

天地有美 因人而彰 科技生美 ——纳米相薄膜的生长

吴全德

(北京大学电子学系, 北京 100871)

摘要: 纳米世界有大美. 有艺术图形的薄膜生长均出自相变. 北京大学在研究超高密度信息存储纳米薄膜材料时发现只有少数几种组合材料可以出现具有艺术性的图形. 文中论述了纳米相薄膜会出现远离平衡的自组织生长的三种可能性, 即分区协同生长、分区非协同生长、不分区协同生长, 并各选用一张图片作为示例. 这些艺术性图形都是不可重复的, 但也可能出现可重复的生长, 亦示出一张图片.

关键词: 薄膜生长; 纳米结构; 图形花样

PACC: 6855

中图分类号: O484.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2003)S0-0006-05

1 天地有大美

《庄子》“知北游”(见《老子、庄子直解》, 浙江文艺出版社, 1998)有文如下:

天地有大美而不言, 四时有明法(明法, 指四季周而复始运行的明显规律)而不议(不议, 不自我评议), 万物有成理(成理, 指生长、消亡的规律)而不说(不说, 不自我论说). 圣人者, 原(探究)天地之美而达(通晓)万物之理, 是故至人无为, 大圣不作(不作, 什么也不做), 观于天地之谓也.

屈原在《楚辞》“天问”中也提出有关大自然的问题, 例如:

“天何所沓(通“踏”), 十二(木星运行, 约 12 年为一周天, 后来变成黄道的等分)焉分(如何划分)? 日月安属(安属, 附着在何处)? 列星安陈(安陈, 如何布阵)?”

他们提出了一些很有哲理、影响深远的问题, 但并无动手探究之意.

叶朗教授从美学角度谈美, 《胸中之竹》中有一篇“柳宗元的三个美学命题”, 其中有“美不自美, 因人而彰”, 前半句与庄子的“天地有大美而不言”相类

似. 后半句对审美活动甚为重要, 它出自柳宗元《邕州柳中丞作马退出山茅亭记》一文, 抄录几句如下:

夫美不自美, 因人而彰. 兰亭也, 不遭右军, 则清湍修竹, 芜没于空山矣.

叶文说: “自然景物(清湍修竹)是客观存在. 但是自然景物要成为审美对象, 要成为“美”, 却必须要有审美活动, 必须要有人的意识去“发现”它, 去“唤醒”它, 去“照亮”它, 使它从实在物变为意象(一个完整的有意蕴的感性世界). “因人而彰”的“彰”, 就是发现, 就是唤醒, 就是照亮.”这是一段从美学角度的阐释. 的确, 兰亭因王羲之写《兰亭序》而出名.

诗人波普在赞美牛顿的伟业时吟道: “自然与它的奥秘/都隐藏在黑暗中/上帝说/让牛顿去干吧/于是一切顿现光明”.

1666 年, 牛顿因发明微积分, 发现万有引力定律和完成光色的分析, 而成为牛顿年(见刘钝, 光明日报, 2002. 3. 29). 这就是自然的奥秘因牛顿而“彰”. 牛顿的力学和微积分加速了人类的文明和工业社会的发展.

2 出现纳米相的薄膜生长

纳米世界有大美,具有艺术图形花样的薄膜均出自相变.北京大学电子学系和纳米科学与技术研究中心在研究超高密度信息存储纳米薄膜材料时,做过几十种有机和无机材料的组合实验,发现只有少数几种组合材料可以出现有艺术性的图形.这些图形在《科学与艺术的交融》(吴全德,2001)中已有介绍.

这里,对出现纳米相的薄膜生长作比较系统的讨论.

出现纳米相体系的研究已有较长的历史,例如为天气预报服务的气溶胶体系,晒盐工业的液溶胶体系等.吴全德^[1]于1966年提出了离子晶体或共价晶体中固溶胶粒(即纳米粒)的形成和生长理论.作者认为这些理论可以用来理解和解释纳米相薄膜的生长问题.例如该薄膜由A、B两种材料通过共蒸发、共溅射或离子掺杂等办法制作.A、B可以是无机元素或分子,也可以是有机分子.在制作温度 T 下,薄膜中A或B的浓度超过临界值时,就会出现固溶胶粒 C_{nano} ,它可以是A或B组成,但也可能由A和B按一定比例组成.通常称此现象为相变,表明在均匀的薄膜中出现具有表面能的粒子.出现相变有一定物理条件^[1],会出现临界粒子,比它小的粒子可能会消失,比它大的粒子将继续长大.粒子在1

$\sim 100\text{nm}$ 范围内被称为纳米粒.设在薄膜中单位体积内共有 p 个纳米粒,一个纳米粒中含有 n 个A或B分子(或原子).事实上纳米粒有一定分布,会有一个参考粒子 \tilde{n} ;由于扩散的原因,比 \tilde{n} 小的粒子将缩小,而比 \tilde{n} 大的粒子将继续长大,而单位体积中的粒子数 p 将减小.这是一个非平衡系统,只要温度较高时,此现象会继续下去,当粒子粒度超过100nm时,一般认为已进入宏观体系.如果维持制作温度为 T 的时间很长,此系统可能进入凋谢态,其特点是C粒子生长成为单一区.

