

폰 카메라용 전자기력 Flapping 셔터

최현영* · 한 원** · 조영호*,**†

* KAIST 기계공학과, ** KAIST 바이오및뇌공학과

Electromagnetic Flapping Shutters for Phone Cameras

Hyun-Young Choi*, Won Han** and Young-Ho Cho*,**†

* Dept. of Mechanical Engineering, KAIST,

** Dept. of Bio and Brain Engineering, KAIST,

(Received April 9, 2010 ; Revised June 28, 2010 ; Accepted July 7, 2010)

Key Words : Phone Camera Shutter(폰 카메라 셔터), Flapping Shutter(Flapping 셔터), Electromagnetic Actuator (전자기력 구동기), Lorentz Force(로렌츠 힘)

초록: 본 논문에서는 폰 카메라 응용을 위해 H 형 비틀림 스프링으로 지지된 한 쌍의 사다리꼴 셔터 블레이드를 이용하는 초소형, 저전력, 고속 전자기력 Flapping 셔터를 제안한다. 기존의 정전기력 Rolling 셔터와 Flapping 셔터는 폰 카메라 응용을 위해 큰 입력 전압이 필요하며, 기존의 전자기력 Rotating 셔터는 큰 부피로 인해 폰 카메라에 사용하기 어렵다. 본 논문에서 제안하는 전자기력 Flapping 셔터는 폰 카메라에 사용 가능한 작은 크기로 회전 구동을 위해 저장성 H 형 비틀림 스프링과 저관성 사다리꼴 블레이드로 설계하여 제작된다. 실험에서 전자기력 Flapping 셔터는 입력전류 60 mA 에서 자기장 0.15 T 와 0.30 T 에 대하여 각각 최대 오버슈트 회전각 $80.2 \pm 3.5^\circ$ 와 $90.0 \pm 1.0^\circ$ 와, 정상 상태 회전각 $48.8 \pm 1.4^\circ$ 와 $64.4 \pm 1.0^\circ$ 성능을 보인다. 응답 시간 성능에서는 셔터 개방의 경우, 1.0 ms/20.0 ms 의 상승/정착 시간을 보이며, 셔터 폐쇄의 경우는 1.7 ms/10.3 ms 의 하강/정착 시간을 보인다. 본 논문에서는 폰 카메라용 셔터 응용을 위해 제안하는 전자기력 Flapping 셔터의 초소형($\sim 8 \times 8 \times 2 \text{ mm}^3$), 저전력($\leq 60 \text{ mA}$), 고속($\sim 1/370 \text{ s}$) 성능을 실험적으로 검증하였다.

Abstract: In this study, we present small-size, low-power, and high-speed electromagnetic flapping shutters for phone cameras. These shutters are composed of trapezoidal twin blades suspended by H-type torsional springs. The existing electrostatic rolling and flapping shutters need high input voltage, while the existing electromagnetic rotating shutters are too big to be used for phone cameras. To achieve low-power and high-speed angle motion for small-size electromagnetic flapping shutters for camera phones, low-inertia trapezoidal twin blades, each suspended by the low-stiffness H-type torsional springs, are employed. The electromagnetic flapping shutters used in this experimental study have steady-state rotational angles of $48.8 \pm 1.4^\circ$ and $64.4 \pm 1.0^\circ$ in the magnetic fields of 0.15 T and 0.30 T, respectively, for an input current of 60 mA; the maximum overshoot angles are $80.2 \pm 3.5^\circ$ and $90.0 \pm 1.0^\circ$ in the magnetic fields of 0.15 T and 0.30 T, respectively. The rising/settling times of the shutter while opening are 1.0 ms/20.0 ms, while those while closing are 1.7 ms/10.3 ms. Thus, we experimentally demonstrated that the small-size ($\sim 8 \times 8 \times 2 \text{ mm}^3$), low-power ($\leq 60 \text{ mA}$), and high-speed ($\sim 1/370 \text{ s}$) electromagnetic flapping shutters are suitable for phone cameras.

- 기호설명 -

T : 전자기력 토크
 J : 관성 모멘트
 k : 비틀림 강성

b_s : 사다리꼴 윗변
 b_l : 사다리꼴 아랫변
 r : 사다리꼴 높이
 l_s : 비틀림 스프링 빔 길이
 w_s : 비틀림 스프링 빔 폭
 t_s : 비틀림 스프링 빔 두께
 w_l : 전기통로 폭

1. 서론

디지털 카메라 기술 및 정보 저장 능력의 발달로 인하여 고사양의 디지털 카메라 모듈의 장착이 점차 보편화되고 있는 추세이며, 최근에는 휴대폰 카메라에서도 백만 화소급 이상의 이미지 센서가 사용되고 있다. CCD 와 같은 이미지 센서는 광신호를 전기신호로 바꾸어 주는 소자로서, 스캐닝 과정 중에는 추가적인 빛을 차단해야 하는 셔터가 반드시 필요하다. 이미지 센서의 전류 온오프를 통한 기존의 전자식 셔터⁽¹⁾는 강한 광선을 촬영할 때 화면에 수직선이 형성되는 스미어(Smear)⁽²⁾ 현상으로 인해 고화질 이미지를 얻는데 한계를 가진다. 결국, 이미지 센서의 스캐닝 과정 중 불필요한 빛을 물리적으로 차단하여 고화질의 이미지를 얻기 위해서는 블레이드 차단막을 사용하는 기계식 셔터⁽³⁾가 필요하다.

