

# 掠角反射吸收红外光谱在有序分子超薄膜结构研究中的应用

周金芳, 杨生荣

(中国科学院兰州化学物理研究所固体润滑国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 综述了掠角反射吸收红外光谱在超薄膜结构研究中的应用, 对掠角反射吸收光谱的测试原理及其与透射光谱相结合在超薄膜分子取向的研究中特色和所取得的结果进行了总结。

**关键词:** 掠角反射吸收; 分子超薄膜; 分子取向

**中图分类号:** O4657.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-3757(2004)04-0204-06

有序分子超薄膜是覆盖在固体表面上的分子排列有序而结构致密的单分子层或由若干单分子重叠而成的多分子层膜, 其制备方法有 LB (Langmuir - Blodgett) 技术<sup>[1,2]</sup>, 自组装技术 (Self - Assembled Monolayer, SAM)<sup>[3]</sup>, 分子束外延生长技术, 旋涂技术等。有序分子超薄膜作为一类在分子水平构筑的功能材料, 在薄膜材料科学, 光、电、磁信息转换及处理器件, 生物工程, 表面工程, 分子构造等许多方面都具有广泛的应用潜能。在过去的十几年里, 各国科学工作者对有序分子超薄膜进行了大量的基础及应用的研究, 涉及到成膜分子或原子团簇的性质、基底表面性质、分子间的相互作用、分子与基底的相互作用等<sup>[4]</sup>。有序分子薄膜制备过程中, 表面、界面分子层的结构研究对实现优良功能材料的分子设计以及从分子水平上构造功能分子具有指导作用。红外光谱是研究有序分子薄膜的稳定性和膜中分子堆积、取向的常用手段, 为研究膜的结构和功能间的关系提供了分子水平上的信息。其中掠角反射吸收红外光谱 (FTIR-GRA) 是较常用的方法。

## 1 掠角反射技术研究超薄膜结构的原理

掠角反射吸收是红外光谱的外反射技术的一种, 它是测量反射表面上的亚微米级的薄膜的最好的方法。入射角的大小取决于所研究的样品表面薄

膜的厚度。对于纳米级厚度的薄膜, 应当选大于  $80^\circ$  左右的入射角。这是因为当射线以这一角度入射到样品表面时, 平面内入射光与反射光的电磁场的强度显著提高。这种电磁场与反射平面取向垂直。在垂直入射的情况下, 反射平面内电磁场的强度接近于零, 但在距离表面  $1/4$  的波长的位置, 达到最大振幅。因此, 对于厚度小于  $1/4$  波长的薄膜, 使用掠角反射吸收光谱能够大幅度的提高测量的灵敏度。根据 Greenler 的计算<sup>[5]</sup>, 当入射角为  $88^\circ$  时, 在金属界面上电场强度达到最大值, 此时, 样品与红外光也有最强的相互作用。但由于实验方面的困难, 一般入射角选在  $80 \sim 85^\circ$  之间。

使用掠角反射吸收光谱不仅能够提高灵敏度, 而且还能测定表面膜的取向。表面存在两种矢量:  $p$ -偏振组分, 与入射光和反射光在同一平面内;  $s$ -偏振组分, 垂直于此平面。这两种偏振状态的区分在掠角反射红外中非常重要。只有  $p$ -偏振组分能够产生增强的电磁场 (即入射光、反射光在界面发生相干加强相干加强现象),  $s$ -偏振组分的电磁场趋近于零 (相干消失现象)。对于表面上的分子, 只有偶极垂直于表面的能够吸收红外射线, 即在掠反射吸收测试中只有振动跃迁矩或其分量与表面法线方向平行的振动模式才能被激发产生吸收谱, 这就是 FTIR-GRA 技术的表面选择定则 (surface selection rule)<sup>[6]</sup>。因

收稿日期: 2004-07-21; 修订日期: 2004-09-10.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50375151).

作者简介: 周金芳 (1973 - ), 硕士, 助理研究员, 主要从事纳米摩擦学及摩擦化学的研究。

此,掠角测量对于分子取向研究非常有用,再加上灵敏度的提高使得掠角反射红外成为有序分子薄膜结构的重要研究工具.

