D IMAX 电影《阿凡达》给观众带来空前视听享受,但是它使用了重达 700kg 的胶片,这反映出有机信息存储技术已经远远不能满足当今社会信息量爆炸式增长了。究其原因这是由于传统的存储技术自身的物理限制决定的。例如,依据摩尔定律,基于硅材料的存储器已经到达其存储极限^[1]。相较于硅存储器件记录数据的方式,有机存储器件的数据存储是一种全新的记忆模式,在电场作用下,以阻抗突变来实现信息存储,即低导电态(OFF 态)跃迁至高导电态(ON 态),对应于信息存储的“0”和“1”二进制^[2~6]。这一研究将有机材料的应用拓展至信息存储领域,引起科学家们的广泛关注。单个有机分子已可以通过隧道扫描电子显微镜技术(STM)实现信息读写,无疑为高密度存储技术提供了新前景。但是这需要依赖昂贵的 STM 设备,如何使用更简易,可操作性强的方法实现有机材料的高密度信息存储,是具有挑战性的课题。目前主要的方法是:(1)缩小存储器件尺寸,即采用扫描隧道显微镜探针(STM)和原子粒径显微镜(AFM)测试器件,可以将测试尺度缩小到纳米级别^[7~9]。然而,该方法的测试条件对仪器的要求很高,成本昂贵,且器件在纳米级别的稳定性较差,测试曲线容易出现波动;(2)采用多层结构制备存储器件^[10],但由于多层器件制备工艺繁琐,且层与层之间需要制备隔离层,限制了该方法的应用;(3)应用多进制存储材料,即制备具有多进制存储特性的材料用于信息存储^[11~13]。多进制存储是指信息存储时,可以使用多个稳定态,即“0,1,2,...”等。例如,三进制存储是多进制存储的一种。在单位面积内,它的存储容量用 3^n 来表达,将比二进制的单位存储容量提高上亿倍。另外,材料可运用微结构制造技术和光刻工艺等现代制造技术来规模化制备存储器件^[14,15],相比前两种方法,应用多进制存储材料来制备存储器件更加有实用性,更易实现高密度存储。

但是多进制存储材料的研究还刚刚开始。2008 年,美国宾夕法尼亚大学的阿加瓦尔教授报道了一种核-壳结构 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5/\text{GeTe}$ 的纳米线在脉冲电场下产生了晶态、无定形态及两种状态之间的中间态,这三种相态不同的电阻则可以对应到数据存储中的“0”、“1”、“2”三进制存储^[16a]。这种明确的结构与存储进制之间内在关系的研究,为后续多进制存储器件设计提供了新思路。当时,有机存储器件还都仅限于二进制存储材料的研究。2010 年,我们课题组率先报道了有机小分子的三进制材料和器件,成功突破了有机多进制信息存储的“零”记录,提出了电荷陷阱新机理可实现三进制信息存储,受到了广泛的注意,美国化学会 Chemical & Engineering 网站以“信息存储走向有机”、美国物理协会网站以“三进制信息存储

10.14028/j.cnki.1003-3726.2015.10.004

收稿:2015-05-29;修回:2015-06-11;

基金项目:国家自然科学基金重点项目(2136005);国家自然科学基金(21371128,21176164);

作者简介:路建美(1960—),博士,教授,博士生导师,主要从事有机微纳材料的制备及应用的研究;

* 通讯联系人,E-mail: lujm@suda.edu.cn.

实现突破”以及国外 The Register 网站以“中国人突破二进制信息存储走向三进制”为标题对这个工作做出了高度评价。后续工作中,我们以电荷陷阱机理为指导,设计合成了多个具有三进制信息存储功能的有机小分子,另外还设计合成了多个功能单体,通过电荷转移、聚合物构象变化等机理实现了聚合物三进制存储性能。本文主要对课题组近期工作进行总结。

1 分子结构与多进制存储性能的构效关系

1.1 骨架为 D- π -A1- π -A2- π -A1-n-D 的对称结构的偶氮类有机分子及其三进制存储性能

2010 年,本课题组报道了一个具有对称结构的有机小分子(Azo1)及其三进制电存储性能^[16b]。如图 1 所示,该分子有两电子受体:砷基(强受体 1)和偶氮键(弱受体 2),这意味着分子中存在两种深度不同的电荷陷阱。ITO/Azo1/Al 存储器件的 I-V 特性表明,第一次扫描从 0 到 -3V,观察到 -1.37V 和 -2.09V 电流突跃,三种电流状态可对应“0”、“1”、“2”。该器件展示了三进制的存储特性。通过理论计算提出了“双陷阱”机理来解释可能的存储机理。该分子结构中砷基和偶氮,分别充当两个电荷陷阱,当对器件施加电压时,随着电压的逐渐增大,两个电荷陷阱依次被填充满,实现器件的逐步导通,即 OFF、ON1、ON2 三个状态。以此电荷陷阱理论为基础,在后续合成了一系列类似物,研究它们的结构变化与存储性能的构效关系。