前面提到,只有少数几种材料的组合可以形成美丽的图形.事实上,这是在制备这些薄膜时,出现了远离平衡态的自组织生长相变.这种相变系统与外界有能量、质量和信息交流,以维持其自组织生长.它又可以分为分区协同生长、分区非协同生长和不分区协同生长等三类^[2].我们称这种相变为“二次相变”.这三类生长的艺术图形都是不可重复的.目前,出现自组织生长相变的物理条件尚不清楚,这三类生长的物理机制,还有待研究.在较高的温度下,由于存在扩散现象,成像的图形会长大,最终将导致图形凋谢.

还有一种是重复可控的纳米相生长——工业生产的新方式,但还处在起步阶段.

按我们的实验研究结果,可以把纳米相薄膜的生长情况总结成图1.

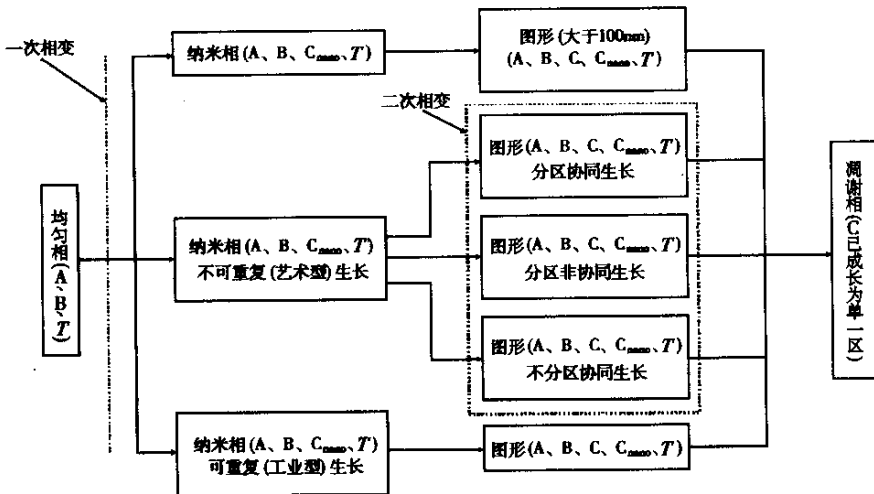


图1 纳米相薄膜生长的示意图

Fig. 1 Schematic diagram for growth of nanophase thin film

3 纳米世界有大美——纳米薄膜中的不可重复(艺术型)生长

从图 1 中可以看到,均匀相薄膜可以发展成纳米相薄膜,这是第一次相变.如果条件合适,可能出现第二次相变.这种相变可分为常见的分区协同生长、不常见的分区非协同生长和不分区协同生长.

(1)这里先讨论第一种,即分区协同生长.当薄膜中包括纳米相等成分达到临界值时会出现第二次相变.由于成分浓度和温度的不均匀性,薄膜中会自动出现分区界线.分界线附近的成像原子或分子将因扩散而背离分界线并向各区中的大粒子方向运动,并有可能沉积于大粒子上.经不断的扩散,分界线附近的小粒子将缩小或消失,靠中间的粒子将长大而出现具有艺术性的图样.由于成像原子或分子沉积到大粒子的位置、键合能、键合角以及沉积的速率的不同,使得形成的花样是不可重复的.但如果各区之间存在花样的相似性,则称此种生长为分区协同生长.目前还不清楚各区之间的生长信息是如何传递的.图 2 示出此类生长的典型示例,其中的分区虚线是作者画上去的.可以看出各区生长的花样有

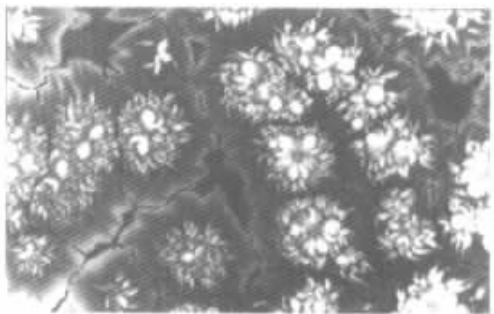


图 2 分区协同生长的花朵示例

Fig. 2 Example for flowers grown by demarcating synergetic format

相似性,属于同一种品种.总体看来,这些花朵丰姿多彩,和谐协调,满足审美条件,可供欣赏.但这些花朵的生长,既无种子,也无根茎,不需阳光雨露,不需空气.它们到底是怎样生长的,现在尚不清楚,有待进一步研究.目前已有的理论,如协同论、突变论和自组织生长理论等还不能解释此种生长^[3].我把这张图片称为“小溪流花”.令人惊奇的是,另一张图片“广寒春暖”与“小溪流花”是在同一个样品上不同地

点拍摄到的;好象有两个相邻的花圃盛开着不同的花朵,令人叫绝.