## 2 掠角反射技术与透射技术相结合研究超薄膜结构

### 2.1 对有序分子薄膜中烷基链构象的研究

烷基链中  $\text{CH}_2$  的反对称伸缩振动和对称伸缩振动产生的  $2918$  和  $2848\text{ cm}^{-1}$  附近的两个吸收峰,其频率对烷基链构象的变化很敏感,当烷基链呈现全反式锯齿状构象 (all-trans-zigzag conformers) 时,  $\text{CH}_2$  的对称和反对称伸缩振动峰应该出现在  $2918$  和  $2848\text{ cm}^{-1}$  附近,当烷基链趋于无序,其脂链会呈现扭曲构象 (gauche conformers),这时谱带频率向高频移动,可达到  $2927$  和  $2856\text{ cm}^{-1}$ ,因此通常用这对峰频率的变化来指认长脂链的结构与构象.王强等<sup>[7]</sup>通过对烷基链对称和反对称伸缩振动频率变化的考察,研究了倒浮萍聚合物 ES23 LB 膜中烷基链的相转变行为,得出 ES23 LB 膜有 3 个相变点,分别在  $65$ 、 $105$  和  $140^\circ\text{C}$ ,第一个相变过程表现为 LB 膜从一种有序状态到另一种有序状态的转变;第二个相变过程表现为 LB 膜中烷基链的有序-无序转变;第三个相变过程是 LB 膜的层状结构坍塌转变为各向同性熔融体的过程.

### 2.2 对有序分子薄膜中烷基链排列方式的研究

在红外透射光谱中,  $\text{CH}_2$  剪式振动的特征与烷基链的排列方式相关,因此,  $\text{CH}_2$  的剪式振动带可以给出分子中碳链的排列堆积方式.当碳氢链以正交或单斜晶系排列时,  $1468\text{ cm}^{-1}$  处的  $(\text{CH}_2)$  分裂成双峰  $1474\text{ cm}^{-1}$  和  $1464\text{ cm}^{-1}$ ,而当  $(\text{CH}_2)$  为单峰时,烷基链呈六角晶系或三斜晶系排列<sup>[8]</sup>. Rabolt 等<sup>[9]</sup>对脂肪酸盐 LB 膜研究表明,硬脂酸盐 LB 多层膜中,  $(\text{CH}_2)$  为双峰说明碳氢链呈正交排列方式的特征;Yijun 等<sup>[10]</sup>的研究表明,在硬脂酰胺 (StA) 和十一烷基咪唑 (UDLM) 多层膜中, StA 和 UDIM 的  $(\text{CH}_2)$  为单峰,据此推断 StA 和 UDMA 多层膜中碳氢链以六角晶系的子晶胞模式存在.丁明等<sup>[11]</sup>研究了三-2,4-二特戊基苯氧基-8-喹啉氨基酞菁铜 LB 膜和蒸镀膜的结构,确认在 LB 膜中,  $\text{CH}_2$  的剪式振动带未发生分裂,在  $1467\text{ cm}^{-1}$  处,表明该 CuPc 中碳链是以六方晶系或假六方晶系方式堆积的,而蒸镀膜中分子基本呈现无序状态.霍丽华等<sup>[12]</sup>发现十

二烷基苯磺酸分子在掺杂态聚苯胺 LB 膜中,亚甲基剪式振动为双峰,这说明烷基链可能以正交亚晶胞方式堆积.

### 2.3 掠角反射技术与透射技术相结合研究超薄膜分子的取向

#### 2.3.1 分子薄膜中分子取向的定性分析

红外掠角反射吸收光谱 (GRA) 与红外透射光谱相互补充,可以给出有序超薄膜体系中分子的三维结构信息,在研究有序超薄膜的微观结构中具有不可取代的重要作用.很多学者通过透射光谱与掠角反射光谱结果对比,得到薄膜分子中不同基团的取向信息.这是因为在透射光谱中,入射光是沿着基底表面法线方向入射的,因而其电矢量平行于基底平面,所以只有跃迁偶极矩在基底平面方向有分量的振动才可能被观察到,掠角反射红外光谱中只有跃迁偶极矩在基底法线方向有分量的振动才可能被观察到.这就是红外透过与反射吸收光谱的选择定则,即平行于基片的振动模式在透过光谱中有较强的振动而在反射光谱中为弱的振动,垂直于基底的振动在透射光谱中是较弱的吸收,在反射光谱中为较强的振动.因此,通过对比各个振动峰在两个光谱中的强度,可以得到不同基团的取向信息<sup>[13]</sup>.