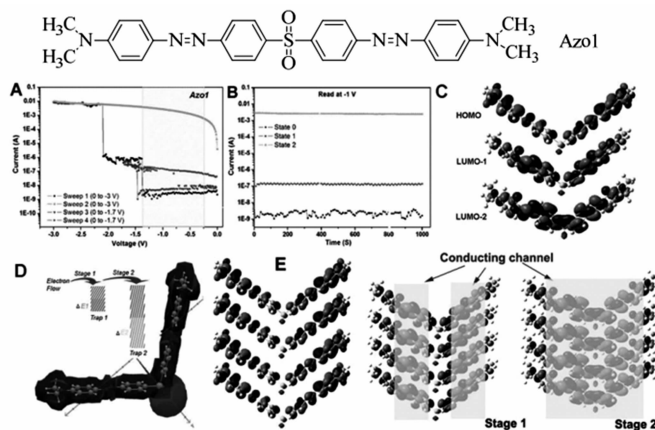


图 1 Azo1 的分子结构

(A) ITO/Azo1/Al 器件的电流电压曲线; (B) 在恒定电压的 -1 V, 器件稳定图; (C) 的分子模拟结果; (D) 分子模拟 Azo1 的表面电势 (ESP) 以及 (E) 分子堆积模型^[16]。

Figure 1 Molecular structure of Azo1

(A) I-V characteristics of the memory device fabricated with Azo1. (B) Stability of the device in three states under a constant “read” voltage of -1 V; (C) DFT molecular simulation results (B3LYP/6-311G* level); LUMO-1, LUMO-2, HOMO; (D) Molecular simulation results for ESP surfaces of Azo1 and the proposed electron-flow mechanism at molecular level; (E) Molecular stacking model and illustrations of the conducting channels of the stacking molecules.

例如,研究了分子平面性对三进制存储性能的影响。图 2 所示的两个以二芳基酮为中心骨架的共轭偶氮分子 DPKAZO 1 和 FKAZO 2。研究发现,两个分子的器件均显示了非易失性三进制存储性能^[17]。但 ITO/FKAZO 2/Al 三明治结构器件开启电压(-1.05 和 -1.81V)明显低于 DPKAZO 1 所制备的器件(-1.50 和 -2.61V)。通过理论计算分析,发现 FKAZO 2 分子由于中心基团的平面性好,使整个分子的平面性和堆积紧密程度都好于 DPKAZO 1(见图 2c 和 d)。因此薄膜中 FKAZO 2 分子形成了紧密有序的 π - π 堆积,有效降低载流子的注入势垒,使得 FKAZO 2 存储器件的开启电压较低。这为有机存储器件如何实现低功耗提供了研究方法。

其次,研究了分子共轭程度对三进制存储性能的影响。如图 4 所示,分子 DPAPIT 较 DPAPPD 共轭

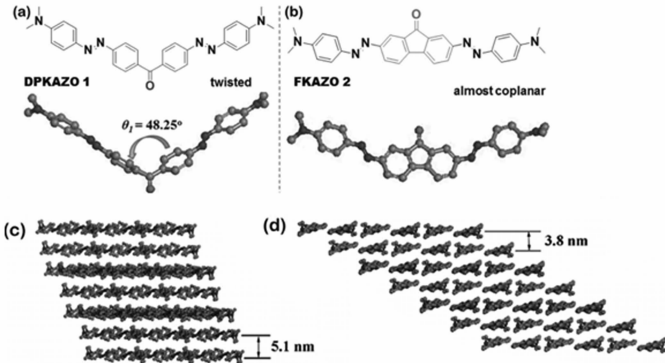


图 2 (a, b) DPKAZO 1 和 FKAZO 2 的化学结构式,优化的几何构型和平面间的二面角;(c, d) 两分子的堆积层^[17]。
Figure 2 (a and b) Chemical structures, optimized geometries, and dihedral angle between the planes;
(c and d) the stacking layers of the two molecules.

