

# 光电混合实时模式识别技术 在 STM 中的应用

郭 晴 王汝笠

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘要:** 基于将光电混合实时模式识别技术应用于扫描隧道显微镜 (STM) 的思想, 设计了一种高效率智能的 STM, 介绍了智能型 STM 的组成原理, 并给出了计算机模拟仿真试验结果.

**关键词:** 模式识别, 光学相关器, 扫描隧道显微镜.

## 引言

1990年中国科学院上海技术物理研究所研制成功的光相关器是一台光电混合实时信号处理系统样机, 它利用光学系统对图像进行运算处理, 并通过电学系统判决显示, 能够以  $10^{-3} \sim 10^{-1}$  s/帧的速度对复杂目标图像实施分类识别. 用于军事设施与飞行目标的实时处理应用试验, 效果显著. 扫描隧道显微镜 (STM) 是国际上 1980 年代初兴起的研究热点, STM 利用电子隧道效应, 以原子级的空间分辨率产生表面几何形状和结构的图像, 还能进行单原子的表面刻蚀和沉积, 使人类进入了纳米世界. 但现有的 STM 技术都是以人工方式进行实时识别和选取图像, 然后离线处理, 这使工作效率较低并带有较多的主观因素. 1991年美国《SCIENCE》杂志载文指出, 有些石墨缺陷具有非常类似于生物大分子的周期性和弯曲形态, 人眼很难判别, 因而认为以石墨作为 STM 的研究衬底值得商榷. 该文的质疑向 STM 技术提出一个严峻的思考, 如何提供全面客观的目标图像评价标准并有效地提高工作效率, 成为发展 STM 技术的关键课题.

我们将光电混合实时模式识别技术应用于 STM, 设计了智能型 STM. 在计算机上进行模拟仿真试验的结果表明, 智能型 STM 能够快速有效地对分子目标和石墨缺陷进行识别分类, 这不仅极大地提高了工作效率, 而且开拓了 STM 技术的一个新的应用研究领域.

## 1 智能型 STM 的基本设计思想

将光电混合实时模式识别技术应用于 STM 是智能型 STM 的基本思想, 它由成像获

取、光信息处理、计算机判决与显示三部分组成。如图 1 所示。

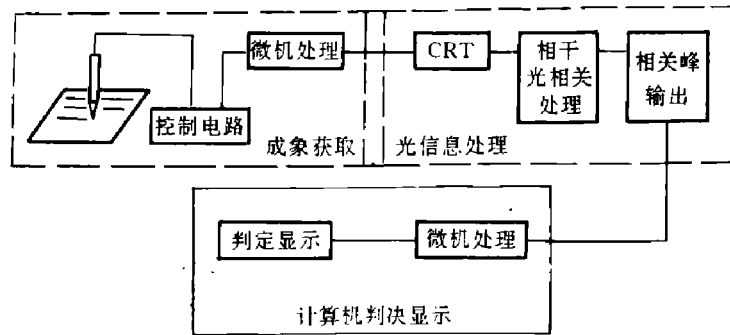


图 1 智能型 STM 结构框图

Fig. 1 Block diagram of the intelligent STM

### 1.1 成像获取系统

成像获取由 STM 完成。STM 利用电子隧道效应。在样品和探针之间加上电压，电子便会通过电子云中的狭窄通道流动形成隧道电流。由于电子云的密度随距离的增加呈指数减小，因而隧道电流对探针尖端和样品表面间的距离极其敏感，具有原子级的空间分辨率（横向可达 0.1nm，纵向优于 0.01nm）。用压电体精密控制探针移动，对样品表面进行扫描，测量反映表面变化的有关参量，并将数据送交计算机处理，然后以二进制图像显示在阴极射线管上，便完成了图像获取过程。

### 1.2 光信息处理系统

采用 4F 相干光处理系统实现模拟光计算，如图 2 所示。

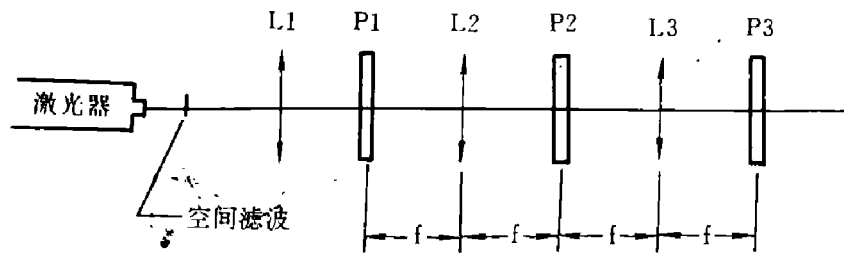


图 2 4F 相干光处理系统原理图

Fig. 2 Schematic diagram of the 4F system

图中  $L_1$  为准直透镜， $L_2$ 、 $L_3$  为傅里叶变换透镜， $P_1$  为图像输入面， $P_2$  是频谱面， $P_3$  是相关峰输出面。在相干光照明下，4F 系统对复振幅是线性的，它能够实现运算

