磁盘表面形貌对润滑剂分布及磁头/磁盘之间润滑剂转移的影响

潘登, 闫辉, 姜洪源*

哈尔滨工业大学机电工程学院, 哈尔滨 150001

* E-mail: jhy_hit@sina.com.cn

收稿日期: 2014-04-01; 接受日期: 2014-06-11

国家自然科学基金(批准号: 11372093)资助项目

摘要 磁盘表层润滑剂在磁头与磁盘之间转移会影响磁头飞行的稳定性. 本文采用改进后的粗粒珠簧模型, 运用分子动力学方法, 研究了磁盘上类金刚石薄膜(diamond like carbon, DLC)层粗糙度和磁盘表面凸起对润滑剂在磁盘表面分布及磁头/磁盘之间润滑剂转移的影响. 研究表明, DLC 层粗糙度对润滑膜平均厚度及磁盘表层粗糙度的影响很小; 磁盘表面凸起对磁盘表层润滑剂分布的影响明显. 类金刚石薄膜层的粗糙度和磁盘表面凸起均可增加转移到磁头上的润滑剂的体积. 但磁盘表层粗糙度对磁头/磁盘之间润滑剂转移量的影响明显低于由磁盘表面凸起导致的磁头/磁盘之间润滑剂的转移量.

关键词

润滑剂转移

表面形貌

分子动力学仿真

磁头/磁盘界面

1 引言

商用硬盘的盘片表面涂有一层 12~14 Å 的全氟聚醚(perfluoropolyether, PFPE), 用于减少磁头与磁盘之间的接触, 进而保护位于磁头末端的读写元件^[1]. 目前, 磁头末端的读写元件与磁盘之间的距离已下降到 2 nm 以下. 即使磁头与磁盘之间不发生接触, 位于磁盘上的润滑剂分子也会转移到磁头上^[2]. 润滑剂在磁头与磁盘之间的转移可改变磁头与润滑剂分子之间的作用力, 静电力等, 进而降低磁头飞行的稳定性^[3]. 因此, 对磁盘表层润滑剂的分布状态及其转移影响因素进行深入研究是非常重要的.

学者们对磁头/磁盘之间润滑剂转移的数值研究结果表明: 增加润滑剂分子的重量^[4], 增加润滑剂的吸附率^[5], 提高润滑剂分子链的刚度^[6]或减小润滑膜

的厚度^[5]都可以减少磁头/磁盘之间的润滑剂转移. Man 等人^[7]的研究结果表明磁头的空气轴承表面设计会对磁头/磁盘之间的润滑剂转移产生影响. 当磁头飞行高度在 3.5 nm 左右时, 磁头与磁盘之间的距离接近润滑剂分子的平均自由程, 蒸发后的润滑剂分子会附着并凝结在磁头表面. 较小的磁头末端凸台(pad)会增加磁头的空气轴承刚度, 减小润滑剂的重新分布, 进而减小润滑剂转移量. Kim 等人^[8]的研究结果表明增加环境的绝对湿度会增加润滑剂的转移量. 因为环境绝对湿度的增加就意味着环境中水分子的含量增加, 水分子含量的增加会减小润滑剂分子与 DLC(diamond like carbon)层之间的键合作用. 因此润滑剂分子更容易转移到磁头上. Tani 等人^[9]的研究结果表明磁头/磁盘之间的润滑剂转移受润滑剂的分子结构的影响. 不同结构的润滑剂分子在 DLC

引用格式: 潘登, 闫辉, 姜洪源. 磁盘表面形貌对润滑剂分布及磁头/磁盘之间润滑剂转移的影响. 中国科学: 技术科学, 2014, 44: 939-945
Pan D, Yan H, Jiang H Y. Effect of surface topography of disk on lubricant distribution and lubricant transfer between disk and slider (in Chinese). Sci Sin Tech, 2014, 44: 939-945, doi: 10.1360/N092014-00104

层上的分布形态也不同. 当润滑剂分子的中间原子(backbone)覆盖润滑剂分子的官能团(end bead)时, 磁头表面与润滑剂分子官能团的相互作用便被阻断了, 所以润滑剂转移量减少. Waltman 等人^[10]采用实验手段得出润滑剂转移量随着磁盘表面润滑膜厚度的增加而呈非线性增加. 原因在于润滑膜的厚度越大, 分离压(disjoining pressure)越小, 磁盘表层润滑剂与 DLC 层之间的相互作用越小, 进而增加了润滑剂转移到磁头上的可能性.