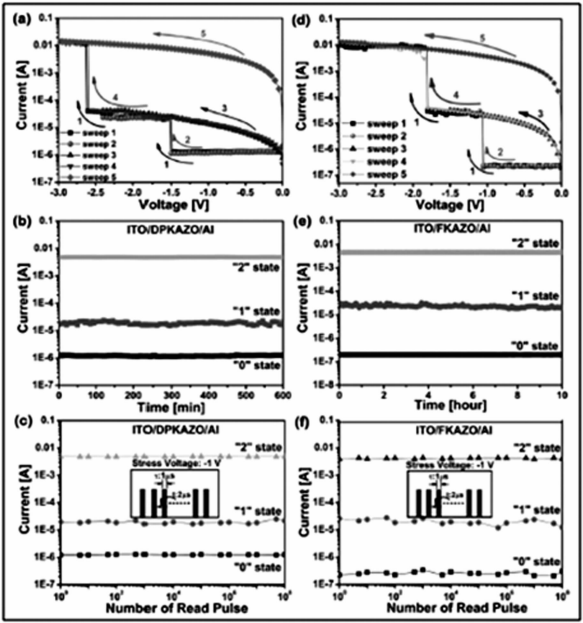


图 3 存储器件的电流电压特性(a, d),电压 -1 V 器件的稳定曲线图(b, e),电压 -1 V 器件的可读写次数
图(c, f)ITO/DPKAZO 1/Al 器件(a, b 和 c)和 ITO/FKAZO 2/Al 器件(d, e 和 f)^[17]。
Figure 3 Current-voltage (I - V) characteristics, effect of the operation time (at -1 V) and effect of a read pulse of
 -1 V on the three states of ITO/DPKAZO 1/Al device (a, b, and c) and the ITO/FKAZO 2/Al device (d, e, and f).

性更好,因此易于形成晶态薄膜,而 DPAPPD 共轭程度小,薄膜质量差,不具有存储性能^[18]。ITP/DPAPIT/Al 器件表现出稳定的三进制存储行为。该薄膜还可以采用导电 AFM 探针施加不同电压,以三种电压分别写入信息,对应于“0,1,2”三进制。研究表明,共轭程度大的分子易于规整堆积,更能表现出三进制的存储性能。

1.2 骨架为 D- π -A1- π -A2 不对称结构的偶氮类有机分子及其三进制存储性能

为简化分子结构,合成了非对称性的偶氮类小分子并制备存储器件,研究它们的存储性能。实验进一步证实,分子中两种吸电子基团的存在对三进制存储行为是必要的。如图 5 所示的分子中只有 TPAAC 1 符合这样的结构类型,因而其存储器件展示了三进制存储性能。而不同的吸电子端基强弱也会对信息写入的开启电压产生影响^[19,20]。

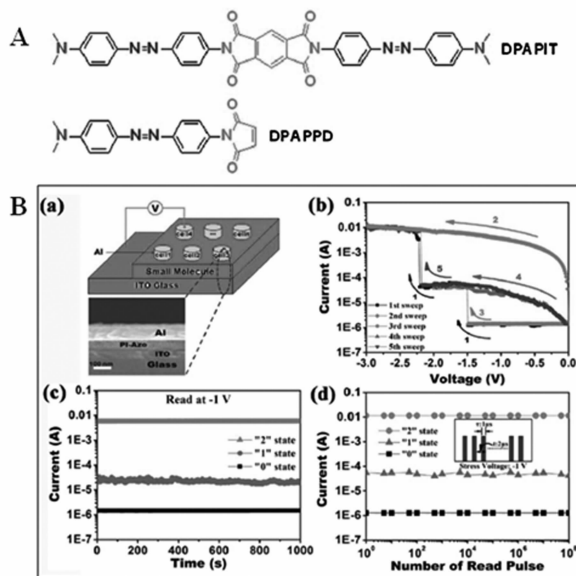


图 4 (A)有机分子的结构式;(B)(a)三明治器件结构图;器件的横截面图;(b)薄膜经过 80℃ 退火后制备的存储器件的电流电压特性;(c)电压-1V 器件的稳定曲线图;(d)电压-1V 器件的可读写次数图^[18]。

Figure 4 (A) Chemical structure; (B) (a) (top) Illustration of the sandwich device; (bottom) SEM image of a cross-section view of the device; (b) current-voltage (I-V) characteristics of the memory device fabricated with DPAPIT film annealed at 80°C; (c) stability of the device in three states under a constant “read” voltage of -1V; and (d) effect of read cycles under a stress voltage of -1V.