吉林大学超分子结构与谱学开放实验室的赵冰等人在超薄膜的谱学研究方面做了大量的工作<sup>[8, 14~17]</sup>.他们利用红外透过、反射吸收光谱相结合的方法分析了不同类型 LB 薄膜的结构,并对各种薄膜在不同温度下 LB 膜结构的变化进行了全面的考察.例如,王旭等人利用 FTIR 光谱分析手性液晶化合物所构成 LB 膜的结构、分子在膜中的取向,特别是分子内不同基团的取向,研究表明该化合物可以形成稳定的单层与多层膜.手性分子中,芳香环平面部分倾向于垂直基片表面,分子中的烷基链部分则与基底表面法线方向成一定的角度.同时还可以看到,与第一层膜的光谱相比,多层膜的光谱有许多不同.首先,亚甲基的伸缩振动向高波数方向移动,表明多层膜的有序性在降低.其次,低波数区域中光谱的差异说明单层与多层膜中分子的取向也存在差异.李小灵等报道了用红外吸收光谱研究 1-羟基-5-十六烷氧基-萘 ( $\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{ONaph}(1,5)\text{OH}$ ) LB 膜的结构,发现其在多层膜内以聚集体的形式存在,聚集体在  $80^\circ\text{C}$  以上转变成单体.分子的脂链部分以一定角度排列,萘环则几乎与膜平面垂直.他们还进一步考察了 1-羟基-5-十二烷氧基-萘 LB 膜

及溶液状态下的结构、分子取向,结果表明分子在溶液中主要是以单体形式存在;在 LB 膜中是以聚集体形式存在.王强等人用红外掠角反射-吸收光谱技术对倒浮萍聚合物 ES-3 LB 膜的取向进行了详细的研究,结果表明,在金表面上制备的 ES-3 LB 膜中烷基链基本垂直于基底平面.薄膜分子中的酰胺带是酰胺基中 N-H 弯曲振动和 C-N 伸缩振动耦合的结果,但前者所占比例较大,N-H 弯曲振动跃迁矩的方向基本平行于烷基链链轴的方向,C-N 伸缩振动的跃迁矩方向和链轴的夹角很小,在链轴上的分量较大,因此,酰胺带的强度也能够反映烷基链的取向,酰胺带在 IR-GRA 中是一个最强的吸收振动,这也证实 ES23 LB 膜中烷基链的取向基本垂直于基底平面.

在丁明等对三-2,4-二特戊基苯氧基 8-喹啉氧基酞菁铜 LB 膜结构研究中发现,在薄膜的掠角反射光谱中,CH<sub>2</sub> 的反对称伸缩振动带较 CH<sub>3</sub> 的反对称伸缩振动带强,表明 CH<sub>2</sub> 的振动矢量方向接近于垂直基板平面.

张浩力和张锦等人使用透射与掠角反射红外相结合的方法,在研究自组装薄膜的结构方面做了大量的工作<sup>[18~22]</sup>.他们对喹啉衍生物自组装薄膜单分子薄膜的结构研究发现,在反射谱中,亚甲基的对称伸缩(<sub>s</sub>CH<sub>2</sub>)和反对称伸缩振动(<sub>as</sub>CH<sub>2</sub>)吸收峰的强度较弱,表明烷基链与基底平面有较大的夹角.此外与其透射谱相比,这两个吸收的峰位都略向低频移动,表明该单分子膜具有高度的致密性.在 1 600~1 400 cm<sup>-1</sup>区段内喹啉环中 C-N 和 C-C 键的伸缩振动,以及在 1 230 cm<sup>-1</sup>附近归属为 Ph-O 键伸缩振动(<sub>ph-o</sub>)的吸收在反射谱中均为强峰,表明喹啉基团与基底有较大的夹角.他们研究了含酰胺结构的巯基自组装膜的结构,证明了在自组装膜中 CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>C(O)NHCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>SH 的 C=O 和 N-H 键与金表面平行,分子轴线与金表面近似垂直.此外,他们还在金表面上制备了一系列碳链长度不同的含有偶氮苯结构的硫醇衍生物的自组装单分子膜,并对这一系列自组装膜的结构进行了考察.同样通过透射和反射谱中亚甲基的对称(<sub>s</sub>CH<sub>2</sub>)与反对称伸缩振动(<sub>as</sub>CH<sub>2</sub>)的变化,得出在这些 SAMs 中,烷基链大致与基底是垂直的.同时,他们还考察了分子结构的变化对 SAMs 中分子取向的影响,发现当 *n* 大于 8 时,<sub>s</sub>CH<sub>2</sub> 和 <sub>as</sub>CH<sub>2</sub> 的吸收强度随 *n* 值的增大而迅速增

