

# 패턴미디어에서의 슬라이더의 거동에 대한 연구

## Research of Slider Behavior over Patterned Media

김기훈\*, 김석환\*, 이용현\*, 이상직\*, 박노철\*, 박영필\*, 박경수†

Ki-Hoon Kim, Seokhwan Kim, Yonghyun Lee, SangJic Lee, No-Cheol Park,  
Young-Pil Park and Kyoung-Su Park

(2009년 8월 24일 접수; 2009년 9월 11일 심사완료; 2009년 9월 13일 게재확정)

### Abstract

This paper describes the effects of slider behavior over patterned media. The flying characteristics of a slider over patterned media are different from slider flying behavior over conventional plane disk. In order to perform the most realistic simulation of slider flying characteristics over patterned disk surfaces, our simulation approach virtually distributes the grooves on the slider ABS instead of on the disk surface. Also, we define SSFA which is steady-state slider flying attitude. The results show that the more patterned size is small and height is large, the more increased SSFA is. Also if patterned distance is small, then SSFA is increased. In addition, we analyzed the effects of patterned shapes.

**Key Words :** 패턴미디어(patterned media), 슬라이더의 움직임의 크기, 슬라이더의 거동 특성

### 1. 서론

고 용량의 자기기록장치의 수요는 점점 증가하고 있다. 따라서 저장용량을 증가시키기 위한 많은 연구들이 수행되고 있는데 특히 로드/언로드, 열 보조 자기기록 그리고 패턴미디어와 같은 기술들의 연구가 활발하게 연구되고 있다. 로드/언로드는 작동상태에 있지 않을 시에는 슬라이더가 램프 위에 놓여있고 작동 시에는 슬라이더가 미디어 위에 놓이게 되는 기술을 말한다. 따라서 텍스처 구조가 없기 때문에 부상높이를 줄여 저장용량을 증가시킬 수 있으며 램프에 의해 충격에도 강한 장점이 있다. 또한 자기기록 용량을 증가시키기 위해서는 미디어의 그레인 크기를 줄임으로써 용량을 증가시킬 수 있는데 그레인 크기를 줄이면 초

상자성 한계가 나타나게 된다. 초상자성 한계란 미디어의 자기의 극성이 열 적인 불안정성으로 인해 바뀌는 현상을 말한다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위한 방법중의 하나가 열 보조 자기기록 방식이다. 열 보조 자기기록방식은 보자력이 큰 미디어를 사용하여 그 미디어에 열을 가함으로써 순간적으로 보자력을 떨구고 기록하는 방식이다. 또한 보다 더 많은 정보저장 용량을 위한 기술은 패턴미디어를 사용하는 것이다. 패턴미디어 기술은 각각의 도메인을 서로 분리시켜 각각의 도메인이 인접한 도메인에 영향을 주지 못하도록 강제적으로 미디어의 간격을 분리하는 방법이다. 패턴미디어는 많은 연구가 진행되어 왔으며 진행되고 있다. 먼저 Tagawa and Bogoy [1]는 마이크로 텍스처 구조에서의 양압 슬라이더의 부상 성능에 대한 연구를 했으며, Peng et al. [2]는 터치다운의 압력을 측정함으로써 패턴미디어의 부상높이를 예측하기 위한 모델을 제시했다. Ohkubo and Mitsuya [3] and Hayashi et al. [4]는 평형상태의 슬라이더의 부상높이를 움직이는 텍스처 표면에서

† 연세대학교 기계공학과  
E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr  
TEL : (02) 2123 - 4677