总结前人的研究发现^[4,7,11], 磁盘表面的润滑剂蒸发后在磁头表面凝结是导致润滑剂转移的一个原因. 但是随着磁头飞行高度的降低, 磁头在磁盘表面飞行时, 是否存在其他原因导致润滑剂在磁头/磁盘界面转移仍需要进一步研究. 当磁头/磁盘间隙下降到 2 nm 以下时, 采用分子动力学方法, 从微观角度揭示润滑剂的转移过程是一个好的选择. 然而目前采用全原子模型研究磁头/磁盘之间的润滑剂转移时, 未能考虑磁头/磁盘界面空气轴承压力等因素的影响^[9]. 因此根据磁头/磁盘界面的实际情况, 构建分子动力学模型来研究磁头/磁盘之间的润滑剂转移是很有必要的.

PFPE 是一种链状结构的聚合物. Guo 等人^[12]和李欣^[13,14]等人建立了粗粒珠簧模型用于研究 PFPE 的性质. 该模型后经 Li 等人^[15]和 Pan 等人^[16]改进, 已用于研究空气轴承压力及磁盘转速对磁头/磁盘之间润滑剂转移的影响. 当前使用的硬盘中, 磁盘上 DLC 层的表面粗糙度 R_{a_DLC} 已达到 0.2 nm 以下^[17,18], R_{a_DLC} 对润滑剂在磁盘上分布及在磁头/磁盘之间转移的影响有待进一步研究. 磁盘在加工过程中, 由于外界物质的引入, 会导致磁盘表面产生凸起^[19]. 学者们对磁盘表面凸起部分与磁头之间的接触已经做了大量的研究^[20,21]. 然而, 凸起部分对润滑剂在磁盘表面分布的影响, 以及磁头与磁盘表面凸起不发生接触时, 凸起部分对润滑剂在磁头/磁盘之间转移的影响都鲜有研究.

本文采用 Pan 等人改进后的粗粒珠簧模型, 运用分子动力学方法, 研究磁盘上 DLC 层的粗糙度 R_{a_DLC} , 磁盘表面凸起对润滑剂在磁盘表面分布及磁头/磁盘之间润滑剂转移的影响. 从微观角度揭示了 DLC 层的粗糙度、磁盘表面凸起对磁盘表面润滑剂分布的影响和磁头/磁盘之间润滑剂转移的过程及机理, 对提高磁头飞行稳定性具有重要意义.

2 分子动力学模型

2.1 模型

磁头在磁盘上飞行时, 磁头与磁盘之间会产生空气轴承压力, 以支撑磁头在磁盘上飞行. 空气轴承压力的分布与磁头/磁盘之间的间隙有关, 间隙越大, 所产生的空气轴承力越小, 反之亦然. 空气轴承力与磁头/磁盘之间间隙的原理图如图 1(a)所示. 根据该原理所建立的分子动力学模型如图 1(b)所示. 本文以 Zdol 型润滑剂为例, 研究润滑剂在磁盘上的分布及在磁头/磁盘之间的转移. 在粗粒珠簧模型中, 一个润滑剂分子由十个单体组成, 其中八个为中间单体(Backbone Beads, BB), 用以描述润滑剂分子中重复的原子团; 两个为端基(End Beads, EB), 可用来表示润滑剂分子末端的羟基. 羟基与 DLC 表层存在的极性基团相互作用, 形成化学吸附态的润滑剂分子. 因此, 根据 DLC 层中极性基团与碳原子作用的不同, 将该层的单体分为两种: 官能团(Functional Beads, FB)和非官能团(Non-functional Beads, NB). 本文将 DLC 表层官能团的数量与 DLC 表层单体总数之比定义为比率. 磁盘表面 DLC 层官能团的比率为 20%^[22]. 由于磁头表面 DLC 层的加工方法不同于磁盘表面的 DLC 层, 表层官能团的数量较少, 因此磁头表面 DLC 层官能团的比率为 5%^[23]. 在图 1(b)所示的模型中, 共有 2300 个处于平衡态的润滑剂分子. 本文所采用的分子动力学模型尺寸也在图 1(b)中标出. 磁盘转速 V_d 为 $0.12\sigma/\tau$.

