



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년07월16일
 (11) 등록번호 10-0908187
 (24) 등록일자 2009년07월09일

(51) Int. Cl.
G02B 26/08 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2007-0083196
 (22) 출원일자 2007년08월20일
 심사청구일자 2007년08월20일
 (65) 공개번호 10-2008-0021506
 (43) 공개일자 2008년03월07일
 (30) 우선권주장
 JP-P-2006-00231662 2006년08월29일 일본(JP)
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020040020864 A*
 US05969465 A1*
 KR1020020072411 A
 US5969465 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
후지쯔 가부시끼가이샤
 일본국 가나가와켄 가와사키시 나카하라꾸 가미고
 다나카 4초메 1-1
 (72) 발명자
쯔보이 오사무
 일본 가나가와켄 가와사키시 나카하라꾸 가미고다
 나카 4초메 1-1후지쯔 가부시끼사이가 내
고오마 노리나오
 일본 가나가와켄 가와사키시 나카하라꾸 가미고다
 나카 4초메 1-1후지쯔 가부시끼사이가 내
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
성재동, 장수길

전체 청구항 수 : 총 4 항

심사관 : 이상웅

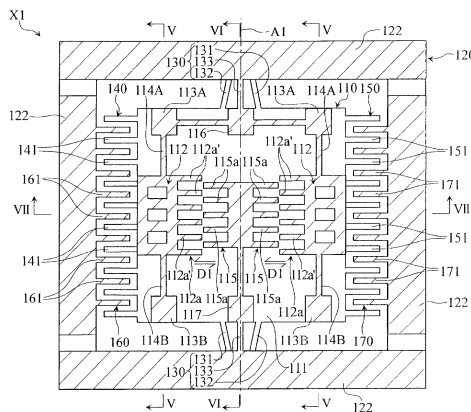
(54) 마이크로 요동 소자

(57) 요약

본 발명의 과제는 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수를 조정하는 데 적합한 마이크로 요동 소자를 제공하는 것이다.

본 발명의 마이크로 요동 소자(X1)는, 예를 들어 요동부(110)와, 프레임(120)과, 요동부(110) 및 프레임(120)을 연결하여 프레임(120)에 대한 요동부(110)의 요동 동작에 있어서의 요동 축심(A1)을 규정하는 연결부(130)를 구비한다. 요동부(110)는 요동 메인부(111) 및 요동 메인부(111)에 부착되고 또한 요동 축심(A1)과 교차하는 방향으로 변이 가능한 스프링부(112)를 갖는다.

대표도



(72) 발명자

소네다 히로미즈

일본 가나가와켄 가와사키시 나카하라꾸 가미고다
나카 4초메 1-1후지쥬 가부시끼사이가 내

오쿠다 히사오

일본 가나가와켄 가와사키시 나카하라꾸 가미고다
나카 4초메 1-1후지쥬 가부시끼사이가 내

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

요동부와,

프레임과,

상기 요동부 및 상기 프레임을 연결하고, 또한 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부를 구비하고,

상기 연결부는, 서로 병렬하는 제1 토션 바아와 제2 토션 바아를 포함하고,

상기 제1 토션 바아와 제2 토션 바아의 거리를 변화시키는 가동부 변이 기구가 설치되어 있는 마이크로 요동 소자.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 요동부는 요동 메인부와, 상기 요동 메인부에 부착되고 또한 상기 요동 축심과 교차하는 방향으로 변이 가능한 제1 가동부를 갖고, 상기 프레임은 프레임 메인부와, 상기 프레임 메인부에 부착되고 또한 상기 제1 가동부와 동일 방향으로 변이 가능한 제2 가동부를 갖고, 상기 연결부에 포함되는 하나의 토션 바아는 상기 제1 및 제2 가동부를 연결하는 마이크로 요동 소자.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 요동부는 상기 요동 메인부에 고정된 제1 빗살형 전극을 갖고, 상기 프레임 메인부는 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극을 갖는 마이크로 요동 소자.