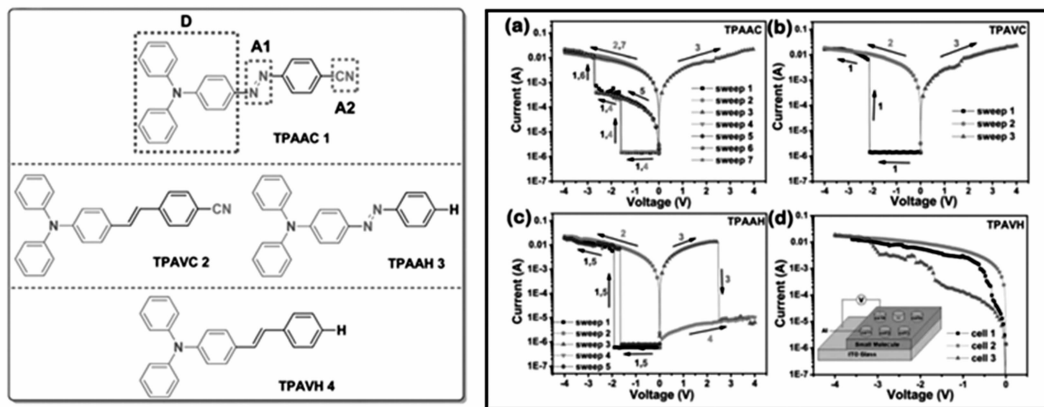


图 5 TPAAC 1、TPAVC2、TPAAH 3 和 TPAVH 4 四个共轭小分子的化学结构式
四个小分子制备的器件的 I-V 特性分别对应的是:(a) TPAAC 1;(b) TPAVC 2;(c) TPAAH 3;(d) TPAVH 4;
图(d) 中的插图是 ITO/小分子/Al 三明治器件的示意图^[19]。

Figure 5 Chemical structures of four conjugated small molecules
TPAAC 1, TPAVC2, TPAAH 3, and TPAVH 4 (left panel). I-V characteristics of the four small molecule based memory devices: (a) TPAAC 1, (b) TPAVC 2, (c) TPAAH 3, and (d) TPAVH 4, respectively. The inset of (d) shows a schematic diagram of the ITO/small molecule/Al sandwich-structure memory device. (right panel)

1.3 含双吸电子基团的吩噻类有机分子及其三进制存储性能

除偶氮类有机小分子外,本课题组还合成了其它含有杂原子的有机分子也具有三位存储特性。例如含吩噻的九并苯(CDPzN,见图 7(a)),由于引入了 N、O 杂原子,该化合物比文献报道的其它多并苯分子

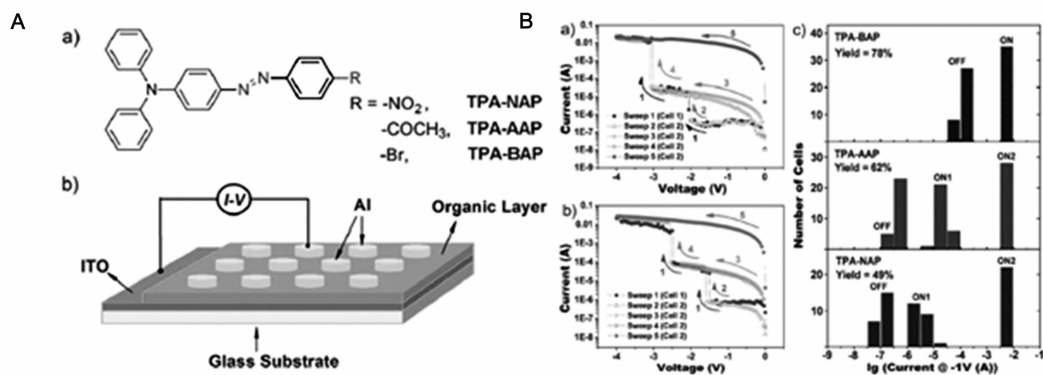


图 6 (A) (a) D-A 分子的结构式, (b) ITO/D-A 分子/Al 器件示意图; (B) (a) ITO/TPA-NAP/Al 存储器件 I-V 曲线 (b) ITO/TPA-AAP/Al 存储器件 I-V 曲线: 在存储单元 1 上进行第一次从 0 到 -4V 的电压扫描; 在存储单元 2 上进行其它的电压扫描; (c) 重复性和电流分布的统计学数据 (在 -1V 读出; 每个器件有 45 个存储单元) [20]。

Figure 6 (A) (a) Molecular structures of the D-A molecules and (b) scheme of the ITO/D-A molecule/Al memory device; (B) Typical I-V curves of the (a) ITO/TPA-NAP or (b) TPA-AAP/Al memory device; The first sweep was carried out from 0 to -4V on storage cell 1; the other voltage sweeps were carried out on storage cell 2; (c) the statistical data of reproducibility and current distribution (read at -1V ; 45 cells for each kind of device).