在粗粒珠簧模型中, 任意两个单体间的相互作用势为截断平移的 Lennard-Jones(LJ)势:

$$U_{LJ}(r) = 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 - \left(\frac{\sigma}{r_c} \right)^{12} + \left(\frac{\sigma}{r_c} \right)^6 \right]. \quad (1)$$

式中, σ (~ 0.7 nm) 为单体直径, ϵ 为势阱深度, r 为单体间距, r_c ($\sim 2.5\sigma$) 为截断半径. 单个分子中, 作用于相邻两个单体之间的附加作用势为有限扩展非线性弹性势(FENE):

$$U_{FENE}(r) = -\frac{1}{2} k R_0^2 \ln \left[1 - \left(\frac{r}{R_0} \right)^2 \right], \quad (2)$$

式中, R_0 ($\sim 1.5\sigma$) 为最长键长^[24], k ($\sim 30k_B T/\sigma^2$) 为弹簧常数^[24], T 为绝对温度, k_B 为波尔兹曼常数. 每一个分子的端基之间, 分子的端基与 DLC 表层官能团之间的

图 1 (网络版彩图)磁头/磁盘界面的原理图及分子动力学模型

(a) 磁头/磁盘界面原理图; (b) 磁头/磁盘界面分子动力学模型

附加作用势为

$$U_{\text{EXP}}(r) = -\varepsilon^p \exp\left(-\frac{r-r_c}{d}\right), \quad (3)$$

式中, $d(\sim 0.3\sigma)$ 为短程相互作用典型长度^[12], $\varepsilon^p(\sim 2\varepsilon)$ ^[15] 为势阱深度.

2.2 模拟方法

本文采用开源的分子动力学软件 Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator (LAMMPS) 进行仿真. 仿真时, 为了减小单体的初始分布对润滑剂分子最终分布的影响, 首先基于正则系综(NVT)计算公式(1)和(2). 此时截断误差为 $2^{1/6}\sigma$. 温度 $T(1/k_B)$ 恒定, 时间步长 Δt 为 0.005τ . $\tau(\sim \sigma(m/\varepsilon)^{0.5})$ 为无量纲时间单位, m 为单体质量. 系统运行 150τ 后, 润滑剂分子均匀、随机地分布在 DLC 层表面. 然后, 基于微正则系综(NVE)求解公式(1)~(3). 此时, 系统

温度由 Langevin 热浴来控制. 在这一步中截断误差为 2.5σ . 温度和时间步长与上一步相同. 经过 500τ 后, 得到平衡态的润滑剂分子(图 1(b)).

3 结果与讨论

3.1 DLC 层粗糙度对润滑剂分布及转移的影响

在本文所采用的粗粒珠簧模型中, DLC 层粗糙度 R_{a_DLC} 的变化范围是从 0.0σ ~ 0.2σ . 图 2 为润滑膜平均厚度及磁盘表面粗糙度 $R_{a\_surface}$ 随润滑剂分子数的变化趋势. 可见, 随着润滑剂分子数的增多, 润滑膜的平均厚度呈线性增加. 随着 DLC 层粗糙度 R_{a_DLC} 的增加, 润滑膜的平均厚度增加, 但增加幅度很小. 因此, DLC 层粗糙度 R_{a_DLC} 对润滑膜平均厚度的影响可以忽略不计. 随着润滑剂分子数的增加, 磁盘表层粗糙度 $R_{a\_surface}$ 逐渐下降. DLC 层的粗糙度 R_{a_DLC} 越大, 磁盘表层粗糙度 $R_{a\_surface}$ 越大.

润滑剂在 DLC 层上的分布为层状分布^[25]. 当润滑剂分子数较少时, 润滑剂分子为单层排列. 随着润滑剂分子数的增加, 未能排在第一层的润滑剂分子开始形成第二层排列. 第二层润滑剂分子逐渐形成的过程将改变磁盘表层粗糙度 $R_{a\_surface}$. DLC 层的粗糙度可以适度弥补第二层润滑剂分子的排列带来的影响. 因此, 从图 2 中可以观察到: 当 R_{a_DLC} 为 0.1σ 时, $R_{a\_surface}$ 的值在分子数为 2300 处接近 R_{a_DLC} 为 0.0σ 的情况; 当 R_{a_DLC} 为 0.2σ 时, $R_{a\_surface}$ 的值在分子数为 2645 处接近 R_{a_DLC} 为 0.1σ 的情况. 随着润滑剂分子数的增加, 磁盘表层粗糙度 $R_{a\_surface}$ 的增大幅度

图 2 (网络版彩图)润滑膜平均厚度及磁盘表面粗糙度随润滑剂分子数的变化

越来越小. 说明随着润滑剂分子数的增加, 即润滑膜厚度的逐渐增加, DLC 层粗糙度对润滑剂分布的影响越来越小.