청구항 8

제6항 또는 제7항에 있어서, 상기 가동부 변이 기구는 상기 프레임 메인부에 고정된 제1 빗살형 전극과, 상기 제2 가동부에 설치되고 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극을 갖는 마이크로 요동 소자.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

<1> 본 발명은, 예를 들어 마이크로 미러 소자나, 가속도 센서, 각속도 센서 등, 미소한 요동부를 갖는 마이크로 요동 소자에 관한 것이다.

배경 기술

<2> 최근, 여러 기술 분야에 있어서, 마이크로머시닝(micro-machining) 기술에 의해 형성되는 미소 구조를 갖는 소자의 응용화가 도모되고 있다. 그러한 소자에는, 예를 들어 마이크로 미러 소자나, 가속도 센서, 각속도 센서 등, 미소한 가동부 내지 요동부를 갖는 마이크로 요동 소자가 포함된다. 마이크로 미러 소자는, 예를 들어 광 디스크 기술이나 광 통신 기술의 분야에 있어서, 광 반사 기능을 담당하는 소자로서 이용된다. 가속도 센서 및 각속도 센서는, 예를 들어 로봇의 자세 제어나 카메라의 손 떨림 방지 등의 용도에서 이용된다.

<3> 마이크로 미러 소자는, 광을 반사하기 위한 미러면을 구비하고, 상기 미러면의 요동에 의해 빛의 반사 방향을 변화시킬 수 있다. 미러면을 요동시키기 위해 정전력을 이용하는 정전(靜電) 구동형 마이크로 미러 소자가, 많은 장치에서 채용되어 있다. 정전 구동형 마이크로 미러 소자는, 이른바 표면 마이크로머시닝 기술에 의해 제조되는 마이크로 미러 소자와, 이른바 벌크 마이크로머시닝(bulk micro-machining) 기술에 의해 제조되는 마이크로 미러 소자로, 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

<4> 표면 마이크로머시닝 기술에서는, 기판 상에 있어서, 각 구성 부위에 대응하는 재료 박막을 원하는 패턴으로 가공하고, 이러한 패턴을 순차 적층함으로써 지지체, 미러면 및 전극부 등, 소자를 구성하는 각 부위나, 이후에 제거되는 희생층을 형성한다. 한편, 벌크 마이크로머시닝 기술에서는, 재료 기판 자체를 에칭함으로써 지지체나 미러부 등을 원하는 형상으로 성형하고, 필요에 따라서 미러면이나 전극을 박막 형성한다. 벌크 마이크로머시닝 기술에 대해서는, 예를 들어 하기의 특허 문헌 1 내지 3에 기재되어 있다.

<5> [특허 문헌 1]

<6> 일본 특허 출원 공개 평10-190007호 공보

<7> [특허 문헌 2]

<8> 일본 특허 출원 공개 평10-270714호 공보

<9> [특허 문헌 3]

<10> 일본 특허 출원 공개 제2000-31502호 공보

<11> 마이크로 미러 소자에 요구되는 기술적 사항의 하나로서, 광 반사를 담당하는 미러면의 평면도가 높은 것을 들 수 있다. 그러나, 표면 마이크로머시닝 기술에 따르면, 최종적으로 형성되는 미러면이 얇기 때문에 미러면이 만족되기 쉽고, 따라서 넓은 면적의 미러면에 있어서 높은 평면도를 달성하는 것이 곤란하다. 이에 대해, 벌크 마이크로머시닝 기술에 따르면, 상대적으로 두꺼운 재료 기판 자체를 에칭 기술에 의해 깎아 넣어 미러부를 구성하여 상기 미러부 상에 미러면을 마련하므로, 넓은 면적의 미러면이라도 그 강성을 확보할 수 있다. 그 결과, 충분히 높은 광학적 평면도를 갖는 미러면을 형성하는 것이 가능하다.

<12> 도26 및 도27은 벌크 마이크로머시닝 기술에 의해 제작되는 종래의 정전 구동형 마이크로 미러 소자(X4)를 나타낸다. 도26은 마이크로 미러 소자(X4)의 분해 사시도이고, 도27은 조립된 상태의 마이크로 미러 소자(X4)에 있어서의 도26의 선 XXVII-XXVII를 따른 단면도이다.