폰 카메라용 기계식 셔터는 직경 2.2 mm⁽⁴⁾의 렌즈 관통공을 개폐하기 위하여, 8×8×1.5 mm³ 이하의 크기에서 2 V 와 100 mA 이하의 전력소모를 가지며 셔터속도 1/125 s 이하의 성능이 요구된다. 기존의 정전기력 Rolling 셔터⁽⁴⁾와 정전기력 Flapping 셔터⁽⁵⁾는 작은 부피로 구현할 수 있지만 높은 전압(30~95 V)이 필요하며, 기존의 전자기력 Rotating 셔터⁽³⁾는 빠른 셔터 속도(1/2000 s)로 인해 일반적인 디지털 카메라에서 주로 사용되고 있지만 링크 기구와 솔레노이드를 포함하는 큰 부피(15×8×3 mm³)와 큰 전력소모(>250 mA)로 인해 폰 카메라 응용에는 한계가 있다.

본 논문에서는 저장성 H 형 비틀림 스프링과 저관성 사다리꼴 블레이드를 사용하는 전자기력 Flapping 셔터를 제안하여 카메라 폰 셔터를 위한 초소형, 저전력, 고속 성능을 구현하고자 한다.

2. 설계 및 이론적 해석

2.1 셔터의 구조 및 원리

Figure 1 은 제안하는 전자기력 Flapping 셔터의 구조와 동작 원리를 보여준다. 전자기력 Flapping 셔터는 두 개의 자석 사이에서 비틀림 스프링에 매달린 한 쌍의 셔터 블레이드로 구성되어 있다. 셔터 블레이드는 셔터의 중앙에서 렌즈 관통공을 개폐할 수 있도록 위치해 있다.

자기장 B 사이에서 전기통로를 따라 전류 i 가 흐르면, 플레밍의 왼손 법칙에 따라 로렌츠 힘 F 가 생긴다.

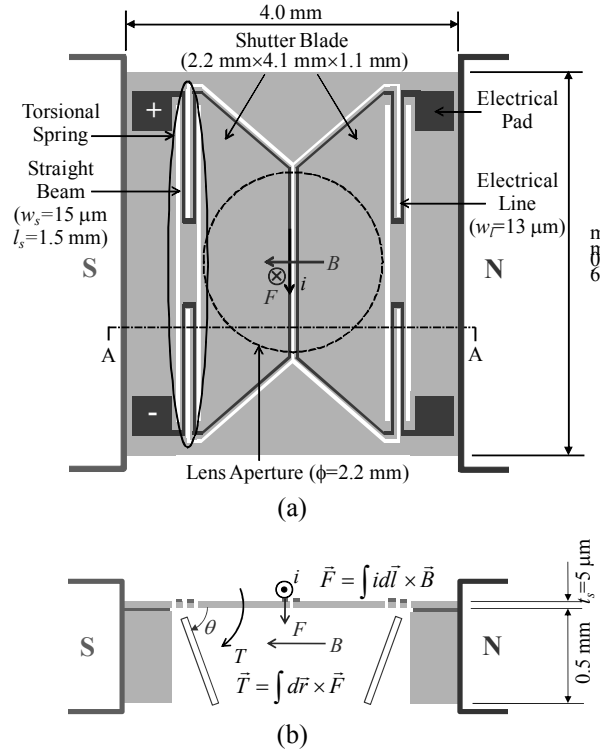


Fig. 1 The electromagnetic flapping shutter: (a) top view; (b) cross-section view across A-A' in (a)

$$\vec{F} = \int id\vec{l} \times \vec{B} \tag{1}$$

이 때, 로렌츠 힘 F 는 모멘트 암 r 과 벡터 곱에 의해 전자기력 토크 T 를 생성한다.

$$\vec{T} = \int d\vec{r} \times \vec{F} \tag{2}$$

결국, 전류 i 에 의해 제어되는 전자기력 토크에 의해 셔터 블레이드는 회전이동하여 렌즈 관통공을 개폐할 수 있게 된다.

