

超高密度信息存储/分子存储及其存储机理*

高鸿钧 时东霞 张昊旭 林 晓

(中国科学院物理研究所 凝聚态物理中心 北京 100080)

摘要 在有机功能纳米薄膜上通过扫描隧道显微技术实现了超高密度的信息存储,存储点的大小在1.3nm左右,存储点间距为1.5nm,相应的存储密度为 10^{13} bits/cm².实验与理论计算的结果表明,其存储机理是薄膜的导电性质的变化.

关键词 超高密度信息存储,分子存储,有机功能材料,扫描探针显微术

ULTRAHIGH DENSITY DATA STORAGE AND MOLECULAR RECORDING

GAO Hong-Jun SHI Dong-Xia ZHANG Hao-Xu LIN Xiao

(Institute of Physics & Center for Condensed Matter Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract Ultrahigh density data storage on organic thin films at a nanometer scale has been successfully obtained by scanning tunneling microscopy. The recorded mark is about 1.3 nm in diameter. The shortest distance between the marks is about 1.5 nm, corresponding to a data density of 10^{13} bits/cm². The recording mechanism can be attributed to the conductance transition from high to low impedance.

Key words ultrahigh density data storage, molecular recording, functional organic material, scanning probe microscopy

信息科学的迅猛发展使得人们追求更高的存储密度和更小的存储点,即超高密度信息存储.当存储点的大小达到纳米尺度时,传统的材料与技术将面临严峻的挑战.因此,对作为未来超高密度信息存储器件科学基础的纳米薄膜材料及相应存储技术的研究,是目前信息科学重要的研究热点之一^[1-8].

有机材料由于价格便宜、合成方便、性能可控和成膜性好等特点而被越来越多地应用于信息存储的研究;扫描隧道显微镜(STM)由于可产生纳米尺度的局域电场而在超高密度信息存储方面有其独特的优点.我们选用并设计有特色的电荷转移有机功能分子体系作为信息存储的介质,设计并合成了几种具有应用前景的可用于超高密度电学信息存储的有机材料,再采用STM技术在这几种有机材料上进行信息存储研究,并对信息记录和擦除机制进行了探索.

把NBMN和pDA两种有机材料以1:1配比在乙醇溶液中混合,采用真空热蒸法将其蒸在新解理的高定向裂解石墨(HOPG)上,得到配比为1:1的

NBMN/pDA复合有机薄膜.用STM针尖(剪切方法得到的Pt/Ir:80/20针尖)在NBMN/pDA薄膜上进行读写实验.图1是实验中获得的由存储点构成的3×3点阵,存储点的大小为单个分子的尺度(约1.3nm),存储点间距为1.5nm,相应的存储密度为

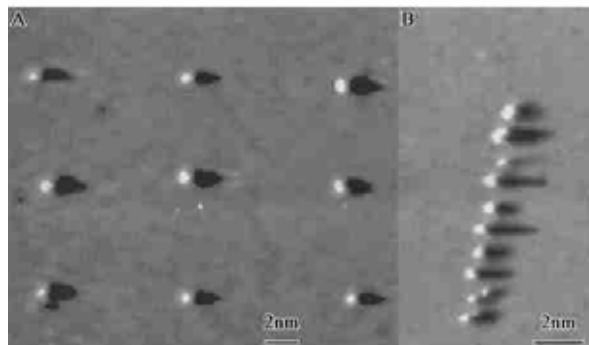


图1 在纳米有机NBMN/pDA薄膜上的信息存储(存储点的大小为单分子尺度)

* 国家自然科学基金(批准号:69890223)资助项目
2001-03-27收到初稿,2001-04-28修回

10^{13} bits/cm².在对 NBMN/pDA 薄膜存储特性的研究中,首次成功地实现了信息存储点的擦除.如图 2 所示,首先通过施加 3.5 V,12 μ s 的电压脉冲,得到一个“A”形信息记录点图案,然后在 STM 针尖和 HOPG 衬底之间施加一反向电压脉冲(-4.5 V,50 μ s),由此可以完成信息点的擦除.