<13> 마이크로 미러 소자(X4)는, 미러 기판(40)과 베이스 기판(46)이 적층되는 구조를 갖는다. 미러 기판(40)은 미러부(41)와, 프레임(42)과, 이들을 연결하는 한 쌍의 토션 바(43)로 이루어진다. 도전성을 갖는 실리콘 기판 등의 소정의 재료 기판에 대해, 그 한쪽 면측으로부터 에칭을 실시함으로써, 미러 기판(40)에 있어서의 미러부(41), 프레임(42) 및 한 쌍의 토션 바(43)의 외곽 형상을 성형할 수 있다. 미러부(41)의 표면에는 미러면(44)이 마련되어 있다. 미러부(41)의 이면에는, 한 쌍의 전극(45a, 45b)이 설치되어 있다. 한 쌍의 토션 바(43)는 미러부(41)의 후술하는 회전 동작에 있어서의 축심(A4)을 규정한다. 베이스 기판(46)에는 미러부(41)의 전극(45a)에 대향하는 전극(47a) 및 전극(45b)에 대향하는 전극(47b)이 설치되어 있다.

<14> 마이크로 미러 소자(X4)에 있어서, 미러 기판(40)의 프레임(42)에 전위를 부여하면, 프레임(42)과 동일한 도

체 재료에 의해 일체적으로 성형되어 있는 한 쌍의 토션 바아(43) 및 미러부(41)를 통해 전극(45a) 및 전극(45b)에 전위가 전달된다. 따라서, 프레임(42)에 소정의 전위를 부여함으로써, 전극(45a, 45b)을 예를 들어 플러스로 대전시킬 수 있다. 이 상태에 있어서, 베이스 기관(46)의 전극(47a)을 마이너스로 대전시키면, 전극(45a)과 전극(47a)의 사이에 정전 인력이 발생하여, 미러부(41)는 한 쌍의 토션 바아(43)를 비틀면서 도27에 도시하는 바와 같이 화살표 M4의 방향으로 회전한다. 미러부(41)는, 전극 사이의 정전 인력과 각 토션 바아(43)의 비틀림 저항력의 총합이 균형이 맞는 각도까지 요동할 수 있다. 이 대신에, 미러부(41)의 전극(45a, 45b)을 플러스로 대전시킨 상태에서 전극(47b)을 마이너스로 대전시키면, 전극(45b)과 전극(47b)의 사이에 정전 인력이 발생하여, 미러부(41)는 화살표 M4와는 반대 방향으로 회전한다. 이상과 같은 미러부(41)의 요동 구동에 의해, 미러면(44)에 의해 반사되는 빛의 반사 방향을 전환할 수 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <15> 요동부를 갖는 마이크로 요동 소자에 있어서, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수 내지 공진 주파수는, 요동부의 동작 속도나 동작 진폭(요동 각도의 최대치)에 대해 결정적인 영향을 미치는 중요한 특성이다. 종래의 마이크로 요동 소자에 있어서, 소자를 일단 완성한 후에 요동부의 고유 진동수를 조정하기 위해서는, 레이저나 집속 이온 빔(focused ion beam)을 이용한 트리밍 가공을 요동부에 대해 실시함으로써, 상기 요동부를 깎아 상기 요동부의 질량에 따라서 관성을 감소시키거나, 혹은 요동부와 프레임(고정부)을 연결하는 연결부에 대해 트리밍 가공을 실시함으로써, 상기 연결부를 깎아 상기 연결부의 비틀림 스프링 상수를 감소시킬 필요가 있다(요동부의 관성이 작을수록 상기 고유 진동수는 큰 경향이 있고, 연결부의 비틀림 스프링 상수가 작을수록 상기 고유 진동수는 작은 경향이 있음). 예를 들어, 마이크로 미러 소자(X4)에 있어서 미러부(41)(요동부)의 고유 진동수를 조정하기 위해서는, 트리밍 가공을 미러부(41)에 실시함으로써 미러부(41)의 관성을 감소시키거나, 혹은 미러부(41)와 프레임(42)(고정부)을 연결하는 토션 바아(43)에 대해 트리밍 가공을 실시함으로써 토션 바아(43)의 비틀림 스프링 상수를 감소시킬 필요가 있다. 소자를 일단 완성한 후에 요동부의 고유 진동수를 조정할 필요성은, 설계상 동일한 마이크로 요동 소자를 웨이퍼에 대한 일괄 가공에 의해 대량 생산하는 경우에 특히 높다. 대량 생산의 경우, 요동부나 연결부에 있어서의 가공 치수의 오차에 기인하여, 소자 사이에 고유 진동수의 변동을 발생시켜 버리기 때문이다.
- <16> 그러나, 상술한 바와 같은 사후적인 기계적 가공(트리밍 가공)에 의한 고유 진동수의 조정은, 마이크로 요동 소자의 제조 과정의 증가 및 제조 비용의 상승을 초래해, 바람직하지 않다. 또한, 상술한 바와 같은 사후적인 기계적 가공에 따르면, 요동부의 관성이나 연결부의 비틀림 스프링 상수가 감소하도록 조정할 수밖에 없어, 요동부의 고유 진동수의 조정에 있어서의 자유도가 낮다.
- <17> 본 발명은, 이러한 사정을 기초로 고안된 것이며, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)를 조정하는 데 적합한 마이크로 요동 소자를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결수단