본 연구에서 제안하는 전자기력 Flapping 셔터는 초소형, 저전력, 고속 셔터 성능을 구현해야 한다. 크기를 줄이기 위해서는 MEMS 공정을 이용하여 별도의 링크기구나 조립 공정이 필요 없도록 하였으며, 저전력 및 고속 회전 구동을 위해서는 전력 소모와 응답 시간 및 전자기력 토크를 분석하여 셔터의 모양과 크기를 설계한다.

2.1.1 비틀림 스프링

기계적인 응답의 정상상태(T=k·θ) 조건에서 전력 소모 P 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = i^2 R = \left(\frac{k\theta}{B \int dr \int dl} \right)^2 R \quad (3)$$

여기서, R 과 θ 는 각각 저항과 회전각을 나타낸다. 본 연구에서는 전력 소모 P 가 강성 k 의 제곱에 비례한다는 점에 착안하여, 전자기력 Flapping 셔터의 전력 소모를 줄이기 위해 4 개의 빔으로 구성된 저항성 H형 비틀림 스프링을 사용한다. H형 비틀림 스프링(Fig. 2(b))은 I형 비틀림 스프링(Fig. 2(a)) 2 개가 중앙에 연결된 것으로서 셔터 블레이드가 회전각 θ 만큼 회전할 때 각각의 I형 비틀림 스프링은 $\theta/2$ 씩 회전을 하게 되어 1 개의 I형 비틀림 스프링 강성⁽⁶⁾의 절반 값을 갖는 효과를 갖게 된다. H형 비틀림 스프링의 강성 k 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k = \frac{Gw_s t_s^3}{l_s} \left[\frac{1}{3} - 0.21 \frac{t_s}{w_s} \left(1 - \frac{t_s^4}{12w_s^4} \right) \right] \quad (4)$$

여기서 w_s, t_s, l_s, G 는 각각 비틀림 스프링을 구성하는 실리콘 빔의 폭, 두께, 길이, 전단계수를 의미한다. 회전 시 비틀림 스프링에 미치는 최대전단 응력 τ_{max} 는 다음과 같이 주어진다.

$$\tau_{max} = \frac{k}{w_s^2 t_s^2} (3w_s + 1.8t_s) \theta \quad (5)$$

비틀림의 경우, 회전 시 기계적인 변형을 방지하기 위해서는 최대전단응력⁽⁷⁾이 비틀림 스프링을 구성하는 실리콘 재료의 파단강도보다 작아야 한다.

2.1.2 셔터 블레이드

기계적인 응답에서 상승시간⁽⁸⁾ t_r 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_r = \frac{1}{\omega_n} A(\zeta) = \sqrt{\frac{J}{k}} A(\zeta) \quad (6)$$

여기서, $\omega_n, J, A(\zeta)$ 는 각각 고유진동수, 관성 모멘트, 감쇠 함수를 나타낸다. 본 연구에서는 상승시간 t_r 이 관성 모멘트 J 의 제곱근에 비례함에 착안하여, 전자기력 Flapping 셔터의 고속 응답을 위해 저관성 셔터 블레이드를 사용한다. 물론, 관성 모멘트를 줄이기 위하여 크기만을 줄이다 보면 전자기력 토크까지 줄어들 수 있는 문제가 있기 때문에 본 연구에서는 큰 토크를 유지한 채, 관성을 줄이기

위해 사다리꼴 모양의 셔터 블레이드를 설계하였다. 사다리꼴 셔터 블레이드의 관성 모멘트 J 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$J = \frac{\rho t r^3}{12} (3b_s + b_l) \quad (7)$$

여기서 b_s, b_l, r, t, ρ 는 각각 사다리꼴 실리콘 셔터 블레이드의 윗변, 아랫변, 높이, 두께, 밀도를 의미한다. 균등한 자기장 내에서 사다리꼴 셔터 블레이드에 미치는 전자기력 토크 T 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \int \frac{Bi \cos \theta}{2} (b_s + b_l) dr \quad (8)$$

식 (4), (7), (8)에서 구한 변수 k, J, T 와 감쇠계수 D ($D=2\zeta\sqrt{kJ}$)를 고려하여 회전각 θ 에 대한 운동방정식을 세우면 다음과 같다.

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + k\theta = T \quad (9)$$

2 차 미분방정식 형태로 주어지는 식 (9)의 운동방정식을 해석하면 전류 i 가 주어질 때의 시간에 대한 셔터 블레이드의 회전각을 예측할 수 있다.

Table 1 Comparison of the I-type and H-type torsional springs of Fig. 2

Characteristics	I-type	H-type
Beam width, w_s [μm]	15	15
Beam thickness, t_s [μm]	5	5
Beam length, l_s [mm]	1.5	1.5
Numbers of beams, N	2	4
Torsional stiffness*, k [N·m/rad]	3.46×10^{-8}	1.73×10^{-8}

*The torsional stiffness is based on the silicon shear modulus of 46.4 GPa.