\* 연세대학교 기계공학과

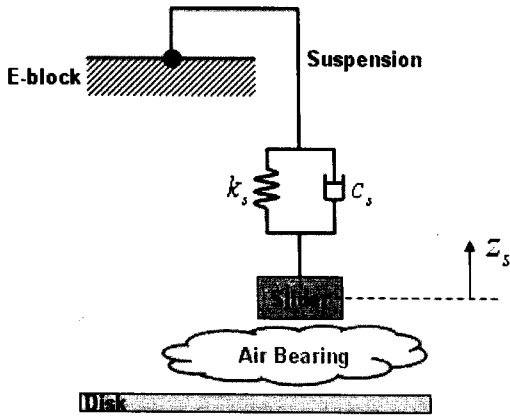


Fig.1 해석모델

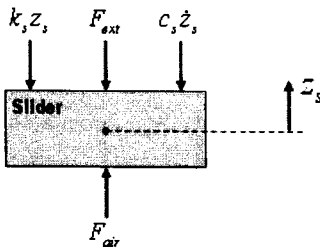


Fig.2 슬라이더의 자유물체도

연구하였고 Hu and Bogy [5] and Duwensee et al. [6]는 텍스처 구조의 미디어에서 슬라이더의 동적 현상에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 미디어 대신 가상의 패턴을 슬라이더 표면에 새겨 미디어와 같은 현상을 나타나게 하여 연구를 수행하였고 해석시간을 줄이기 위해 패턴의 크기 및 형상 등을 크게 해석하였다. 또한 슬라이더의 평형상태에서의 부상높이의 움직임의 크기를 정의하여 패턴의 형상 및 크기 그리고 높이에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과 폭과 거리의 비가 클수록 작은 슬라이더 움직임의 크기를 보였고 사각형의 패턴이 보다 큰 슬라이더 움직임의 크기를 보였다.

## 2. 수학적 모델링

### 2.1 공기베어링의 동적 모델

그림 1 은 해석모델에 대한 도식적인 그림이다. 슬라이더의 평형상태에서의 움직임의 크기를 구하는 것이 본 연구의 목적이기 때문에 모델링이 중

요하게 된다. 슬라이더의 수직방향 움직임은  $z$  이고 반면에 디스크의 수직방향 움직임은  $z_d$  이다. 공기베어링의 강성은  $k_a$  이고 공기베어링의 댄핑은  $c_a$  이다. 서스펜션의 강성은  $k_s$  이고 서스펜션의 댄핑은  $c_s$  이다. 그림 2 에서 보는 바와 같이 슬라이더의 움직임은 3 자유도 운동을 하게 된다. 뉴턴의 제 2 법칙을 이용하여 지배방정식을 구해보면 다음과 같다.

$$m_s \ddot{z} + c_s \dot{z} + k_s z = -F_{ext,z} + F_{air} = -F_{ext,z} + \iint_A (p - p_a) dA \quad (1)$$

$$I_\theta \ddot{\theta} + c_\theta \dot{\theta} + k_\theta \theta = -M_{ext,\theta} + \iint_A (p - p_a)(x_G - x) dA \quad (2)$$

$$I_\phi \ddot{\phi} + c_\phi \dot{\phi} + k_\phi \phi = -M_{ext,\phi} + \iint_A (p - p_a)(y_G - y) dA \quad (3)$$

방정식 (1)~(3)에서  $m_s$ ,  $I_\theta$  그리고  $I_\phi$  는 각각 슬라이더의 무게 피치방향의 관성모멘트 그리고 롤방향의 관성모멘트이다. 또한  $z$  는 수직 변위이며  $\theta$  와  $\phi$  는 각각 피치와 롤 각도이다.  $c_s$ ,  $c_\theta$  그리고  $c_\phi$  는 각각 서스펜션의 수직방향과 피치 그리고 롤방향에 대한 댄핑계수이다. 또한  $k_s$ ,  $k_\theta$  그리고  $k_\phi$  는 각각 서스펜션의 수직, 피치 그리고 롤방향에 대한 강성계수이다.  $x_G$  와  $y_G$  는 슬라이더의 각 방향에서의 무게 중심이다.  $F_{ext,z}$ ,  $M_{ext,\theta}$  그리고  $M_{ext,\phi}$  는 각각 수직, 피치와 롤방향에 대한 외부의 힘과 모멘트이다. 또한  $p_a$  는 대기 압력이며  $p$  는 레이놀즈 방정식에 의해 구해지는 압력이다.

### 2.2 패턴 슬라이더 모델

본 연구에 사용된 슬라이더는 1 인치 하드디스크에서 사용된 피코 슬라이더이다. 위에서 언급한 바와 같이 미디어에 패턴을 새기는 대신에 슬라이더에 가상의 패턴을 새겨 해석을 수행하게 된다. 또한 해석시간을 줄이기 위해 패턴의 크기를 크게 하여 해석하게 된다. 그림 3 에서 보는 바와 같이 가상의 패턴을 슬라이더 표면에 새기게 된다. 또한 패턴 슬라이더의 변수들에 대한 연구도 진행된다. 그림 4 에서 보는 바와 같이  $W$  는 패턴의 폭,  $D$  는 패턴과 패턴 사이의 거리 그리고  $H$  는 패턴의 높이, 즉, 그루브 깊이를 나타낸다. 슬라이더와 해석에 대한 정보는 표 1 에서 보는 바와 같다. 서스펜션의 프리로드는 1.6mN 이고 디스크의 회전 속도는 5400rpm 이다. 또한 패턴 변수는  $W/D = 1/2, 1, 2$  등과 같이 해석한다.