- <18> 본 발명의 제1 측면에 의해 제공되는 마이크로 요동 소자는, 요동부와, 프레임과, 상기 요동부 및 프레임을 연결하여 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부를 구비한다. 요동부는 요동 메인부 및 상기 요동 메인부에 부착되고 또한 요동 축심과 교차하는 방향으로 변이 가능한 스핀들부를 갖는다.
- <19> 요동부와, 프레임과, 상기 요동부 및 프레임을 연결하여 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작의 요동 축심을 규정하는 연결부(비틀림 연결부)를 구비하는 마이크로 요동 소자에 있어서, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)(f)는, 하기의 식 (1)로 나타내어진다. 식 (1)에 있어서, k는 연결부의 비틀림 스프링 상수를 나타내고, I는 요동부의 관성을 나타낸다.

<20> [수학식 1]

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{I}} \quad \dots(1)$$

<21> 본 발명의 제1 측면의 마이크로 요동 소자에 있어서, 요동부는 상기 요동부의 요동 축심과 교차하는 방향으로 변이 가능한 스핀들부를 갖는 바, 상기 스핀들부가 변이함으로써 요동부의 관성(I)이 변화한다[관성(I)은, 요동

부를 구성하는 각 부분의 관성 성분을 포함함]. 스핀들부가 요동 축심에 가까울수록, 즉 스핀들부의 회전 반경이 작을수록 스핀들부의 관성 성분은 작아 요동부의 관성(I)은 작다. 스핀들부가 요동 축심으로부터 멀수록, 즉 스핀들부의 회전 반경이 클수록 스핀들부의 관성 성분은 커 요동부의 관성(I)은 크다. 식 (1)로부터 이해할 수 있는 바와 같이, 요동부의 관성(I)이 작을수록 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)(f)는 크고, 관성(I)이 클수록 고유 진동수(f)는 작다.