当 DLC 层的粗糙度 R_{a_DLC} 为 0.1σ 时, 润滑剂从磁盘转移到磁头的过程如图 3 所示. 低压区与高压区的压力差为 $15\varepsilon/\sigma^3$, 磁盘转动速度为 $0.12\sigma/\tau$. 当时间 t 为 0 时(图 3(a)), 2300 个润滑剂分子均匀的分布在磁盘上; 当空气轴承压力作用在润滑剂分子上时, 高压区与低压区之间的压力差使润滑膜的厚度在高压处降低, 在高、低压区过渡处升高^[12]. 润滑膜厚度升高导致部分润滑剂分子与磁头之间的距离减小, 进而相互作用增强. 因此, 当磁盘沿 y 方向移动 85τ 后(图 3(b)), 润滑剂分子开始在左侧台阶处转移到磁头上. 在保持磁头/磁盘间距不变的情况下, 磁盘移动的距离越长, 转移到磁头上的润滑剂分子越多(图 3(c)和(d)).

图 4 为润滑剂转移量随润滑剂分子数的变化. 当磁盘转速($0.12\sigma/\tau$), 磁头/磁盘之间间隙(7σ), 高压区

图 3 (网络版彩图) 润滑剂分子由磁盘转移到磁头上的过程($R_{a\_DLC}=0.1\sigma$)

(a) $t=0\tau$; (b) $t=85\tau$; (c) $t=350\tau$; (d) $t=500\tau$

图 4 (网络版彩图) 润滑剂转移量随润滑剂分子数的变化

与低压区之间压力差($15\varepsilon/\sigma^3$)恒定时, 转移到磁头上的润滑剂的体积随磁盘上润滑剂分子数的增加而增加, 即润滑膜的厚度越大, 转移到磁头上的润滑剂的体积越大. 受高、低压区压力差作用后, 局部区域润滑膜的厚度高出或低于润滑膜平均厚度的高度随着润滑膜厚度的增加而增大. 局部区域润滑膜的厚度高出润滑膜平均厚度的高度越大, 与磁头相互作用的润滑剂分子就越多. 因此, 转移到磁头上的润滑剂的体积越大. DLC 层的硬度高于润滑剂层的硬度, 所以 DLC 层抵抗空气轴承压力差的能力高于润滑剂层. 因此, 随着 DLC 层粗糙度 R_{a_DLC} 的增加, 转到磁头上的润滑剂的体积也会增加. 但因 DLC 层的粗糙度值很小, 所以增加幅度很小.

3.2 磁盘表面凸起对润滑剂分布及转移的影响

在分子动力学模型中, 通过改变 DLC 层的形貌, 即在 DLC 层中部增加一个椭球面拱形, 来研究磁盘上的凸起部分对润滑剂分布及润滑剂在磁头/磁盘之间转移的影响. 如图 5 所示, 凸起部分的直径为 $D_{Protrusion}$, 高度为 $H_{Protrusion}$.

当凸起的直径恒定($D_{Protrusion}=30\sigma$), 凸起的高度不同时, 润滑剂在磁盘上的分布如图 6 所示. 从图 6(a)~(c)可见, 凸起部分的高度逐渐升高, 大部分润滑剂分子的端基吸附在 DLC 层上, 中间单体覆盖在端基上. 图 7 为单体沿 y 方向的数密度分布. 由图可见, 润滑剂分子的密度在凸起部分的两侧增高, 靠近凸起边缘处, 润滑剂分子的密度降低. 而且这种现象随着凸起高度的增加, 越来越明显. 由于表面张力的

图5 (网络版彩图)磁盘表面凸起原理图

图6 (网络版彩图)不同凸起高度下的润滑剂分布

(a) 凸起的高度 $H_{\text{Protrusion}}=0.5\sigma$; (b) 凸起的高度 $H_{\text{Protrusion}}=1.5\sigma$; (c) 凸起的高度 $H_{\text{Protrusion}}=2.6\sigma$

图7 (网络版彩图)单体沿y方向的数密度分布(EB和BB)