有更好的空气稳定性和热稳定性^[21]。利用真空蒸镀的方法成功制备了 ITO/CDPzN/Al 三明治器件, 所制备的器件在电场条件下, 具有明显的三进制电存储性能, ON2/ON1/OFF 电流比为 $10^{6.3}/10^{4.3}/1$, 开启电压分别为 -1.80V 、 -2.87V 。且所制备的器件在电场条件下具有很好的稳定性, 能够在电场条件下保持 10000s , 读写次数高达 10^7 。氧原子的引入使有机分子 4N4OPz 更稳定, 无论是在基态还是氧化状态都比较稳定。基于该有机分子的存储器件的传导机制是由于分子中两个不同吸电子能力的电荷陷阱导致, 即四硝基和吡嗪基团。

又如, 含吩嗪杯芳烃(4N4OPz)与线性结构的 CDPzN 相比, 化合物 4N4OPz 共轭性较小, 但加工性能好易于成膜, 且杯芳烃特殊的“杯”型构象, 在电场条件下, 可趋于平面化, 进而利于载流子传输, 降低器件的开启电压。利用真空蒸镀的方法成功制备了 ITO/4N4OPz/Al 三明治器件, 所制备的器件在电场条件下, 具有稳定的三进制电存储性能, 且在电场条件下具有很好的稳定性, 能够在较高温度(50°C)和较高电压下(10V)下保持 40000s , 读写次数高达 10^7 。另外, ITO/4N4OPz/Al 器件的 ON2/ON1/OFF 电流比为 $10^{8.7}/10^{4.2}/1$, 高于目前报道的其它三进制电存储的电流比, 这将有效降低器件的误读率。由于所制备的分子在膜状态下形成了 H-聚集, 载流子传输性能更好, 开启电压均小于 3V , 有效降低了器件的能耗。因此, 化合物 4N4OPz 具备了低能耗, 低误读率和高稳定性的特点, 为多进制有机材料的分子设计提供了新思路。

2 双机理驱动 的 聚合物三进制存储行为

聚合物的三进制存储行为也引起广泛关注。与有机小分子存储器不同的是, 聚合物的三进制存储机理更复杂。通常认为在双驱动机制条件下, 部分聚合物存储器件有可能在电场下产生低导电态、高导电态以及两种状态之间的中间导态, 形成数据存储中的“0”、“1”、“2”三进制存储。因此, 一些研究者在二进制聚合物材料的基础上, 引入双驱动机制的理念, 能够成功地得到了许多三进制聚合物存储器件^[22]。本课题组在小分子三进制存储器研究的基础上也开展了聚合物三进制存储材料的合成及性能研究。

2012 年, 本课题组设计合成了一系列含呋唑基团和偶氮基团的共聚物 $\text{P}(\text{VCz})_x(\text{MIDO3})_y$, 如图 9 (a) 所示^[23]。其中, 以共聚物 $\text{P}(\text{VCz})_{29}(\text{MIDO3})_{21}$ 为活化层材料的器件 ITO/ $\text{P}(\text{VCz})_{29}(\text{MIDO3})_{21}$ /Al 先是由低导电态跃迁至高导电态, 随即又由高导电态掉落至中间导态, 形成三稳态的存储性能, 如图 9

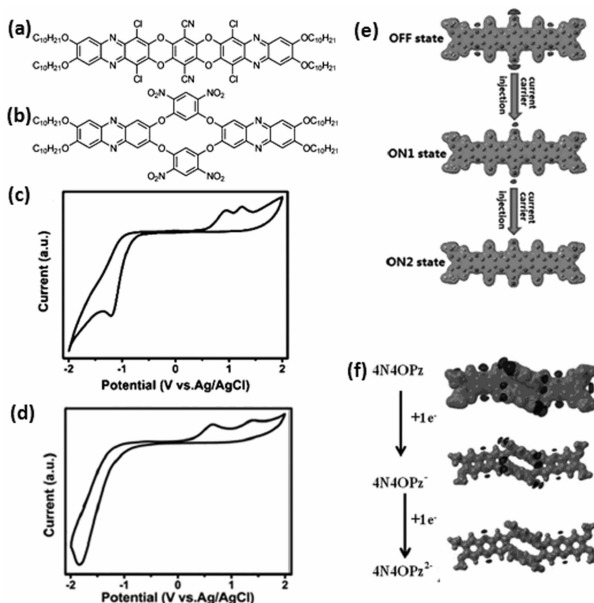


图 7 分子 CDPzN(a)和 4N4OPz(b) 的化学结构

CDPzN(c)和 4N4OPz (d) 的循环伏安曲线; CDPzN(e)和 4N4OPz (f) 基于 DFT 的分子模拟图 D^[21]。

Figure 7 Molecular structures of CDPzN(a)and 4N4OPz (b); Cyclic voltammogram curve of CDPzN (c) and 4N4OPz (d) thin films on ITO glass; DFT molecular simulation results of CDPzN (e) and 4N4OPz (f).