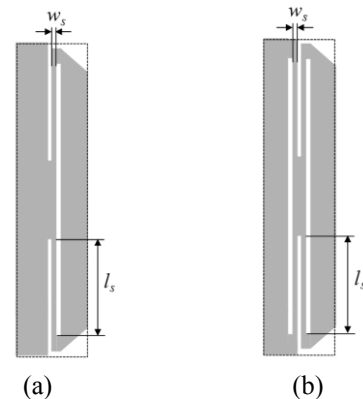


Fig. 2 Torsional spring: (a) I-type spring; (b) H-type spring

2.2 셔터 설계

Figure 2는 2개의 빔으로 구성된 기존의 I형 비틀림 스프링과 제안하는 H형 비틀림 스프링을 비교한 것이다. Table 1에서는 동일한 치수의 빔으로 구성할 경우, 제안하는 H형 비틀림 스프링의 강성이 기존의 I형 비틀림 스프링의 강성에 비하여 절반의 값을 가짐을 보여준다. 이 경우, H형 비틀림 스프링의 폭은 실리콘 웨이퍼의 후면 식각 공정 시의 안정성을 고려하여 15 μm로 설계하였으며, 두께는 SOI (Silicon On Insulator) 웨이퍼의 상층 실리콘 두께를 고려하여 5 μm로 설계하였다.

Figure 3는 기존의 사각형 셔터 블레이드와 제안하는 사다리꼴 셔터 블레이드를 비교한 것이다. Table 2에서는 사다리꼴 셔터 아랫변을 기준으로 동일한 변 ($b=b_l$)과 높이(r)를 갖는 사각형 모양의 구조일 경우, 제안하는 사다리꼴 셔터 블레이드가 기존의 사각형 셔터 블레이드에 비하여 전자기력 토크는 23%의 감소만을 유지한 채, 관성 모멘트는 35%까지 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 이 경우, 사다리꼴 셔터 블레이드의 윗변과 폭은 렌즈 관통공($\phi=2.2$ mm)에 맞도록 설계하였다. 비틀림 스프링의 길이와 셔터 블레이드의 아랫변의 길이는 자기장 0.15 T와 전류

Table 2 Comparison of the rectangular and trapezoidal shutter blades of Fig. 3

Characteristics	Rectangular	Trapezoidal
Base, b [mm]	4.1	2.1 (the shorter base, b_s) 4.1 (the longer base, b_l)
Height, r [mm]	1.1	1.1
Moment of inertia*, J [kg·m ²]	2.20×10^{-14}	1.44×10^{-14}
Electromagnetic torque**, T [N·m]	4.06×10^{-8}	3.12×10^{-8}

*The moment of inertia is based on the silicon density of 2330 kg/m³.

**The torque is estimated for the current of 60 mA and the magnetic field of 0.15 T at the rotational angle of 0°.

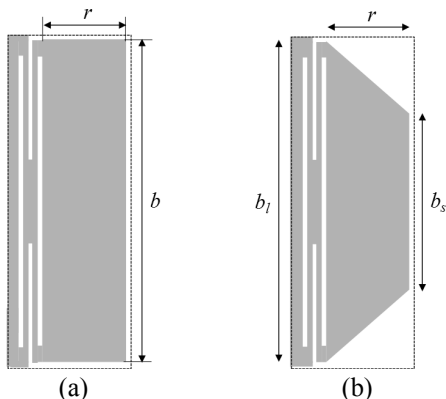


Fig. 3 Shutter blade: (a) rectangular blade; (b) trapezoidal blade

60 mA 조건에서 각 셔터 블레이드가 렌즈 관통공의 절반씩을 개폐할 수 있는 최소 길이로 설계하였다.

2.3 이론적 해석

Figure 4은 회전 시 발생하는 응력에 대한 이론적인 해석 결과를 보여 준다. 식 (5)의 이론적인 값은 시뮬레이션의 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있으며, 비틀림 스프링의 회전각 90°에서의 최대전단응력은 239 MPa로서, 실리콘의 파단강도 1.1 GPa⁽⁹⁾보다 작다.

Figure 5는 식 (8)을 근거로 얻은 다양한 회전각에 대한 전자기력 토크를 보여준다. 전자기력 토크는 회전각 0~90°에 대하여 0~3.12×10⁻⁸ N·m의 값을 갖는다.