(2)分区非协同生长.与前面所说的情况不同的是,各区之间不存在协同生长,每区生长的图像各不相同,这种情况比较少见.图 3 是一张典型的例子,其上的分区虚线是作者画上去的.其中生长的龙与凤具有典型的中华民族风格.可见纳米薄膜中的生长对中华艺术情有独钟,也说明中华民族追求妙的艺术与造化有相通的地方^[4,5],而西方追求真的艺术无法与造化形成的艺术图像相通.这种中西艺术在哲理上的差异尚有待探索.



图 3 分区非协同生长的图像示例

Fig. 3 Example for flowers grown by demarcating non-synergetic format

(3)不分区协同生长.另有一种是不存在分区的生长,但每个图样存在协同关系.在这种生长中也存在从小花样向大花样发展的趋势.这里挑选一张典型的例子,如图 4 所示.该图示出了右边的叶子向左边的花朵发展生长过渡的情况,作者称之为“叶变花”.

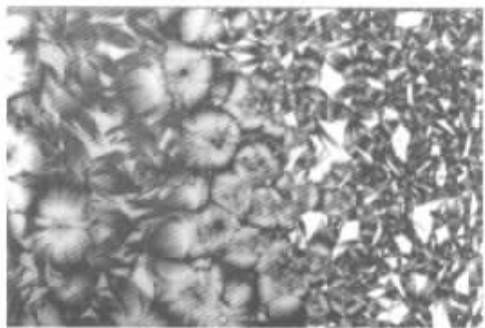


图 4 不分区协同生长的叶和花示例

Fig. 4 Example for leaves and flowers grown by non-demarcating synergetic format

4 纳米薄膜中的可重复(工业型)生长

上一节讨论的是不可重复生长的艺术型生长情况。但纳米技术需要可重复生长的技术,这是无污染工业生产的新方式,但还在起步阶段。图5示出北京大学实验室里生长的金纳米项链,它是由许多含144个金原子形成直径为2.5nm粒子一个挨一个排列而成的,具有重复排列的结构美。它可作为纳米导线或引线用。

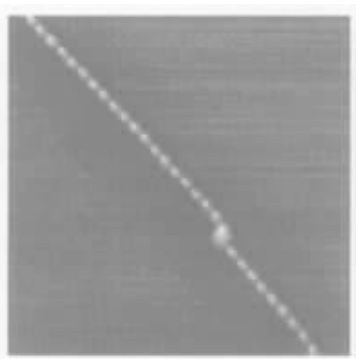


图5 可重复生长的金纳米项链

Fig. 5 Repeatable growth's gold nano-necklace

5 结束语

本文引用的四张图片可以说明纳米世界有大美。我们不应当也不可能抗拒这个美,而是要探索这

个美,彰显这个美。科学与艺术的结合能使人们对客观世界产生更高层次上的认识和理解。

致谢 对薛增泉、吴锦雷、刘惟敏、彭练矛教授等同事和历届研究生的支持和帮助表示感谢,也对张琦锋博士在计算机方面的帮助表示感谢。

参考文献

- [1] Wu Quande. Formation and growth of colloidal particles and concentration of donor atoms in ionic crystals (I), (II). *Acta Physica Sinica*, 1996, 22(1): 1, 17 [吴全德. 离子晶体中固溶胶粒的形成和生长以及施主原子浓度(I)、(II). *物理学报*, 1996, 22(1): 1, 17]
- [2] Wu Quande, Xue Zengquan, Liu Weimin. Artistic patterns due to growth with atomic diffusion and demarcating synergetic atomic diffusion in thin films. *Physics*, 1998, 27(8): 454 [吴全德, 薛增泉, 刘惟敏. 薄膜中的扩散和分区协同扩散生长的艺术形象. *物理*, 1998, 27(8): 454]
- [3] Wu Quande. Thin film growth and artistic patterns. *Science and Technology Review*, 1998, (1): 20 [吴全德. 薄膜生长与形象艺术. *科技导报*, 1998, (1): 20]
- [4] Wu Quande. Mutual blending of science and fine art. Beijing: Peking University Press, 2001: 49 [吴全德. 科学与艺术的交融. 北京: 北京大学出版社, 2001: 49]
- [5] Wu Quande. Mutual blending of science and fine Art. Beijing: Peking University Press, 2001: 96 [吴全德. 科学与艺术的交融. 北京: 北京大学出版社, 2001: 96]

Thin Films of Nanophase Growth with Artistic Patterns

Wu Quande

(Department of Electronics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: There are beauties in the nanoscale world. Artistic patterns in nanoscale thin films are formed as a result of phase transformations. There are only a few combined materials that can produce artistic patterns in a nanoscale thin film for ultrahigh density information storage. The patterns produced by far-from-equilibrium self-organization growth can be divided into three categories, i. e., growth with demarcating synergetic atomic or molecular diffusion, growth with demarcating non-synergetic atomic diffusion, and growth with non-demarcating synergetic atomic diffusion. Three pictures for each category will be shown as representatives. These patterns can not be produced as repeatable growth. An additional example as the repeatable growth will also be given.

Key words: growth of thin film; nanoscale structure; artistic pattern

PACC: 6855

Article ID: 0253-4177(2003)S0-0006-05