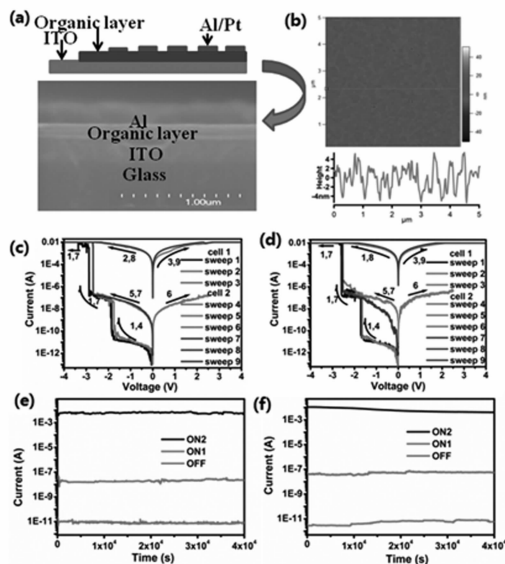


图 8 (a)基于 4N4OPz 的器件结构示意图和器件截面图; (b)4N4OPz 的薄膜 AFM 形貌图; 存储器件 ITO/4N4OPz/Al; (c)和 ITO/4N4OPz /LiF/Al; (d)的 I-V 特性; 存储器件 ITO/4N4OPz/Al; (e)和 ITO/4N4OPz /LiF/Al(f)的稳定性曲线^[21]。

Figure 8 (a) Scheme of the sandwich device and SEM image of a cross-section of the 4N4OPz device; (b) Tapping-mode AFM topography image of the 4N4OPz film; (c and d) I-V characteristics of the memory devices (ITO/4N4OPz/Al and ITO/4N4OPz/LiF/Al, respectively) fabricated with 4N4OPz; (e and f) Stability of the memory devices (ITO/4N4OPz/Al and ITO/4N4OPz/LiF/Al, respectively)

(b)所示。通过研究发现,将 I-V 曲线中第一次导态的转变化解释为咪唑与偶氮基团间的电荷转移作用,而将第二次导态跃迁可归咎于聚合物薄膜中铝丝的部分渗入。

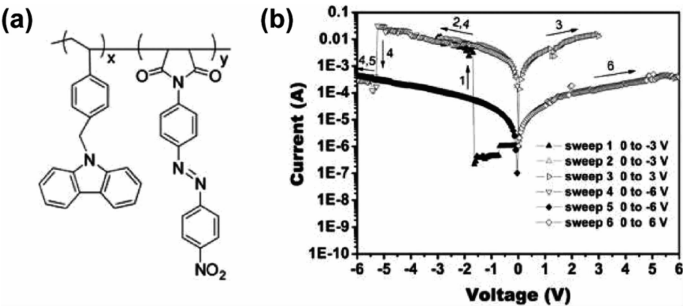


图 9 (a)无规共聚物 $P(VCz)_x(MIDO3)_y$ 的分子结构式；
(b) ITO/ $P(VCz)_{29}(MIDO3)_{21}/Al$ 器件的 I-V 曲线^[22]。

Figure 9 (a) Chemical structure of the random copolymers $P(VCz)_x(MIDO3)_y$;
(b) Typical I-V characteristics of an ITO/ $P(VCz)_{29}(MIDO3)_{21}/Al$ device.

2013 年,本课题组再次合成了聚四乙烯吡啶衍生物 P4VPCz(见图 10),通过聚合物中吡啶基团和离子盐的含量控制实现了多存储性能的器件制备,即从二进制存储性能到三进制存储性能,再到无存储性能的转变,如图 10(c, d, e)所示^[24]。其中,二进制存储性能的 P4VPCz2 是由电荷陷阱单机制驱动的,而三进制存储性能的 P4VPCz5 是由构象转变和电荷陷阱填充双机制驱动的。对 P4VPCz2 和 P4VPCz5 来说,少量离子盐的引入有助于电荷在活化层中的传输,从而能够提高器件的稳定性。但是增加到一定含量,即 P4VPCz8 时,器件只呈现高导态而无存储性能。