- <23> 따라서, 본 마이크로 요동 소자에 있어서는, 요동부의 스핀들부의 변이에 따라, 요동부의 관성(I)을 제어하여, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를 조정하는 것이 가능하다. 이러한 고유 진동수 조정에 따르면, 기계적 가공을 이용한 상술한 종래의 고유 진동수 조정에 따르는 것보다도, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를, 아날로그적으로 미세하게 조정할 수 있고, 따라서 고정밀도로 조정할 수 있다.
- <24> 또한, 본 마이크로 요동 소자에 있어서는, 고유 진동수(f)를 조정하기 위해, 소자를 일단 완성한 후에 요동부에 대해 기계적 가공을 실시할 필요는 없다. 덧붙여, 본 마이크로 요동 소자에 있어서는, 요동부의 관성(I)을 감소시킨 후에 증대시키는 것도 가능하고, 따라서 고유 진동수(f)의 조정에 있어서의 자유도는 높다.
- <25> 이상과 같이, 본 발명의 제1 측면의 마이크로 요동 소자는, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)를 조정하는 데 적합한 것이다.
- <26> 본 발명의 제1 측면에 있어서, 바람직하게는 요동부는 요동 메인부에 고정된 지지 베이스부 및 상기 지지 베이스부와 스핀들부를 연결하는 지지 빔을 갖는다. 이러한 구성은, 스핀들부에 대해 양호한 변이 동작을 실현하기 위해 바람직하다.
- <27> 바람직하게는, 요동부는 요동 메인부에 고정된 제1 빗살형 전극을 갖고, 스핀들부는 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극을 갖는다. 이러한 구성은, 스핀들부에 대해 양호한 변이 동작을 실현하기 위해 바람직하다.
- <28> 본 발명의 제2 측면에 의해 제공되는 마이크로 요동 소자는, 요동부와, 프레임과, 요동부 및 프레임을 연결하여 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부를 구비한다. 연결부는, 병렬하는 복수의 토션 바아를 포함하고, 상기 복수의 토션 바아로부터 선택되는 2개의 토션 바아는 상대적으로 접근 이격 이동 가능하게 설치되어 있다.
- <29> 본 발명의 제2 측면의 마이크로 요동 소자에 있어서는, 연결부는 상대적으로 접근 이격 이동 가능한 2개의 토션 바아를 갖는 바, 상기 2개의 토션 바아가 상대적으로 접근 이격 이동함으로써 연결부의 비틀림 스프링 상수(k)가 변화한다. 상기 토션 바아 쌍 사이의 거리가 짧을수록, 상기 토션 바아 쌍을 포함하여 이루어지는 연결부의 비틀림 스프링 상수(k)는 작다. 상기 토션 바아 쌍 사이의 거리가 길수록, 연결부의 비틀림 스프링 상수(k)는 크다. 상기한 식 (1)로부터 이해할 수 있는 바와 같이, 연결부의 비틀림 스프링 상수(k)가 작을수록, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)(f)는 작고, 비틀림 스프링 상수(k)가 클수록 고유 진동수(f)는 크다.
- <30> 따라서, 본 마이크로 요동 소자에 있어서는, 2개의 토션 바아의 상대적인 접근 이격 이동에 의해, 연결부의 비틀림 스프링 상수(k)를 제어하여, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를 조정하는 것이 가능하다. 이러한 고유 진동수 조정에 따르면, 기계적 가공을 이용한 상술한 종래의 고유 진동수 조정에 따르는 것보다도, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를, 아날로그적으로 미세하게 조정할 수 있고, 따라서 고정밀도로 조정할 수 있다.
- <31> 또한, 본 마이크로 요동 소자에 있어서는, 고유 진동수(f)를 조정하기 위해, 소자를 일단 완성한 후에 요동부에 대해 기계적 가공을 실시할 필요는 없다. 덧붙여, 본 마이크로 요동 소자에 있어서는, 연결부의 비틀림 스프링 상수(k)를 감소시키는 것도, 증대시키는 것도 가능하며, 따라서 고유 진동수(f)의 조정에 있어서의 자유도는 높다.
- <32> 이상과 같이, 본 발명의 제2 측면의 마이크로 요동 소자는, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)를 조정하는 데 적합한 것이다.
- <33> 본 발명의 제2 측면에 있어서, 바람직하게는 요동부는 요동 메인부와, 상기 요동 메인부에 부착되고 또한 요동 축심과 교차하는 방향으로 변이 가능한 제1 가동부를 갖고, 프레임은 프레임 메인부와, 상기 프레임 메인부에 부착되고 또한 제1 가동부와 동일 방향으로 변이 가능한 제2 가동부를 갖고, 연결부에 포함되는 하나의 토션 바아는 상기 제1 및 제2 가동부를 연결한다. 이러한 구성은, 토션 바아 쌍에 대해 양호한 접근 이격 이동을 실현

하기 위해 바람직하다.