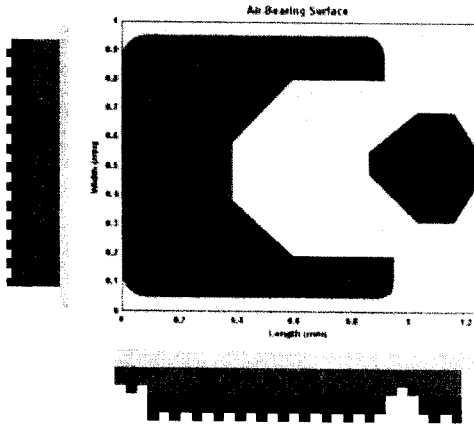


Fig.3 슬라이더 표면

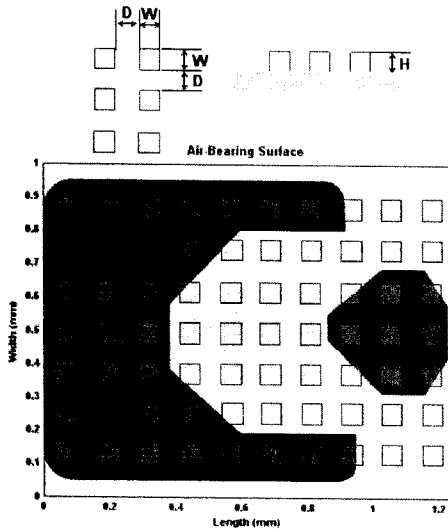


Fig.4 패턴 변수

### 3. 해석 결과

#### 3.1 평형 상태에서의 슬라이더의 움직임의 크기

평형상태에서의 슬라이더의 움직임의 크기는 그림 5 에서 보는 바와 같이 슬라이더의 움직임에서 최대값과 최소값 사이의 거리를 나타낸다. 일반 미디어에서의 슬라이더의 움직임의 크기는 패턴 미디어에서의 슬라이더 움직임의 크기보다 작다. 만약에 그 움직임의 크기가 크다면 슬라이더의 불안정성을 야기시키며 슬라이더와 디스크 사이의 충돌 가능성을 증가시킬 수 있기 때문에 그 크기는 중요한 인자가 된다.

Table1 슬라이더와 해석 조건

Title	Value	Unit
Slider length	1.235	mm
Slider width	1	mm
Slider height	0.3	mm
Taper length	0.3	mm
Taper angle	0.5	degree
Crown	30.48	nm
Camber	4.08	nm
Static load	1.6	mN
Disk rpm	5400	rpm
Pattern height	10	nm