Figure 6은 Table 1과 2의 치수를 근거로 식 (9)의 운동방정식을 해석한 시간에 따른 이론적인 회전각 응답을 보여준다. 자기장 0.15 T와 전류 60 mA의 사각파입력에 대한 출력 응답은 Fig. 6에서 보여지듯이, 초기 오버슈트 이후에 진동을 반복하다가 정상 상태에 도달하게 된다. 예측된 최대 오버슈트 회전각(θ_o)과 정상 상태의 회전각(θ_s)은 각각 90.0°와 57.3°였고, 상승 시간(t_r)과 정착 시간(t_s)은 각각 1.2 ms와 16.9 ms였다. 상승 시간 결과

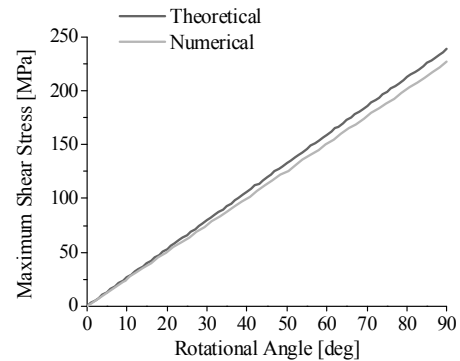


Fig. 4 Maximum shear stress of the torsional spring for varying rotational angles

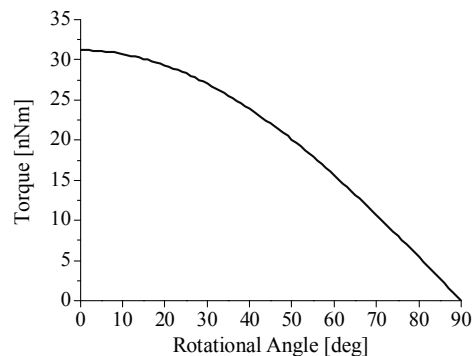


Fig. 5 Electromagnetic torque of the shutter blade for varying rotational angles

로부터 예측되는 최대 셔터 속도는 1/450 s 이며, 이 값은 카메라용 응용을 위한 속도 요구사항(<1/125 s) 을 만족할 수 있음을 보여준다.

Figure 7 은 네오디뮴(NdFeB) 재질의 두 개의 영구 자석 사이에서의 자기장 시뮬레이션 결과를 보여준다. 2×8×2 mm³ 크기의 네오디뮴 자석은 간극의 가운데에서 0.158 T 가 발생하며, 이러한 자석의 크기와 배치는 본 실험에서 요구하는 자기장의 세기를 구현할 수 있음을 알 수 있다. 두 개의 자석을 포함한 전체 소자의 크기는 8×8×2 mm³ 이므로 폰 카메라 응용을 위한 초소형 셔터 크기 (~8×8×1.5 mm³) 수준을 만족한다.

3. 제작 공정

Figure 8 은 전자기력 Flapping 셔터의 공정 순서도이다. 전자기력 Flapping 셔터는 상층 실리콘 5 μm 를 갖는 SOI 웨이퍼(Fig. 8(a))로 제작한다. 웨이퍼 전면에 절연층으로 SiO₂ 를 증착(Fig. 8(b))하고, Etch Mask 를 형성하기 위하여 후면에 SiO₂ 를

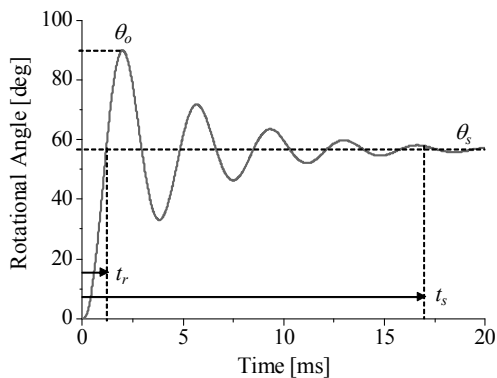


Fig. 6 Theoretical rotational angle response of the shutter blade

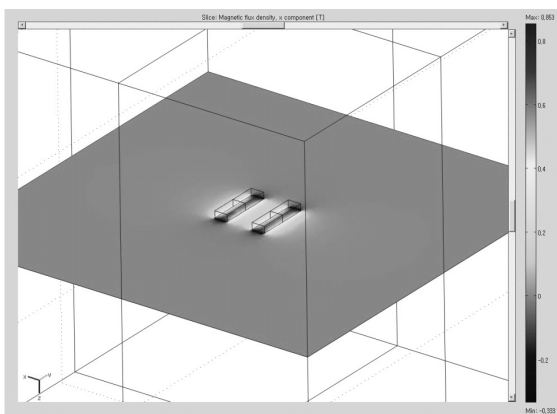


Fig. 7 Magnetic field distribution between two rectangular permanent magnets (NdFeB, 2×8×2 mm³)