$$I(X_3, Y_3) = K \left| \iint g(\epsilon, \eta) h(X_3 - \epsilon, Y_3 - \eta) d\epsilon d\eta \right|^2$$

在  $P_1$  平面输入需要处理的图像  $g(X_1, Y_1)$ ，经过第一块傅里叶变换透镜  $P_2$  实现傅氏变换，在频谱面  $P_2$  产生复振幅分布  $K_1 G(X_2/\lambda f, Y_2/\lambda f)$ 。这里  $K_1$  是复常数， $G$  是  $g$  的傅里叶变换式，即  $g$  的频谱。若在  $P_2$  平面放置滤波器，便改变了  $g$  的频谱，再由第二

块傅里叶透镜  $L_3$  实现傅氏逆变换, 则可在输出平面  $P_3$  得到处理后的图像信息, 即相关峰成像图.

当输入图像的频谱与滤波器内容一致时, 输出便是一个很锐的亮点, 否则为弥散光斑. 因此匹配滤波器是识别目标的关键, 其设计制作是通过提取并综合各类目标图像的特征建模而完成的.

### 1.3 计算机判决与显示

在  $P_3$  平面放置 CCD 摄像机来获取相关峰成像图, 通过视频采集电路快速传输到微处理机, 对相关峰信号进行检测、分类和判决, 由计算机终端和彩色监视器分别输出识别目标的有关资料以及相关峰图像.

## 2 计算机模拟仿真试验结果

匹配滤波器是光信息处理系统的关键器件, 其设计是用计算机图像处理系统完成的. 首先对大量图像资料进行分类建模, 并设计相应的匹配滤波器, 经过多次模拟仿真试验对标准模型不断地修正完善, 达到用户满意的理想效果后制成硬件.

我们根据 STM 获取的 DNA 分子图片分别建立了左旋 DNA 和右旋 DNA 分子模型, 并设计了相应的匹配滤波器, 经计算机模拟仿真运算, 得到与不同输入图形进行相关运算的输出峰值, 如图 3 和 4. 图中左旋 DNA、右旋 DNA 和非目标 D1 是中科院上海原子核所提供的分子图片和石墨缺陷图片; 非目标 Da 为《SCIENCE》1991 年、第 25 卷中的石墨缺陷附图.