作用导致润滑剂分子由高处向低处流动, 且凸起高度越高, 流动到低处的润滑剂分子越多, 导致凸起部分两侧的润滑膜厚度增高。

当凸起的直径 $D_{\text{Protrusion}}$ 为 30σ 时, 转移到磁头上的润滑剂的体积随凸起高度 $H_{\text{Protrusion}}$ 的变化如图8所示。随着凸起高度 $H_{\text{Protrusion}}$ 的增加, 转移到磁头上的润滑剂的体积明显增加。凸起部分的存在导致润滑剂分子与磁头之间的距离减小, 增加了润滑剂分子

与磁头之间的相互作用, 进而导致转移到磁头上的润滑剂的体积增加。增加凸起高度 $H_{\text{Protrusion}}$ 会导致润滑剂流向凸起部分的两侧, 增加凸起部分两侧局部区域的润滑膜厚度。然而凸起部分两侧润滑膜厚度的增加对润滑剂转移量的影响很小。

当凸起的高度为 2.2σ 时, 不同凸起直径下单体沿y方向的数密度分布如图9所示。由图可见, 位于凸起部分上的润滑剂向凸起部分的两侧流动, 并堆积在凸起部分两侧。随着凸起直径的增加, 分布在凸起部分上的润滑剂变化减小, 而且润滑剂在凸起部分两侧的堆积量也在减小。这意味着, 凸起部分的直径越大, 凸起部分对润滑剂分布的影响越小。

图10为转移到磁头上的润滑剂的体积随凸起部分直径的变化。可见, 随着凸起部分直径的增加, 转移到磁头上的润滑剂的体积明显增加。如前所述, 凸

图8 (网络版彩图)润滑剂转移量随凸起高度的变化

图9 (网络版彩图)单体沿y方向的数密度分布(EB和BB)

图 10 (网络版彩图) 润滑剂转移量随凸起直径的变化

起部分的存在减小了润滑剂分子与磁头之间的距离. 而且随着凸起直径的增加, 位于凸起部分上的润滑剂分子增多, 与磁头相互作用的润滑剂分子增多. 因此, 转移到磁头上的润滑剂的体积也增多. 结合图 9 和 10 可见, 当凸起部分直径为 10σ 时, 润滑剂在凸起

部分两侧的密度大于凸起部分直径为 30σ 的情况, 但润滑剂的转移量却低于凸起部分直径为 30σ 的情况. 这再一次说明了凸起部分两侧润滑膜厚度的增加对磁头/磁盘之间润滑剂转移量的影响很小.

4 结论

本文采用分子动力学方法分析了磁盘上 DLC 层的粗糙度及磁盘表面凸起对润滑剂在磁盘表面分布及在磁头/磁盘之间转移的影响. 当磁盘上 DLC 层的粗糙度 R_{a_DLC} 小于 0.2σ 时, R_{a_DLC} 对润滑剂分子在磁盘上的分布、润滑剂在磁头/磁盘之间转移的影响很小. 磁盘表面凸起的高度越高, 直径越小, 对润滑剂分子在磁盘表面分布的影响越大. 磁盘表面凸起的存在增加了润滑剂在磁头/磁盘之间的转移量. 因为磁盘表面凸起的存在减小了润滑剂分子与磁头之间的距离, 增加了润滑剂分子与磁头之间的相互作用. 而且, 凸起的高度越高, 直径越大, 转移到磁头上的润滑剂的体积越大.