증착(Fig. 8(b))하여 패터닝(Fig. 8(c))한다. 전기통로 형성을 위해 Cr/Au 를 증착(Fig. 8(d))하여 패터닝(Fig. 8(e))하고, 전면 실리콘을 DRIE (Deep Reactive Ion Etching)로 패터닝(Fig. 8(f))하여 셔터 블레이드와 비틀림 스프링을 형성하게 된다. 렌즈 관통공을 형성하기 위해 실리콘 후면 DRIE 공정(Fig. 8(g))을 하게 되며, Buried-Oxide 는 BOE (Buffered Oxide Etchant)에 의해 제거(Fig. 8(h))시켜 셔터 블레이드와 비틀림 스프링 구조를 릴리즈시킨다. 여

Table 3 Designed and measured dimensions of the electromagnetic flapping shutter of Figs. 1, 2, and 3

Characteristics		Dimensions [μm]	
		Desinged	Measured
Shutter blade	The shorter base, b_s	2,200	2,200±100
	The longer base, b_l	4,100	4,100±100
	Height, r	1,100	1,100±100
Torsional spring beam	Length, l_s	1,500	1,500±100
	Width, w_s	15	15.2±0.1
	Thickness, t_s	5	5.2±0.1
Electrical line	Width, w_l	13	12.8±0.1

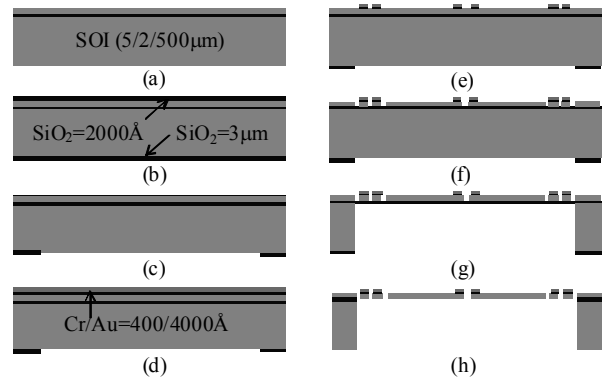


Fig. 8 Fabrication process for the cross-section across A-A' in Fig. 1(a).

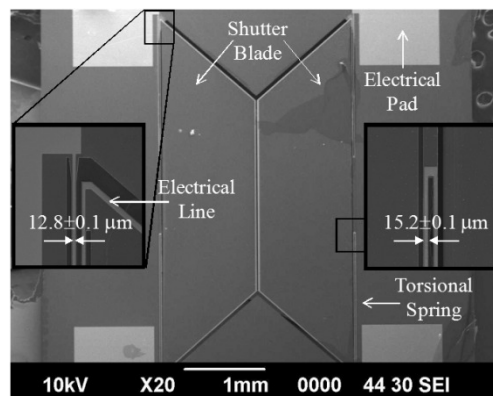


Fig. 9 SEM photograph of the fabricated electromagnetic flapping shutter

기서, 실리콘 후면 DRIE 공정 시는 전면 실리콘을 PR(AZP4620)로 보호하여 Buried-Oxide 의 응력으로 인한 전면 실리콘 층의 변형을 방지한다. Figure 9 는 제작된 소자의 SEM (Scanning Electron Microscope) 사진이고, Table 3 은 전자기력 Flapping 셔터의 측정된 치수를 정리한 것이다.

4. 측정 결과 및 고찰

제작된 전자기력 Flapping 셔터로부터 자기장 사이에서 입력 전류를 변화시켜가며 주파수 응답, 회전각, 응답 시간을 측정하였다. 자기장은 네오디뮴(NdFeB) 자석(5×20×10 mm³) 2 개를 갖는 지그를 사용하여 자석 사이의 거리를 조절하여 0.15 T 와 0.3 T 의 세기를 구현하였다. 주파수 응답은 LDV (Laser Doppler Vibrometer)를 이용하여 측정하였고, 회전각과 응답 시간은 고속카메라를 이용하여 측정하고 이미지를 분석하여 결과를 얻었다.

4.1 주파수 응답

Figure 10 은 자기장 0.30 T 에서 주파수 $I_0=0.2$ mA 인 사인 입력 전류로 구동하는 전자기력 Flapping 셔터의 주파수 응답을 보여준다. 주파수는 100 Hz 부터 1 kHz 까지 스윕핑 하였다. 측정된 주파수응답 결과(Fig. 10)로부터 172 Hz 의 공진주파수(f_r)와 15.6 의 Q 값을 측정하였다. 여기서, 공진주파수는 비틀림 스프링의 강성과 관성 모멘트의 함수이므로, 실리콘의 전단계수 G 는 아래 식 (10)과 같이 나타낼 수 있으며, 측정된 치수(Table 3)와 공진주파수 값을 토대로 46.4 GPa 의 실리콘 전단 계수를 얻었다.