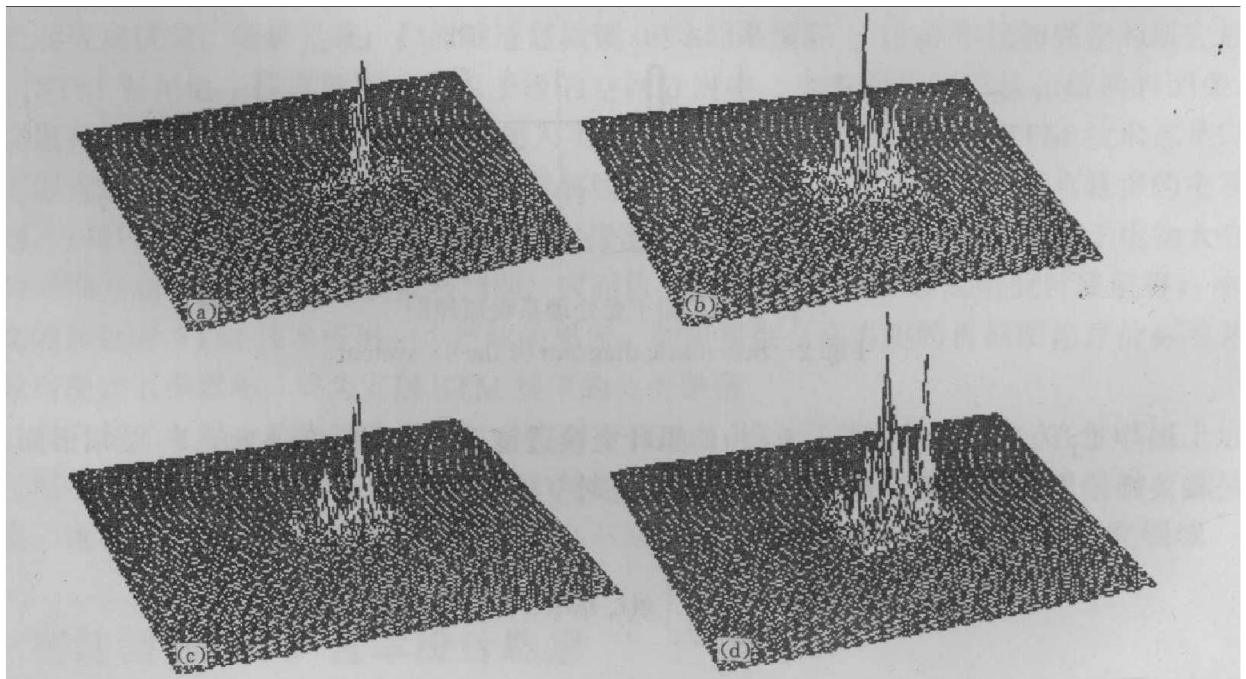


图3 左旋 DNA 匹配滤波器相关运算的输出峰值  
(a) 与左旋 DNA; (b) 与右旋 DNA; (c) 与非目标 D1; (d) 与非目标 Da

Fig. 3 Output peaks by using left helix DNA match filter

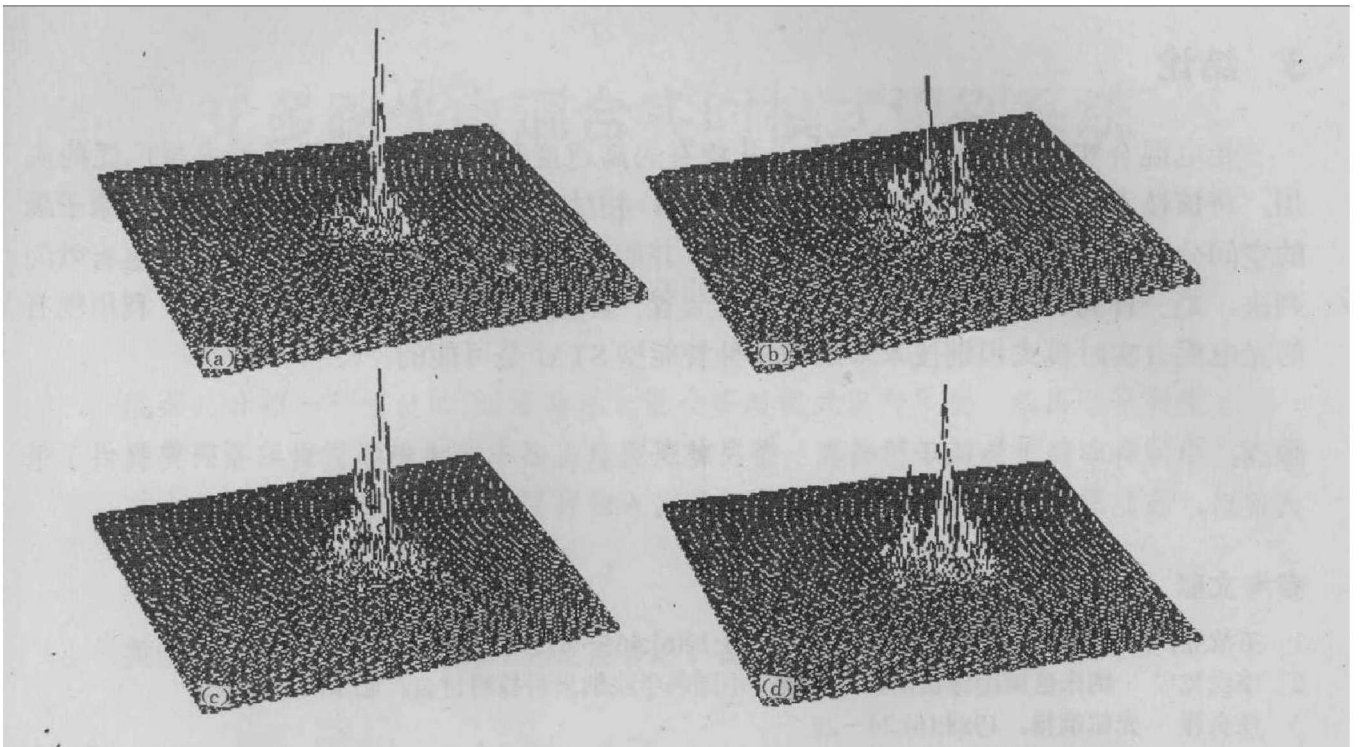


图 4 右旋 DNA 匹配滤波器相关运算的输出峰值  
(a) 与右旋 DNA; (b) 与左旋 DNA; (c) 与非目标 D1; (d) 与非目标 Da

Fig. 4 Output peaks by using right helix DNA match filter

计算机模拟仿真试验的结果表明,设计的匹配滤波器能够有效地区分 DNA 分子的左右旋特征,并且能够对分子目标和石墨缺陷作出正确判决.因此,应用了光电混合实时模式识别技术的智能型 STM 可达到一定的高智能水平.经计算机模拟并修正的 DNA 模型制成匹配滤波器硬件,其衍射的左旋 DNA 分子复合图形可参见图 5(d).

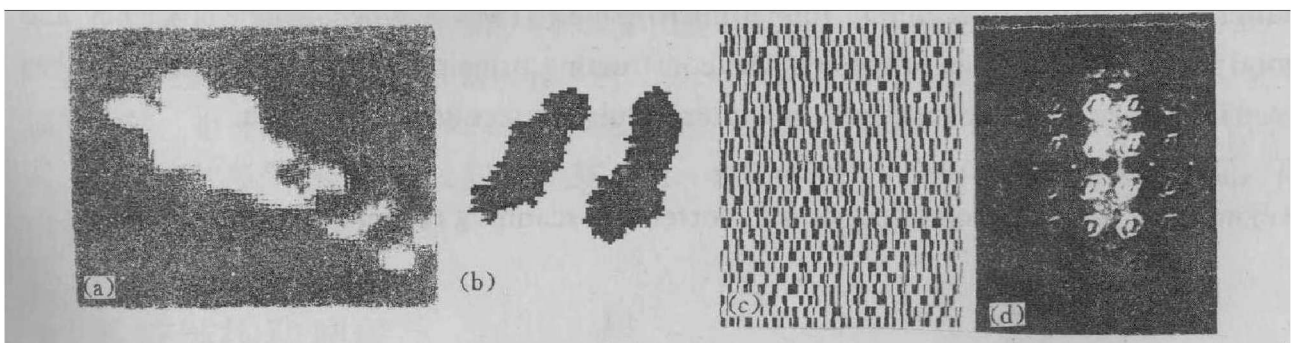


图 5 制作左旋 DNA 匹配滤波器

(a) STM 摄取的左旋 DNA 图像; (b) 左旋 DNA 分子模型;  
(c) 左旋 DNA 分子复合匹配滤波器局部; (d) 由匹配滤波器 (e) 衍射的左旋 DNA 分子复合图形

Fig. 5 Making the match filter of left helix DNA

在光相关器中置入 DNA 匹配滤波器,可对 STM 摄取的图像进行适时的判决显示.

多重复合匹配滤波器还能识别角度变化的 DNA 分子.