- <34> 바람직하게는, 요동부는 요동 메인부에 고정된 제1 빗살형 전극을 갖고, 제1 가동부는 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극을 갖는다. 혹은, 프레임은 프레임 메인부에 고정된 제1 빗살형 전극을 갖고, 제2 가동부는 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극을 가져도 좋다. 이들의 구성은, 토션 바아 쌍에 대해 양호한 접근 이격 이동을 실현하기 위해 바람직하다.
- <35> 본 발명의 제3 측면에 의해 제공되는 마이크로 요동 소자는, 요동부와, 프레임과, 요동부 및 프레임을 연결하여 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부와, 제1 구동 기구와, 제2 구동 기구를 구비한다. 제1 구동 기구는, 요동부에 대해 제1 요동 방향(예를 들어, 요동부의 요동 각도가 증대하는 방향)으로 회전 토크를 발생 가능하고, 또한 상기 회전 토크의 크기 및/또는 발생 기간을 제어 가능하게 구성되어 있다. 제2 구동 기구는, 요동부에 대해 제1 요동 방향과는 반대인 제2 요동 방향(예를 들어, 요동부의 요동 각도가 감소하는 방향)으로 회전 토크를 발생 가능하고, 또한 상기 회전 토크의 크기 및/또는 발생 기간을 제어 가능하게 구성되어 있다. 제1 및 제2 구동 기구는 전기적으로 작동된다.
- <36> 본 발명의 제3 측면의 마이크로 요동 소자에서는, 고유 진동수(f)의 조정에 있어서 연결부의 비틀림 스프링 상수(k)가 증감하는 것과 등가인 상태를 전기적으로 만들어낼 수 있다. 구체적으로는, 요동 동작시의 요동부에 대해 항상 동일한 회전 토크가 작용하도록 제1 및 제2 구동 기구가 작동되는 노멀 구동에 있어서의 제1 및 제2 구동 기구의 작동 태양에 대해, 제1 및/또는 제2 구동 기구의 작동 태양을 변화시킴으로써, 요동부의 요동 동작에 있어서의 일부의 요동 각도 범위에서, 연결부의 비틀림 스프링 상수가 증감하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있고, 이에 의해 요동부의 요동 동작 중에 연결부의 평균 비틀림 스프링 상수(k)가 증감하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.
- <37> 제1 구동 기구에 의해 발생하는 회전 토크가, 요동부의 요동 각도가 증대하는 방향으로 상기 요동부에 작용하도록 설계되어 있는 경우, 예를 들어 상술한 노멀 구동에서의 요동부의 요동 각도 증대 중에 있어서의 제1 구동 기구의 작동 태양에 비해, 제1 구동 기구에 의해 발생하는 회전 토크를 크게 하거나, 회전 토크 발생 기간을 길게 하면, 상기 요동 각도 증대 중에 있어서 연결부의 비틀림 스프링 상수가 감소하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다. 반대로, 노멀 구동에서의 요동부의 요동 각도 증대 중에 있어서의 제1 구동 기구의 작동 태양에 비해, 제1 구동 기구에 의해 발생하는 회전 토크를 작게 하거나, 회전 토크 발생 기간을 짧게 하면, 상기 요동 각도 증대 중에 있어서 연결부의 비틀림 스프링 상수가 증대하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.