$$G = \frac{4\pi^2 f_r^2 J l_s}{w_s t_s^3} \left[\frac{1}{3} - 0.21 \frac{t_s}{w_s} \left(1 - \frac{t_s^4}{12w_s^4} \right) \right] \quad (10)$$

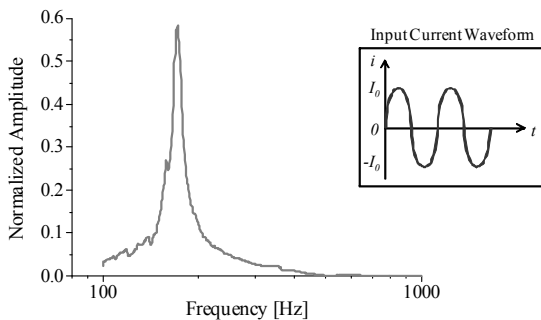


Fig. 10 Frequency response of the electromagnetical flapping shutter driven by $I_0=0.2$ mA sinusoidal input current in the magnetic field of 0.30 T

4.2 회전각

Figure 11 은 자기장 0.15 T 와 0.30 T 각각에서 1 Hz 의 입력 전류(I_0)에 대한 정상 상태의 회전각에

Table 4 Maximum overshoot and steady-state rotational angles depending on the magnetic field for the square input current of $I_0=60$ mA

Magnetic field	Maximum overshoot rotational angle		Steady-state rotational angle	
	Theor.*	Exp.	Theor.*	Exp.
0.15 T	90.0 °	80.2±3.5 °	56.7 °	48.8±1.4 °
0.30 T	90.0 °	90.0±1.0 °	70.1 °	64.4±1.0 °

*The theoretical values are based on the dimensions of Table 3, the damping ratio of 0.03, and the silicon shear modulus of 46.4 GPa.

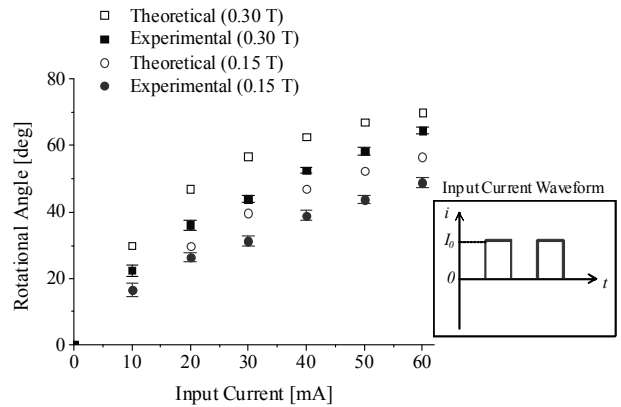


Fig. 11 Steady-state rotational angles for varying square input current (I_0) of 1 Hz in the magnetic field of 0.15 T and 0.30 T, respectively

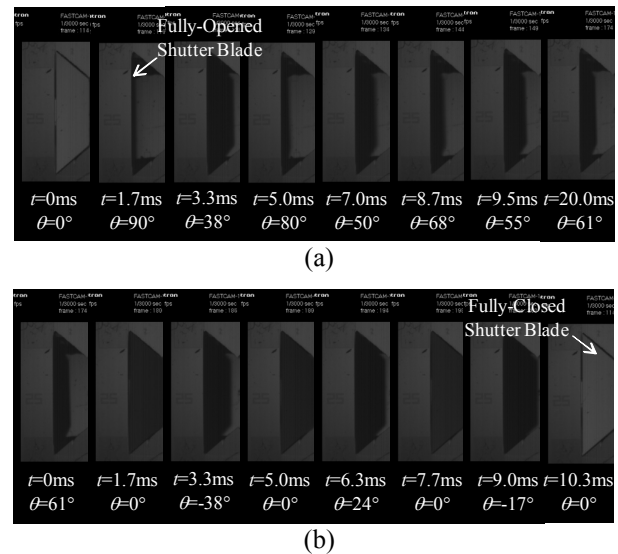


Fig. 12 High-speed camera (3,000 fps) images of a shutter blade driven by 10 Hz square input current of $I_0=60$ mA in the magnetic field of 0.30 T: (a) time-dependent rotational angle during shutter opening process; (b) time-dependent rotational angle during shutter closing process