### 3 结论

光电混合实时模式识别技术由于其特有的高速度和容错性而获得了越来越广泛的应用, 将该技术与新兴的扫描隧道显微镜 (STM) 相结合而设计的智能型 STM, 可以原子级的空间分辨率区分生物大分子的螺旋特征, 并能对 DNA 分子和衬底缺陷进行快速有效的判决, 是一种高智能型的超微细测试加工装置. 计算机模拟仿真试验结果表明, 利用现有的光电混合实时模式识别技术来研制一种智能型 STM 是可能的.

**致谢:** 中国科学院上海原子核研究所李民乾研究员、要小伟博士等人对该项研究提供了很大帮助, 在此表示衷心的感谢.

#### 参考文献

- 1 王汝笠, 华铁均. 红外与毫米波学报, 1991;10(6):465~473
- 2 李民乾等. 纳米区域图像自动识别系统, 中国科学院纳米科技研讨会, 北京, 1991
- 3 汪金祥. 光机情报, 1988;(6):24~28

## THE TECHNIQUES OF HYBRID ELECTRO-OPTIC REAL-TIME PATTERN RECOGNITION APPLIED TO STM

Guo Qing, Wang Ruli

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** Based on the idea of applying the techniques of hybrid electro-optic real-time pattern recognition to scanning tunnel microscope (STM), a type of high efficiency and good intelligence STM is proposed. The constructing principle of the intelligent STM has been introduced and the results of computer simulating test have been given.

**Key words:** pattern recognition, optical correlator, scanning tunnel microscope.