参考文献

- Chen C Y, Bogy D B, Bhatia C S. Effect of lubricant bonding fraction at the head-disk interface. *Tribol Lett*, 2001, 10: 195–201
- Ambekar R P, Bogy D B, Bhatia C S. Lubricant depletion and disk-to-head lubricant transfer at the head-disk interface in hard disk drives. *J Tribol*, 2009, 131: 031901–031901
- Hua W, Liu B, Yu S, et al. Energy analysis on flying stability of sub-5-nm air bearing slider. *IEEE Trans Magn*, 2009, 45: 4998–5001
- Ma Y, Liu B. Lubricant transfer from disk to slider in hard disk drives. *Appl Phys Lett*, 2007, 90: 143516
- Ma Y, Liu B. Dominant factors in lubricant transfer and accumulation in slider-disk interface. *Tribol Lett*, 2008, 29: 119–127
- Li N, Meng Y, Bogy D B. Effects of PFPE lubricant properties on the critical clearance and rate of the lubricant transfer from disk surface to slider. *Tribol Lett*, 2011, 43: 275–286
- Man Y, Liu B, Zhang M, et al. Experimental study of slider-lubricant interaction with different slider designs. *Microsyst Technol*, 2009, 15: 1515–1520
- Kim S H, Dai Q, Marchon B, et al. Humidity effects on lubricant transfer in the head-disk interface of a hard disk drive. *J Appl Phys*, 2009, 105: 07–B104
- Tani H, Iwasaki K, Maruyama Y, et al. Lubricant pickup of ultra-thin PFPE lubricants with different backbone structure. *IEEE Trans Magn*, 2011, 47: 1837–1841
- Waltman R J, Deng H, Wang G J, et al. The effect of PFPE film thickness and molecular polarity on the pick-up of lubricant by a low-flying slider. *Tribol Lett*, 2010, 39: 211–219
- Marchon B, Karis T, Dai Q, et al. A model for lubricant flow from disk to slider. *IEEE Trans Magn*, 2003, 39: 2447–2449.
- Guo Q, Izumisawa S, Phillips D M, et al. Surface morphology and molecular conformation for ultrathin lubricant films with functional end groups. *J Appl Phys*, 2003, 93: 8707–8709
- 李欣, 胡元中, 王慧, 等. 润滑膜全氟聚醚的稳定性. *物理学报*, 2007, 56: 4094–4098
- 李欣, 胡元中, 王慧. 磁盘润滑膜全氟聚醚的分子动力学模拟研究. *物理学报*, 2005, 54: 3787–3792
- Li Y, Wong C H, Li B, et al. Lubricant evolution and depletion under laser heating: a molecular dynamics study. *Soft Matter*, 2012, 8: 5649–5657
- Pan D, Ovcharenko A, Yang M, et al. Investigation of lubricant transfer between slider and disk using molecular dynamics simulation.

- Tribol Lett, 2014, 53: 373–381
- 17 Tani H, Mitsutome T, Tsujiguchi Y, et al. Adhesion and friction behaviors of probes approaching magnetic disk surfaces. *IEEE Trans Magn*, 2012, 48: 4483–4486
  - 18 Wang N, Komvopoulos K. Incidence angle effect of energetic carbon ions on deposition rate, topography, and structure of ultrathin amorphous carbon films deposited by filtered cathodic vacuum arc. *IEEE Trans Magn*, 2012, 48: 2220–2227
  - 19 Song W, Ovcharenko A, Knigge B, et al. Effect of contact conditions during thermo-mechanical contact between a thermal flying height control slider and a disk asperity. *Tribol Int*, 2012, 55: 100–107
  - 20 Song W, Ovcharenko A, Yang M, et al. Contact between a thermal flying height control slider and a disk asperity. *Microsyst Technol*, 2012, 18: 1549–1557
  - 21 Song W, Salas P A, Ovcharenko A, et al. Numerical investigation of slider dynamics induced by contacts with disk asperities. *Microsyst Technol*, 2013, 19: 1393–1399
  - 22 Yatsue T, Ishihara H, Matsumoto H, et al. Design of carbon surface functional groups on the viewpoint of lubricant layer structure. *Tribol Trans*, 2000, 43: 802–808
  - 23 Anders A, Fong W, Kulkarni A V, et al. Ultrathin diamond-like carbon films deposited by filtered carbon vacuum arcs. *IEEE Trans Magn* 29, 2001: 768–775
  - 24 Guo Q, Chung P S, Jhon M S, et al. Nano-rheology of single unentangled polymeric lubricant films. *Macromol Theory Simul*, 2008, 17: 454–459
  - 25 Jhon M S, Izumisawa S, Guo Q, et al. Simulation of nanostructured lubricant films. *IEEE Trans Magn*, 2003, 39: 754–758

Effect of surface topography of disk on lubricant distribution and lubricant transfer between disk and slider

PAN Deng, YAN Hui & JIANG HongYuan

School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China

Lubricant transfer from the disk to the slider can affect the slider flying ability. Based on molecular dynamics simulation, we investigated the effects of the roughness of diamond like carbon (DLC) and disk surface protrusion on lubricant distribution on a disk surface and lubricant transfer between the disk and the slider using modified coarse-grained, bead-spring model. The simulation results showed that the effect of DLC roughness on the average lubricant thickness and on the disk surface roughness is small. However, the effect of disk surface protrusion on lubricant distribution on a disk surface is more significant. The roughness of DLC layer and disk surface protrusion result in an increase in the volume of lubricant transfer. Between these two, the effect of the disk surface protrusion is much more important than that of the DLC layer roughness.

lubricant transfer, surface topography, molecular dynamics simulation, head/disk interface

doi: 10.1360/N092014-00104