大,表明分子中烷基链与基底法线的夹角随分子中亚甲基数目的增多而迅速增大.

Rabolt 等人应用 GA 法对聚合物 PMMA<sup>[23]</sup>以及 PDMS 在金表面的自组装膜的结构进行了研究,发现 PMMA-10 膜的定向性明显高于 PMMA-100 膜;而在 PDMS 在金表面形成的自组装膜中的分子取向的研究中,根据 Si-O 键伸缩振动峰的峰强变化证明了在硫醇含量降低时(如(1~3)%SH)时,分子链与金表面平行.

### 2.3.2 分子薄膜中分子取向的定量计算

确定分子的取向对于分析薄膜的微结构有非常重要的意义.定量计算超薄膜中分子取向的方法已有多种报道<sup>[25~29]</sup>,如利用 ATR,偏振透射光谱以及将透射光谱与掠角反射光谱相结合都可以计算分子的取向角.本文中主要介绍透射光谱与掠角反射光谱相结合定量计算分子取向的方法.

Takenaka 等人<sup>[28]</sup>基于红外透射和反射吸收光谱,发展了一种定量计算长链羧酸盐 LB 膜中分子取向的方法,这种方法被后来的研究工作者广泛采用.Takenaka 的研究中,选取了简正振动模式,这种振动模式的单轴取向的跃迁矩与膜面垂线 *z* 之间的夹角即取向角  $\phi$ .*Xy* 平面为膜平面,*xz* 平面为入射面.在透射谱中,吸收谱带的强度正比于复介电常数虚部的 *x* 组分  $\epsilon''_x$ (或 *y* 组分  $\epsilon''_y$ ),在反射吸收谱中吸收强度主要取决于复介电常数虚部的 *z* 组分  $\epsilon''_z$ ,部分取决于  $\epsilon''_x$ ,而且在反射吸收谱中需要考虑到金属表面的增强作用, $\epsilon''_z$  和  $\epsilon''_x$  应分别乘以各自的增强系数  $m_z$  和  $m_x$ , $\epsilon''_z$  和  $\epsilon''_x$  可以通过跃迁矩的取向角  $\phi$  对其在 *xy* 平面上的投影角  $\theta$  从 0~ $2\pi$  的积分获得,因此得到<sup>[28]</sup>:

$$\frac{A_T}{A_R} = \frac{\epsilon''_x}{m_z \epsilon''_z + m_x \epsilon''_x} = \frac{\frac{2n_x k}{2} \int_0^{2\pi} \sin^2 \phi \cos^2 \theta d\theta}{\frac{2m_z n_z k}{2} \int_0^{2\pi} \cos^2 \theta d\theta + \frac{2m_x n_x k}{2} \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta \cos^2 \theta d\theta} = \frac{\sin^2 \phi}{2m_z \cos^2 \phi + m_x \sin^2 \phi} \quad (1)$$

如果能够得到  $m_z$  和  $m_x$ ,通过测量透射谱和反射吸收谱,比较得到  $A_T$  和  $A_R$  的比值,就可以求出跃迁矩的取向角  $\phi$ .而对于 CH<sub>2</sub> 对称和反对称伸缩振动,其跃迁矩与链轴两两互相垂直,因此如果能够得到 CH<sub>2</sub> 对称和反对称伸缩振动的跃迁矩的取向角  $\theta$  和  $\theta'$ ,那么链轴与基底表面垂线间夹角 (即链