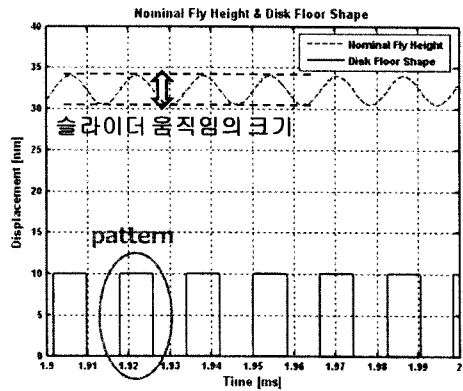


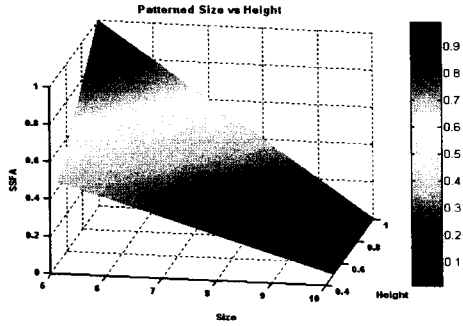
Fig.5 슬라이더의 움직임과 크기

#### 3.1.1 패턴 변수에 대한 경향

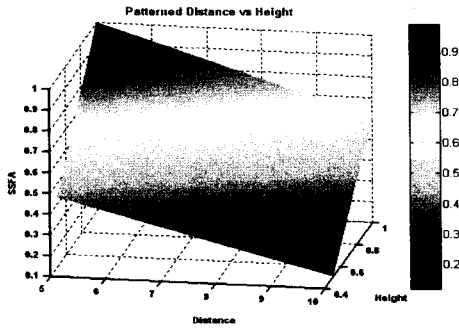
그림 6 에서 보는 바와 같이 슬라이더의 움직임의 크기는 패턴의 크기, 높이 그리고 거리에 대한 함수이다. 패턴의 크기가 작아지고 패턴의 높이가 높아질수록 그 크기는 증가하게 된다. 또한 패턴 사이의 거리가 증가할수록 감소하게 된다. 따라서 패턴 사이의 거리와 높이는 각각 크고 작게 설계하여야 한다. 또한 패턴의 크기는 커야 한다. 위와 같이 설계를 하게 되면 슬라이더의 움직임의 크기의 관점에서는 보다 작은 값을 가지므로 보다 더 안정한 슬라이더의 움직임을 예상할 수 있다.

#### 3.1.2 패턴 변수에 대한 경향

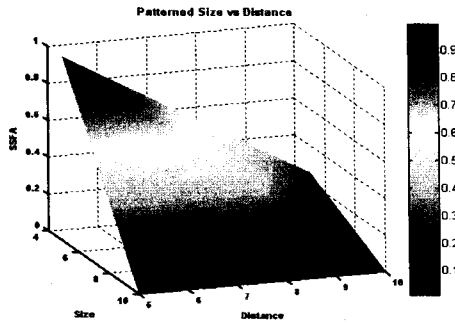
그림 6 에서 보는 바와 같이 슬라이더의 움직임



(a) 패턴크기와 높이



(b) 패턴거리와 높이



(c) 패턴크기와 거리

Fig.6 슬라이더 움직임의 크기에 대한 경향

의 크기는 패턴의 크기, 높이 그리고 거리에 대한 함수이다. 패턴의 크기가 작아지고 패턴의 높이가 높아질수록 그 크기는 증가하게 된다. 또한 패턴 사이의 거리가 증가할수록 감소하게 된다. 따라서 패턴 사이의 거리와 높이는 각각 크고 작게 설계하여야 한다. 또한 패턴의 크기는 커야 한다. 위와 같이 설계를 하게 되면 슬라이더의 움직임의 크기의 관점에서는 보다 작은 값을 가지므로 보다 더 안전한 슬라이더의 움직임을 예상할 수 있으며 부상 특성에 대한 안전성을 확보할 수 있다.

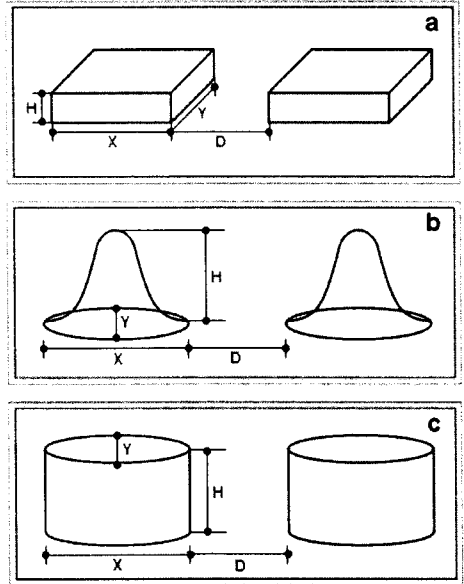
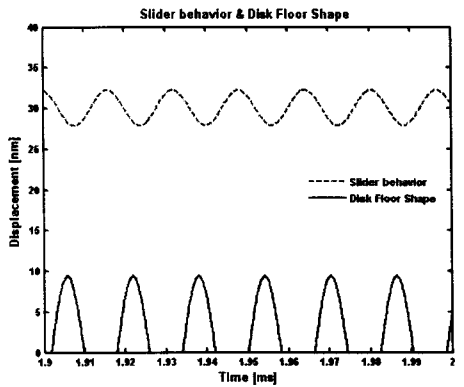
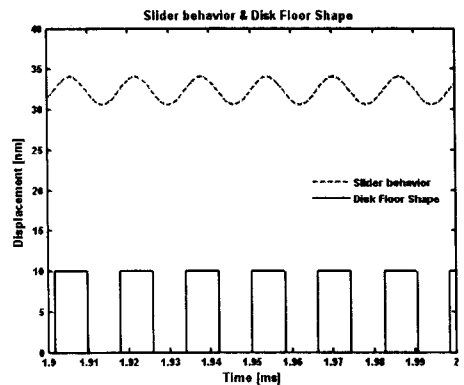