- <38> 제2 구동 기구에 의해 발생하는 회전 토크가, 요동부의 요동 각도가 감소하는 방향으로 상기 요동부에 작용하도록 설계되어 있는 경우, 예를 들어 상술한 노멀 구동에서의 요동부의 요동 각도 감소 중에 있어서의 제2 구동 기구의 작동 태양에 비해, 제2 구동 기구에 의해 발생하는 회전 토크를 크게 하거나, 회전 토크 발생 기간을 길게 하면, 상기 요동 각도 감소 중에 있어서 연결부의 비틀림 스프링 상수가 증대하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다. 반대로, 노멀 구동에서의 요동부의 요동 각도 감소 중에 있어서의 제2 구동 기구의 작동 태양에 비해, 제2 구동 기구에 의해 발생하는 회전 토크를 작게 하거나, 회전 토크 발생 기간을 짧게 하면, 상기 요동 각도 감소 중에 있어서 연결부의 비틀림 스프링 상수가 감소하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.
- <39> 예를 들어 이상과 같이 하여, 노멀 구동에 있어서의 제1 및 제2 구동 기구의 작동 태양에 대해, 제1 및/또는 제2 구동 기구의 작동 태양을 변화시킴으로써, 요동부의 요동 동작에 있어서의 일부의 요동 각도 범위에서, 연결부의 비틀림 스프링 상수가 증감하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있어, 이에 의해 요동부의 요동 동작 중에 연결부의 평균 비틀림 스프링 상수(k)가 증감하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있는 것이다.
- <40> 상기의 식 (1)로부터 이해할 수 있는 바와 같이, 연결부의 비틀림 스프링 상수(k)가 작을수록, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)(f)는 작고, 비틀림 스프링 상수(k)가 클수록 고유 진동수(f)는 크다.
- <41> 따라서, 본 발명의 제3 측면의 마이크로 요동 소자에 있어서, 제1 및/또는 제2 구동 기구에 있어서의 작동 태양의 변화에 의해, 연결부의 비틀림 스프링 상수(k)를 전기적으로 제어하여, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를 조정하는 것이 가능하다. 이러한 고유 진동수 조정에 따르면, 기계적 가공을 이용한 상술한 종래의 고유 진동수 조정에 따르는 것보다도, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를, 아날로그적으로 미세하게 조정할 수 있고, 따라서 고정밀도로 조정할 수 있다.
- <42> 또한, 본 마이크로 요동 소자에 있어서, 고유 진동수(f)를 조정하기 위해, 소자를 일단 완성한 후에 요동부에 대해 기계적 가공을 실시할 필요는 없다. 덧붙여, 본 마이크로 요동 소자에 있어서, 연결부의 비틀림 스프링