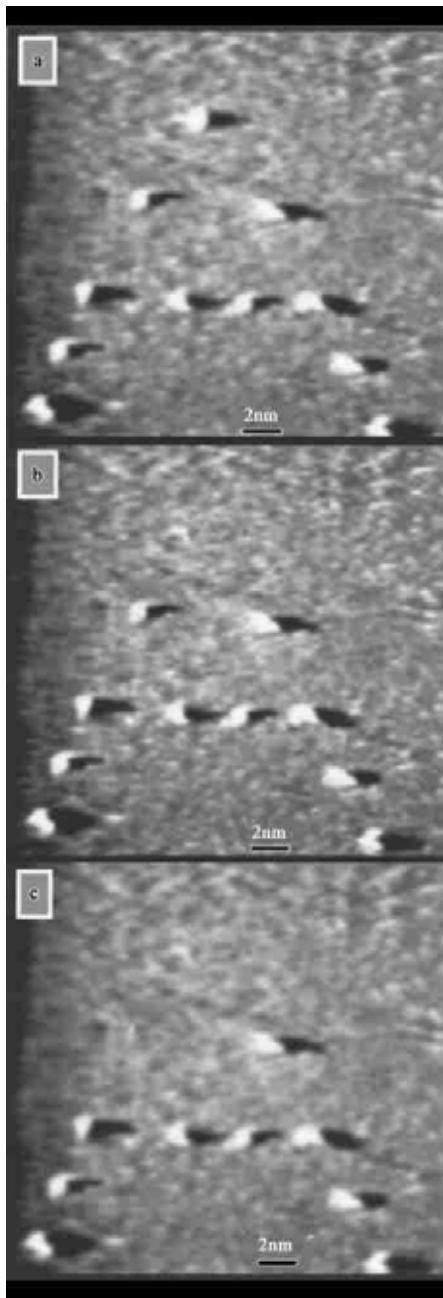


图 2 信息点的获得和擦除

(在 NBMN/pDA 薄膜上写入一个信息记录点图案“A”,电压脉冲是 3.5 V,12 μ s;通过在 STM 针尖和薄膜表面施加反向电压脉冲 -4.5 V,50 μ s 进行信息点的擦除)

为探索存储机理,我们对有机纳米薄膜的导电特性分别进行了宏观(四探针伏安法)和微观(STM)研究^[4],发现薄膜具有电学双稳特性,其电阻从

$10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 到 $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 变化.同时,排除了这种存储是介质中的空洞和介质表面上的沉积物形成的可能性.对薄膜的转换时间也进行了测量,发现在 10 nm 的薄膜上的转换时间为几个纳秒.

虽然在过去人们对电荷转移体系的电学双稳态特性进行了大量的研究,把有机体系的双稳态归结为电荷转移^[6],但其物理机制仍然不清楚.因为按照该理论,体系在激发态的时间是微秒或纳秒量级,而实验发现体系在导电态的时间可以很长,可在几天或几十天.因此,电荷转移理论不能对电学双稳的物理本质给予满意的解释.基于第一性原理的 ab-initio 理论计算表明^[4],这种存储薄膜电导的变化既不是在有机体系中发生了聚合,也不是由于有机分子苯环面的相对转动,而很可能是由分子结构有序性变化引起的,也即在写入前后薄膜结构由晶态(有序)转变为非晶态(无序),其中晶态导电性差,非晶态导电性好.透射电镜(TEM)结果显示,转移前后其结构由晶态转变为非晶态,如图 3 所示,其中(a)和(b)为电导转移前薄膜的形貌和响应的电子衍射图,而(c)和(d)为电导转移后薄膜的形貌和响应的电子衍射图.晶态具有绝缘体特性,非晶态有导体特性.从而进一步证实信息记录点的写入和擦除的机理是薄膜在纳米尺度的晶体结构变化.

以上结果在 Phys. Rev. Lett. 上发表后,被美国物理学学会选为 Physical Review Focus^[9],被美国的 Science

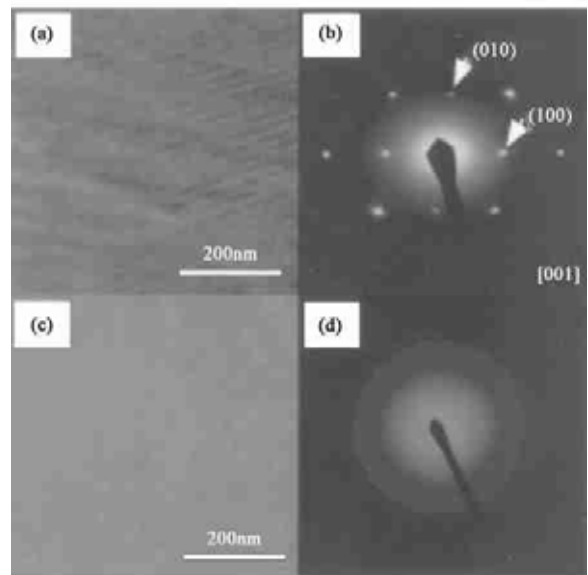


图 3 转移前后薄膜结构由晶态转变为非晶态

[纳米有机 NBMN/pDA 薄膜在电导转移前(a)和电导转移后(c)的透射电子显微镜像;相应的电子衍射图(b)和(d)表明,在转移前薄膜为晶态,转移后为非晶态]

杂志的副刊 Science News 进行了专题报道^[10]。无疑,这一研究已经引起国际上的高度关注,但要实现该项研究的产业化,仍需在材料的稳定性、重复性、读写机理以及快速和大量读写等方面做大量深入细致的工作。

data density storage. In: Wise D L, Wne

参 考 文 献

- [1] Eigler D M, Lutz C P, Rudge W E. Nature, 1991, 352: 600
- [2] Gao H J, Xue Z Q, Pang S J. Toward Molecular Electronics Using an Ionized Cluster Beam Deposition Method. In: Wise D L *et al* eds. Electrical and Optical Polymer System. Marcer Dekker, INC, 1998. 729
- [3] Xue Z Q, Gao H J, Pang S J. Organic Thin Films for Ultrahigh