Fig.7 다양한 패턴 형상

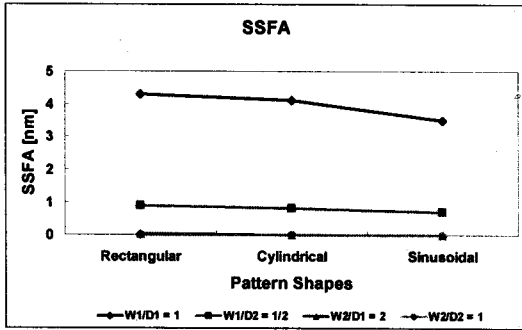


(a) 사인형상 패턴

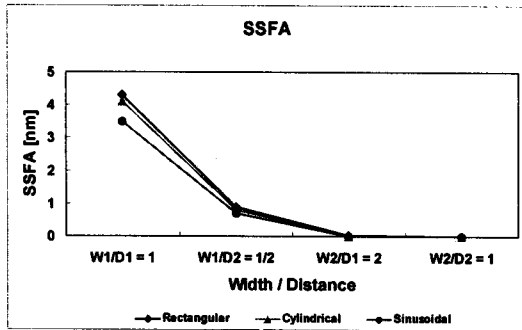


(b) 사각형과 원통형 패턴

Fig.8 패턴형상에 따른 슬라이더의 움직임



(a) 패턴형상과 슬라이더 움직임의 크기



(b) 패턴폭/패턴거리와 슬라이더 움직임의 크기

Fig.9 패턴폭/패턴거리와 패턴형상에 따른 슬라이더 움직임의 크기에 대한 경향

### 3.1.3 패턴 형상에 대한 경향

실제 패턴을 제작할 때 패턴의 형상이 조금씩 바뀔 수 있다. 따라서 본 연구에서는 패턴의 다양한 종류에 대한 연구를 수행한다. 즉 사각형 모양과 원통형 모양 그리고 사인형상이다. 그림. 7 은 다양한 패턴의 형상을 나타낸다. 그림 8 은 디스크의 움직임이 없다고 가정된 상태에서의 패턴의 형상과 평형상태에서의 슬라이더의 움직임을 나타낸다. 그림 8 (a)는 사인형상의 패턴이며 그림 8 (b)는 원통형과 사각형의 패턴형상이다. 원통형과 사각형의 패턴형상은 옆면이 같이 때문에 옆에서 보았을 때는 같은 형상을 나타내게 된다. 각각의 형상에 따른 슬라이더의 움직임의 크기와 패턴 변수에 대한 크기를 정리한 그림이 그림 9 에 보인다. 그림 9 에서 보는 바와 같이  $W1$ ,  $W2$  그리고  $D1$ ,  $D2$ 는 각각 패턴의 폭과 거리를 나타낸다.  $W1$  과  $D1$  의 두 배가  $W2$  와  $D2$  를 나타낸다. 그림 9 (a)는 패턴의 형상과 슬라이더의 움직임의 크기를 나타낸다. 거의 모든 경우에서 사각형 패

턴의 크기가 가장 크게 나타나며 반면에 사인형상의 패턴에서의 크기가 가장 작은 크기를 나타낸다. 물리적인 의미를 생각해 보면 사인형상과 비교하였을 때 사각형상의 패턴은 갑작스런 공기베어링의 적용 때문이다. 또한 사각형상과 원통형 모양의 패턴은 비슷한 경향을 보이는데 이유는 패턴형상의 윗면과 옆면의 크기가 서로 비슷하기 때문에 그 크기가 거의 차이가 없는 것으로 판단된다. 또한 그림 9 (b)는 패턴의 폭과 거리의 비에 대한 슬라이더 움직임의 크기를 나타낸다.  $W1/D1$  의 경우가 다른 것들에 비해 크게 나타난다. 또한  $W2$  혹은  $D1$  은  $W1$  혹은  $D2$  보다 슬라이더와 직면하는 면적이 크다. 따라서 슬라이더의 움직임의 크기가 상대적으로 작게 나타나게 된다. 같은 패턴의 폭에 대해서  $W/D$  의 값이 더 작아지면 슬라이더의 움직임의 크기가 작아지게 된다. 또한  $W/D$  의 영향은 각각의 영향에 비해 매우 작은 값을 가지게 된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 패턴 미디어에서의 슬라이더의 거동 특성에 대한 연구를 수행하였다. 특히 평형상태에서의 슬라이더의 움직임의 크기에 대한 연구를 수행하였다. 슬라이더의 움직임의 크기는 평형상태에서의 최대값과 최소값 사이의 거리를 말한다. 슬라이더의 움직임의 크기가 크면 슬라이더의 불안정성을 야기시키며 슬라이더와 디스크 사이의 충돌가능성을 증가시킬 수 있기 때문에 그 크기를 줄여야 한다. 따라서 패턴 사이의 거리와 크기를 증가시키고 높이를 감소하면 할수록 슬라이더의 움직임의 크기를 줄일 수 있다. 또한 패턴형상에 대한 연구도 수행되었다. 사인형상의 패턴이 사각형이나 원통형의 패턴보다 작은 크기를 나타냈다. 실제 패턴이 제작되면 실험으로써 본 연구의 타당성을 밝힐 것이며 보다 실제적인 패턴에 대한 연구를 수행할 것이다. 또한 패턴미디어 기술과 저장 용량을 증가시키기 위한 또 다른 기술인 열 보조 자기기록 기술을 접목한 연구를 수행할 것이다. 위의 연구가 가능하게 된다면 획기적으로 저장용량을 늘릴 수 있을 것으로 판단된다.