대한 이론치와 실험치를 정리한 것이다. 실험치는 이론치와 최대 오차 12.9° 내에서 일치한다. 오차의 원인은 두 자석 사이에 미치는 불균일한 자기장 분포에서 기인하는 것으로서, 실험에서 셔터 블레이드의 회전 시, 셔터 블레이드에 영향을 주는 자기장은 ± 0.05 T 정도의 변화가 예측되며 이것으로 발생하는 오차는 10.0°이다. $I_0=60$ mA의 사각과 입력 전류에 대한 최대 오버슈트 회전각과 정상 상태의 회전각은 Table 4에 정리하였다. 최대 오버슈트 회전각은 자기장 0.15 T에서 $80.2 \pm 3.5^\circ$, 자기장 0.30 T에서 $90.0 \pm 1.0^\circ$ 를 보이고, 정상 상태의 회전각은 자기장 0.15 T에서 $48.8 \pm 1.4^\circ$, 자기장 0.30 T에서 $64.4 \pm 1.0^\circ$ 를 보인다. 셔터 블레이드의 전기선에서 측정된 저항은 52.4Ω 으로서 최대 전류 60 mA에서 소모되는 전력은 189 mW이다. 이러한 결과는 제안하는 전자기력 Flapping 셔터가 60 mA 이하의 저전류에서 대변위 회전각 구동이 가능하다는 것을 의미한다.

4.3 응답 시간

Figure 12는 자기장 0.30 T에서 $I_0=60$ mA의 10 Hz 사각과 입력 전류로 구동하는 셔터 블레이드의 고속 카메라 (3,000 fps) 이미지를 보여준다. 셔터가 열릴 때 (Fig. 12(a)), 측정된 상승/정착 시간은 1.0 ms/20.0 ms 였으며, 셔터가 닫힐 때 (Fig. 12(b)), 상승/정착 시간은 1.7 ms/10.3 ms 였다. 측정된 상승 시간의 결과로부터 얻은 최대 셔터 속도는 1/370 s 였다. 이러한 결과는 폰 카메라 응용을 위해 요구되는 셔터 속도(<1/125) 성능을 만족하는 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 저장성 H 형 비틀림 스프링에 매달린 한 쌍의 저관성 사다리꼴 블레이드를 사용하는 전자기력 Flapping 셔터를 설계, 제작하여 그 성능을 측정하였다. 제작된 셔터의 크기는 $4 \times 6 \times 0.5$ mm³이며, 자석을 포함할 경우, 전체 크기는 $8 \times 8 \times 2$ mm³이다. 실험에서 전자기력 Flapping 셔터는 60 mA의 저전류에서 최대 오버슈트 회전각은 $80.2 \pm 3.5^\circ$ (0.15 T)과 $90.0 \pm 1.0^\circ$ (0.30 T)로 측정되었으며, 정상 상태의 회전각은 $48.8 \pm 1.4^\circ$ (0.15 T)와 $64.4 \pm 1.0^\circ$ (0.30 T)가

측정되었다. 또한, 측정된 개폐시의 상승시간 1.0 ms (Opening)과 1.7 ms (Closing)으로부터 최대 셔터속도 1/370를 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 폰 카메라 응용을 위해 제안된 전자기력 Flapping 셔터의 초소형, 저전력, 고속 성능을 실험적으로 검증하였다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부/한국과학재단 창의적연구진흥사업(디지털나노구동연구단)인 "생체모사 기법을 응용한 디지털나노구동기관의 구현에 관한 연구" 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Kim, C.-H., Kim, W.-D., Kwon, J.-O. and Jung, K.-D., 2009, "Micro Shutter Having Iris Function, Method for Manufacturing the Same, and Micro Camera Module Having the Same," U.S. Patent 2009/0142050.
- (2) Kawamura, S., 1998, "Capturing Images with Digital Still Cameras," *IEEE Micro*, Nov.-Dec, pp.14~19.
- (3) Jung, J., Lee, K. T., Lee, J., Lee, M. H., Hong, S.-N. and Ko, E.-S., 2005, "Camera Module Actuator and Electromechanical Shutter for Mobile Phone," *The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, pp.740~743.
- (4) Kim, C.-H., Jung, K.-D. and Kim, W., 2009, "A Wafer-Level Micro Mechanical Global Shutter for Micro Camera," *Conf. on IEEE MEMS 2009*, pp.156~159.
- (5) Takahashi, T., Mita, M., Fujita, H. and Toshiyoshi, H., 2005, "Electrostatic Micro-Shutter Array for Infrared Spectrograph," *Conf. on IEEE/LEOS Optical MEMS 2005*, pp.156~159.
- (6) Hao, Z., Wingfield, B., Whitley, M., Brooks, J. and Hammer, J. A., 2003, "A Design Methodology for a Bulk-Micromachined Two-Dimensional Electrostatic Torsion Micromirror," *J. Microelectromech. Syst.*, Vol.12, pp.692~701.
- (7) Norton, R. L., 2000. "Machine Design," Prentice-Hall, Ch.5.
- (8) Ogata, K., 1998, "System Dynamics," Prentice-Hall, Ch.8.
- (9) Wilson, C. J. and Beck, P. A., 1996, "Fracture Testing of Bulk Silicon Microcantilever Beams Subjected to a Side Load," *J. Microelectromech. Syst.*, Vol.5, pp.142~150.