轴的倾斜角)可由关系式

$$\cos^2 \theta_x + \cos^2 \theta_y + \cos^2 \theta_z = 1 \quad (2)$$

Takenaka 等人用这种方法计算出 7 层硬脂酸镉 LB 膜中反伸缩振动和伸缩振动的取向角均为  $85^\circ$ , 链轴的倾斜角为  $7^\circ$ 。

需要注意的是强度增强系数  $m_z$  和  $m_x$  依赖于样品薄膜和固体基底的复合折光系数、膜厚、RA 测量中的入射角及波长。一般来说  $m_x$  远远小于  $m_z$ , 可以忽略不计。Takenaka 等人的研究表明如果忽略  $m_x$ ,  $\theta_x = 83^\circ$ ;  $\theta_y = 84^\circ$ ;  $\theta_z = 9^\circ$ , 这与之前的结果差别只有几度, 因此在粗略的估算中可以忽略  $m_x$ 。

Yijun Gu 等<sup>[10]</sup>的工作中, 使用这种方法估算出硬脂酰胺多层膜中,  $\nu_{as}(\text{CH}_2)$  和  $\nu_s(\text{CH}_2)$  的跃迁矩与基底垂面的夹角  $\theta$  和  $\phi$ , 分别为  $66^\circ$  和  $77^\circ$ , 并通过之间的正交关系计算出碳氢链轴与基底垂面的夹角为  $27^\circ$ 。KiRyong Haa 等<sup>[30]</sup>的研究表明了在全氟化硬脂酸分子在 LB 薄膜中, 其分子链轴垂直于基底表面, 即  $\theta$  接近  $0^\circ$ 。张浩力等人<sup>[18]</sup>也用这种方法对喹啉自组装膜中分子的取向进行了研究, 得出在喹啉自组装膜中烷基链的倾角为  $24 \pm 5^\circ$ , 这一结果表明喹啉分子在分子薄膜形成有序层, 并不干扰烷基链的堆积。

另外, 需要注意的是, 从方程式(1)的本质可以看出, 当  $\phi$  值大于  $70^\circ$ ,  $A_T/A_R$  的实验误差对于计算结果只有较小的影响, 但是当  $\phi$  值小于  $40^\circ$  时, 实验误差的影响较大。这表明分子跃迁矩的取向越接近平行于基底平面时, 计算结果的精确度越高, 这与 ATR 技术对于分子取向的分析结果正好相反。

#### 2.4 掠角反射红外的局限性<sup>[5]</sup>

尽管掠角反射红外在分子薄膜结构研究中发挥了重要的作用, 但它仍然存在一定的局限性, 这主要体现在:

(1) 光谱测量范围: 由于光束能力的限制, RA 技术测量 IR 谱时一般只能测量  $800 \text{ cm}^{-1}$  以上区域, 也就是说主要用于研究分子的内部振动模式。对于  $200 \sim 800 \text{ cm}^{-1}$  区间的振动, 利用 RA 技术进行研究是很困难的。在这一区间, IR 光源能量低, 检测器灵敏度也较差, 使 RA 测量出现极大困难。

(2) 非金属界面测定: 红外光在非金属界面上的行为与在金属界面上时存在较大差异。S 偏振光在界面反射后, 反射光与入射光不能产生完全相消干涉, 界面存在平行于界面的剩余电场。P 偏振光在掠角入射时界面电场增强也有限, 这样将导致测量

灵敏度降低和使分子基团取向研究复杂化。另外, 在非金属界面上, 谱带形状也将发生严重扭曲。RA 技术限制在金属表面上进行, 这影响了研究范围的扩大, 对能与金属产生作用的有机物的研究将产生不利影响。

(3) 在对分子取向的研究中, 由于受到测试技术的限制, 用于透射和掠角反射的薄膜的沉积基底是不同的, 因此直接比较透射谱和金属表面得到的反射吸收谱是不恰当的, 因为分子结构和取向在两种样品体系中可能并不完全相同。要想避免这个问题, 就要预先在两种基底表面上制备一层薄氧化物层, 或者不产生与样品相重叠的红外吸收谱带的薄膜, 这就使样品制备过程比较复杂。