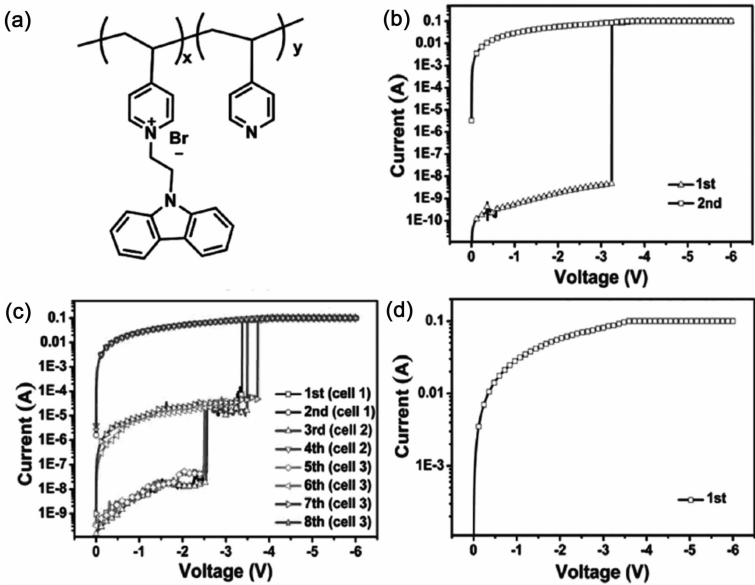


图 10 (a) 聚合物 P4VPCz 的结构式; (b) ITO/P4VPCz2/Al; (c) ITO/P4VPCz5/Al 和
(d) ITO/P4VPCz8/Al 器件的 I-V 曲线图^[23]。

Figure 10 (a) molecular structure of P4VPCz; I-V characteristics of (b) ITO/P4VPCz2/Al; (c) ITO/P4VPCz5/Al
and (d) ITO/P4VPCz8/Al devices.

2015 年,在先前工作的研究基础上,我们又合成了含偶氮基团同时具有配位功能的聚合物 PAzo-py,如图 11(a)所示^[25]。Cu(Phen)Cl₂ 的引入使得原本表现出二进制存储性能的 PAzo-py 实现了三进制存储行为,如图 11(b)所示,器件 ITO/PAzo-py-Cu(Phen)Cl₂/Al 表现出稳定的三进制非易失性存储的性能。研究表明,配位聚合物 PAzo-py-Cu(Phen)Cl₂ 三进制存储性能来源于电荷陷阱填充和偶氮苯基团与铜离子间的电荷转移的双机制驱动。理论计算结果表明,当金属离子与吡啶基团配位后,HOMO/

LUMO 轨道能级发生较大改变,相应能级差也变化了。因此,在配位聚合物体系中有能级区分度不同的区域(即配位区域和未配位区域),在外电场作用下,由于电荷传输的能力不同,表现出了三个导电稳定态,即三进制存储行为。

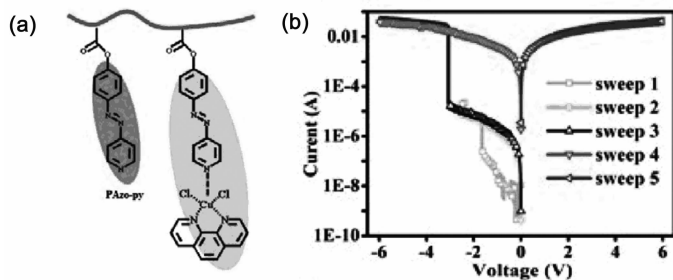


图 11 (a) PAzo-py 和 PAzo-py-Cu(Phen)Cl₂ 的化学结构式;

(b) ITO/PAzo-py-Cu(Phen)Cl₂/Al 的 I-V 曲线图^[24]。

Figure 11 (a) Chemical structure of PAzo-py and PAzo-py-Cu(Phen)Cl₂;

(b) Typical I-V characteristics of ITO/PAzo-py-Cu(Phen)Cl₂/Al.

3 结论和展望

综上所述,具有稳定三进制存储性能的有机材料是可通过分子设计、组装等获得的。随着研究的深入,它们的存储机理也越来越明晰,为这些材料在信息存储领域的应用提供了坚实的研究基础。但是与其它有机光电材料和器件的研究相比,信息存储材料仍属于刚刚起步,还有许多基础问题函待解决。例如这类材料实现多进制的分子设计规律、其可追踪的导电过程及机理仍是科学家们关注的理论问题。另一方面,如何将这些新材料运用到现有的存储体系中。这将是一个重要的研究课题和挑战,可能需要材料学家、信息学家和微电子科学家们共同努力。

参考文献:

- [1] (a) Marsh G. Mater Today, 2003, 6: 38; (b) Service R F. Science, 2003, 302: 556; (c) Comano R. Nanotechnology, 2001, 12: 85.
- [2] Ling Q D, Liaw D J, Teo E Y H, Zhu C X, Chan D S H, Kang E T, Neoh K G. Polymer, 2007, 48: 5182.
- [3] Reichmanis E, Katz H, Kloc C, Maliakal A. Bell Labs Technical Journal, 2005, 10 (3): 87.
- [4] Tseng R J, Ouyang J, Chu C W, Huang J, Yang Y. Appl Phys Lett, 2006, 88 (12): 123506.
- [5] Bozano L D, Kean B W, Deline V R, Salem J R, Scott J C. Appl Phys Lett, 2004, 84 (4): 607.
- [6] Li C, Fan W, Lei B, Zhang D, Han S, Tang T, Liu X, Liu Z, Asano S, Meyyappan M, Han J, Zhou C. Appl Phys Lett, 2004, 84 (11): 1949.
- [7] Choi S, Hong S H, Cho S H, Park S, Park S M, Kim O, Ree M. Adv Mater, 2008, 20 (9): 1766~1771.
- [8] Jiang G, Song Y, Guo X, Zhang D, Zhu D. Adv Mater, 2008, 20 (15): 2888~2898.
- [9] Wen Y Q, Wang J X, Hu J P, Jiang L, Gao H J, Song Y L, Zhu D B. Adv Mater, 2006, 18 (15): 1983~1987.
- [10] Koo B, Baek H, Cho J. Chem Mater, 2012, 24 (6): 1091~1099.
- [11] Liu S J, Wang P, Zhao Q, Yang H Y, Wong J, Sun H B, Dong X C, Lin W P, Huang W. Adv Mater, 2012, 24 (21): 2901~2905.
- [12] Su Z, Zhuang H, Liu H, Li H, Xu Q, Lu J, Wang L. J Mater Chem C, 2014, 2 (28): 5673~5680.
- [13] Zhang Y, Zhuang H, Yang Y, Xu X, Bao Q, Li N, Li H, Xu Q, Lu J, Wang L. J Phys Chem C, 2012, 116 (43): 22832~22839.
- [14] Ye C, Peng Q, Li M, Luo J, Tang Z, Pei J, Chen J, Shuai Z, Jiang L. Song Y. J Am Chem Soc, 2012, 134 (49): 20053~20059.
- [15] Jiang W, Wang G, He Y, Wang X, An Y, Song Y, Jiang L. Chem Commun, 2005, 28 (28): 3550~3552.
- [16] (a) Jung Y W, Lee S H, Jennings A T, Agarwal R. Nano Lett, 2008, 8: 2056~2062; (b) Li H, Xu Q, Li N, Sun R, Ge J, Lu J, Gu H, Yan F. J Am Chem Soc, 2010, 132 (16): 5542~5543.

[17] Miao S, Li H, Xu Q, Li Y, Ji S, Li N, Wang L, Zheng J, Lu J. Adv Mater, 2012, 24 (46): 6210~6215.

[18] Miao S, Li H, Xu Q, Li N, Zheng J, Sun R, Lu J, Li C M. J Mater Chem, 2012, 22 (32): 16582~16589.

[19] Miao S, Zhu Y, Zhuang H, Xu X, Li, H, Sun R, Li N, Ji S, Lu J. J Mater Chem C, 2013, 1 (12): 2320~2327.

[20] Zhuang H, Zhang Q, Zhu Y, Xu X, Liu H, Li N, Xu Q, Li H, Lu J, Wang L. J Mater Chem C, 2013, 1 (24): 3816~3824.

[21] (a) Gu P Y, Zhou F, Gao J, Li G, Wang C, Xu Q F, Zhang Q, Lu J M. J Am Chem Soc, 2013, 135 (38): 14086~14089; (b) Gu P Y, Gao J, Lu C J, Chen W, Wang C, Li G, Zhou F, Xu Q F, Lu J M, Zhang Q. Mater Horiz, 2014, 1 (4): 446~451.

[22] Liu S J, Wang P, Zhao Q, Yang H Y, Wong J, Sun H B, Dong X C, Lin W P, Huang W. Adv Mater, 2012, 24: 2901~2905.

[23] Zhuang H, Xu X, Liu Y, Zhou Q, Xu X, Li H, Xu Q, Li N, Lu J, Wang L. J Phys Chem C, 2012, 116 (48): 25546~25551.

[24] He D, Zhuang H, Liu H, Liu H, Li H, Lu J. J Mater Chem C, 2013, 1 (47): 7883~7889.

[25] Ma Y, Chen H X, Zhou F, Li H, Dong H, Li Y Y, Hu Z J, Xu Q F, Lu J M. Nanoscale, 2015, 7 (17): 7659~7664.

Research of Organic Materials on High Density and Multi-lever Data Storage Performance

LU Jian-mei* , XU Qing-feng, LI Hua, LI Na-jun, HE Jing-hui, CHEN Dong-yun, WANG Li-hua
(College of Chemistry, Chemical Engineering and Materials Science, Collaborative Innovation Center of Suzhou Nano Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215123, China)

Abstract: Ultra-high density data storage materials have become the current hot research topic. In this paper, the study in our group on the research progress of organic information storage materials have been introduced, especially the multi-level storage materials. Moreover, the unique multi-charge traps mechanism, which can realize electrical multi-stable states and multi-level data storage, was proposed and applied in the design of multilevel memory materials. And it can also provide a new way of thinking and new materials for the development of high density information storage.

Key words: Multi-level data storage; Electrical memory device; Organic material