## 후기

본 연구는 연세대학교 정보저장기연구센터의 지원과 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. R17-2009-040-01001-0)

참고문헌

hard disk drives," ASME J Tribol 124(3): 568-574, 2002

[1] Tagawa, N., and Bogy, D. B., 2002, "Air Film Dynamics for Micro-Textured Flying Head Slider Bearings in Magnetic Hard Disk Drives," ASME J. Tribol., **124**, pp. 568-574.

[2] Peng, J., Wang, G., Thrivani, S., Chue, J., Nojaba, M., and Thayambali, P., 2006, "Numerical and Experimental Evaluation of Discrete Track Recording Technology," IEEE Trans. Magn., **42** [10], pp. 2462-2464.

[3] Ohkubo, T., and Mitsuya, Y., 1991, "An Experimental Investigation of the Moving Roughness Effect on Thin-Film Gas Lubricant for Flying Head Sliders," Adv. Inf. Storage Syst., **2**, pp. 127-136.

[4] Hayashi, T., Yoshida, H., and Mitsuya, Y., 2005, "Flying Characteristics of Head Sliders on Patterned Disk Surfaces," *Proc. of World Tribology Congress III*, Washington, DC, ASME, New York, Paper No. WTC2005-64390.

[5] Hu, Y., and Bogy, D. B., 1997, "Flying Characteristics of a Slider Over Textured Surface Disks," IEEE Trans. Magn., **33** [5], pp. 3196-3198.

[6] Duwensee, M., Suzuki, S., Lin, J., Wachenschwanz, D., and Talke, F. E., 2006, "Air Bearing Simulation of Discrete Track Recording Media," IEEE Trans. Magn., **42** [10], pp. 2489-2491.

[7] Tanaka, H., and Bogy, D. B., 1994, "Effects of Disk Surface Texture on Slider Flying Characteristics in Near Contact Interface," Technical Report No. 94-017, Computer Mechanics Laboratory, University of California, Berkeley.

[8] Wachenschwanz, D., Jiang, W., Roddick, E., Homola, A., Dorsey, P., Harper, B., Treves, D., and Bajorek, C., 2005, "Design of a Manufacturable Discrete Track Recording Medium," IEEE Trans. Magn., **41** [2], pp. 670-675.

[9] Hu Y and Bogy D. B., "Flying characteristics of a slider over textured surface disks," IEEE Trans Magn 33 (5): 3196-3198, 1997

[10] Kim JH and Shin KH, "Simulation of the head/disk interface between textured surfaces," IEEE Trans Magn 35 (5): 2418-2420, 1999

[11] Zhang J and F. E. Talke, "Sensitivity analysis of pico and femto sliders," Tribol Int 36: 379-387, 2003

[12] H.Tanaka and D. B. Bogy, D., "Effects of Disk Surface Texture on Slider Flying Characteristics in the Near Contact Interface," CML Report No.94-017, U.C. Berkeley

[13] R. M. Crone, M. S. Jhon, B. Bhushan, and T. E. Karis, "Modeling the Flying Characteristics of a Rough Magnetic Head Over a Rough Rigid-Disk Surface," *J. Trib.*, vol. 113, pp. 739-749, 1991

[14] M. H. Whal, and F. E. Talke, "Numerical Simulation of the Steady State Flying Characteristics of a SOYO Slider with Surface Texture," IEEE Trans. Magn., vol. 30, pp. 4122-4124, 1994

[15] Tagawa N and Bogy D. B., "Air film dynamics for micro-textured flying head slider bearings in magnetic