#### 参考文献:

- [1] McCarthy T J. Layer-by-Layer deposition: A tool for polymer surface modification[J]. *Macromolecules*, 1997, 30:78-86
- [2] Hong H. Blue luminescence induced by confinement in self-assembled films[J]. *Supramolecular Science*, 1997, 4:67-73
- [3] Fendler J H. Self-assembled nanostructured materials[J]. *Chem Mater*, 1996, 8(8):1616-1624.
- [4] 顾宁. 分子自组装及其应用[J]. *材料导报*, 1997, 11(3):38-43
- [5] 吴瑾光. 近代傅里叶变换红外光谱技术及应用[M]. 北京:科学技术文献出版社, 1994, 146-149
- [6] Michel Vandevyver. Andre barraud and philippe maillard. structure of porphyrin multilayers obtained by the langmuir blodgett technique [J]. *J Colloid Interface Sci*, 1982, 85(2):571-585
- [7] 王强, 徐蔚青, 赵冰. 倒浮萍聚合物 ES-3LB 膜掠角反射-吸收红外光谱的研究[J]. *高等学校化学学报*. 2003, 24(1):174-177
- [8] Kamata T, Kato A, Umemura J. Intensity enhancement of infrared attenuated total reflection spectra of stearic acid langmuir blodgett monolayers with evaporated silver island films[J]. *Langmuir*, 1987, 3:1150-1154
- [9] Rabolt J F, Burns F C, Schlotter N E, et al. Anisotropic orientation in molecular monolayers by infrared spectroscopy [J]. *J Chem Phys*, 78(2):15-21.
- [10] Yijun Gu, Zhenming Shi, Chong-shi Nie. Infrared transmission and reflection absorption spectroscopy study on molecular orientation of long-chain *n*-Alkane amide and 2-*n*-alkylimidazole multilayer on silver and KRS-5 surfaces[J]. *Applied Spectroscopy*, 1998, 52(6):855-862.
- [11] 丁明, 张引, 陈文启, 等. 酞菁铜固态薄膜的红外光谱[J]. *光谱学与光谱分析*, 1997, 17(12):73-76.

- [12] 霍丽华,曹立新,徐冉,等. 十二烷基苯磺酸在掺杂态聚苯胺 LB 膜中的分子取向[J]. 光散射学报, 1999, 11(3):256-259.
- [13] Zhao B, Li H B, Zhang X, *et al.* Capturing the concentration dependence of trans-2-butene diffusion in silicalite-2 zeolite with a jump diffusion model [J]. *J Phys Chem (B)*, 1998, 102(34):6 515-6 520.
- [14] 赵冰,张希,徐蔚青,等. 分子组装体的谱学研究[J]. 光散射学报, 2000, 12(2):77-82.
- [15] 王旭,赵冰,薛庆斌,等. 红外透过、反射吸收光谱研究手性液晶(M1)LB膜的结构与取向[J]. 光谱学与光谱分析, 2000, 20(6):768-769.
- [16] 赵冰,李小灵,吴玉清,等. 1-羟基-5-十二烷氧基-萘 LB膜结构和取向的光谱研究[J]. 光谱学与光谱分析, 1999, 119(15):680-683.
- [17] Colthup N B, Daly L H, Wiberley S E. Introduction to infrared and raman spectroscopy[M]. New York:Academic Press, 1964:319-322.
- [18] 张浩力,张华,张锦,等. 喹啉衍生物自组装单分子膜的制备与结构[J]. 物理化学学报, 1999, 15(7):657-661.
- [19] Hao-Li Zhang, Hua Zhang, Jin Zhang, *et al.* Structural evaluation of 6-10-mercaptodecoyl quinoline self-assembled monolayer on gold by reflectance absorption infrared spectroscopy[J]. *Materials Science and Engineering C*, 1999, 8(9):187-190.
- [20] 张浩力,张锦,赵江,等. 含酰胺结构的巯基自组装膜的设计与结构表征[J]. 物理化学学报, 1997, 13(6):515-524.
- [21] 李海英,张浩力,张锦,等. 新型偶氮苯硫醇衍生物自组装膜的制备与结构表征[J]. 物理化学学报, 1999, 15(3):198-203.
- [22] Zhanga J, Zhao B A, Hang H L, *et al.* Effect of the molecular interaction on molecular packing and orientation in a-zobenzene-functionalized self-assembled monolayers on gold [J]. *Thin Solid Films*, 1998, 327~329:195-198.
- [23] Rabolt J F, *et al.* Formation and characterization of self-assembled films of sulfur-derivatized poly(methyl methacrylates) on gold[J]. *Macromolecules*, 1993, 26:1 230-1 237.
- [24] Rabolt J F. Formation and characterization of self-assembled films of thiol-derivatized poly(dimethylsiloxane) on gold [J]. *Macromolecules*, 1997, 30:5 913-5 919.
- [25] Allara D L, Nuzzo R G. Spontaneously organized molecular assemblies. 2. Quantitative infrared spectroscopic determination of equilibrium structures of solution-adsorbed *n*-alkanoic acids on an oxidized aluminum surface [J]. *Langmuir*, 1985, 1:52-66.
- [26] Nuzzo R G, Dubois L H, Allara D L. Fundamental studies microscopic wetting on organic surface. 1. Formation and structural characterization of a self-consistent series of poly-functional organic monolayers [J]. *J Am Chem Soc*, 1990, 112:558-569.
- [27] Parikh A N, Allara D L. Quantitive determination of molecular structure in multilayered thin films of biaxial and lower symmetry from photon spectroscopies. 1. reflection infrared vibrational spectroscopy [J]. *J Chem Phys*, 1992, 96(2):927-945.
- [28] Junzo Umemura, Toshihide Kamata, Takeshi Kawai, *et al.* Quantitative evaluation of molecular orientation in thin langmuir-blodgett films by FT-IR transmission and reflection-absorption spectroscopy[J]. *J Phys Chem*, 1990, 94:62-67.
- [29] 王海,崔海宁,席时权. 红外光谱法研究 LB膜中的分子取向[J]. 物理化学学报, 1998, 14(5):472-476.
- [30] KiRyong Haa, Wonsool Ahna, Seungbaik Rhoa, *et al.* Characterization of orientation of perfluorostearic acid Langmuir Blodgett multilayers by infrared spectroscopic methods [J]. *Thin Solid Films*, 2000, 372:223-229.

## Infrared Transmission and Reflection Absorption Spectroscopy Study on Structure of Ordered Ultrathin Films

ZHOU Jin-fang, YANG Sheng-rong

(State Key Laboratory of Solid Lubrication,

Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The structure of ordered ultrathin films, including the molecular packing style, the molecular conformers and the orientation of long-chain molecular can be obtained by FTIR-GRA. The theories and application examples of this method are summarized.

**Key words:** FTIR-GRA; ultra-thin film; molecular orientation

**Classifying number:** O657.3

---

新产品介绍

### 精密铸造设备 —适用于铂、钯、金、银、钛、不锈钢、超耐热合金

德国利恒热工公司隆重推出: 感应加热和离心浇铸的一体化设备 Supercast/ Supercast Vac, 适用于首饰珠宝和精密铸造, 最大浇铸量 3 kg。在离心浇铸过程中, 采用中频感应加热技术快速加热并熔化所有的金属材料。

该设备的一个显著特点是低能耗和高效率, 在最短的时间内可以熔化并浇铸大量金属材料。例如, 熔化 500 g 黄金需要大约 2 min, 熔化 400 g 铂金约 1 min。熔化温度可达 2000 摄氏度。

实践证明, 由于感应加热中的熔体运动, 可以使被加热的金属或合金材料充分和均匀的混合, 因此与其它工艺相比, 感应加热具有更加优异的均匀性和重复性。

所有的设备可以选配真空泵, 实现在空气、惰性气体和真空保护等多种条件下工作。采用最新的微处理器控制, 操作简单、可靠。

联系电话: 021 - 63531249

电子邮件地址: info @inn. de info @inn. com. cn

(德国利恒公司上海代表处 龙靖供稿)