상수(k)를 전기적으로 감소시키는 것도, 증대시키는 것도 가능하며, 따라서 고유 진동수(f)의 조정에 있어서의 자유도는 높다.

- <43> 이상과 같이, 본 발명의 제3 측면의 마이크로 요동 소자는, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)를 조정하는 데 적합한 것이다.
- <44> 본 발명의 제3 측면에 있어서, 바람직하게는 제1 구동 기구 및 제2 구동 기구는 제1 빗살형 전극, 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극 및 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제3 빗살형 전극을 포함하고, 제1 빗살형 전극은 요동부에 고정되고, 제2 빗살형 전극은 비구동시에 있어서 제1 빗살형 전극에 대향하지 않는 위치에서 프레임에 고정되고, 제3 빗살형 전극은 비구동시에 있어서 제1 빗살형 전극에 대향하는 위치에서 프레임에 고정되고, 상기 제2 및 제3 빗살형 전극은 병렬된다. 이러한 구성은, 제1 및 제2 구동 기구에 의한 비틀림 스프링 상수의 전기적 제어를 양호하게 행하기 위해 바람직하다.
- <45> 본 발명의 제4 측면에 의해 제공되는 마이크로 요동 소자는, 요동부와, 프레임과, 요동부 및 프레임을 연결하고 또한 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부를 구비한다. 이와 동시에, 본 마이크로 요동 소자는 제1 측면의 마이크로 요동 소자가 구비하는 스핀들부에 관한 구성과, 제2 측면의 마이크로 요동 소자가 구비하는 연결부에 관한 구성과, 제3 측면의 마이크로 요동 소자가 구비하는 제1 및 제2 구동 기구에 관한 구성을, 모두 구비한다. 본 마이크로 요동 소자에 따르면, 본 발명의 제1 측면, 제2 측면 및 제3 측면에 관하여 상술한 기술적 이점을 아울러 얻을 수 있다.
- <46> 본 발명의 제5 측면에 의해 제공되는 마이크로 요동 소자는, 요동부와, 프레임과, 요동부 및 프레임을 연결하고 또한 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부를 구비한다. 이와 동시에, 본 마이크로 요동 소자는, 제1 측면의 마이크로 요동 소자가 구비하는 스핀들부에 관한 구성과, 제2 측면의 마이크로 요동 소자가 구비하는 연결부에 관한 구성을 구비한다. 본 마이크로 요동 소자에 따르면, 본 발명의 제1 측면 및 제2 측면에 관하여 상술한 기술적 이점을 아울러 얻을 수 있다.
- <47> 본 발명의 제6 측면에 의해 제공되는 마이크로 요동 소자는, 요동부와, 프레임과, 요동부 및 프레임을 연결하고 또한 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부를 구비한다. 이와 동시에, 본 마이크로 요동 소자는, 제1 측면의 마이크로 요동 소자가 구비하는 스핀들부에 관한 구성과, 제3 측면의 마이크로 요동 소자가 구비하는 제1 및 제2 구동 기구에 관한 구성을 구비한다. 본 마이크로 요동 소자에 따르면, 본 발명의 제1 측면 및 제3 측면에 관하여 상술한 기술적 이점을 아울러 얻을 수 있다.
- <48> 본 발명의 제7 측면에 의해 제공되는 마이크로 요동 소자는, 요동부와, 프레임과, 요동부 및 프레임을 연결하고 또한 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부를 구비한다. 이와 동시에, 본 마이크로 요동 소자는, 제2 측면의 마이크로 요동 소자가 구비하는 연결부에 관한 구성과, 제3 측면의 마이크로 요동 소자가 구비하는 제1 및 제2 구동 기구에 관한 구성을 구비한다. 본 마이크로 요동 소자에 따르면, 본 발명의 제2 측면 및 제3 측면에 관하여 상술한 기술적 이점을 아울러 얻을 수 있다.

효 과

- <49> 본 발명에 따르면, 고유 진동수를 조정하기 위해, 소자를 일단 완성한 후에 요동부에 대해 기계적 가공을 실시할 필요가 없어 고유 진동수의 조정에 있어서 자유도가 높고, 고유 진동수를 아날로그적으로 미세하게 조정할 수 있는 마이크로 요동 소자를 제공할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <50> 도1 내지 도7은 본 발명의 제1 실시 형태에 관한 마이크로 미러 소자(X1)를 나타낸다. 도1은 마이크로 미러 소자(X1)의 평면도이고, 도2는 마이크로 미러 소자(X1)의 다른 평면도이다. 도3 및 도4는, 각각 도1의 선 III-III 및 선 IV-IV를 따른 단면도이다. 도5 내지 도7은, 각각 도2의 선 V-V, 선 VI-VI 및 선 VII-VII를 따른 단면도이다.
- <51> 마이크로 미러 소자(X1)는 요동부(110)와, 프레임(120)과, 한 쌍의 연결부(130)와, 빗살형 전극(140, 150, 160, 170)을 구비한다. 또한, 마이크로 미러 소자(X1)는, MEMS 기술 등의 벌크 마이크로머시닝 기술에 의해, 이른바 SOI(silicon on insulator) 기관인 재료 기관에 대해 가공을 실시함으로써 제조된 것이다. 상기 재료 기관은, 예를 들어 제1 및 제2 실리콘층 및 상기 실리콘층 사이의 절연층으로 이루어지는 적층 구조를 갖고, 각

실리콘층은 불순물의 도핑에 의해 소정의 도전성이 부여되어 있다. 도1은 제1 실리콘층에 유래하는 구조를 주로 나타내기 위한 평면도이고, 도2는 제2 실리콘층에 유래하는 구조를 주로 나타내기 위한 평면도이다. 도면의 명확화의 관점에서, 도1에 있어서는 제1 실리콘층에 유래하여 절연층으로부터 지면 전방 방향으로 돌출되는 부위[후술하는 미러면(111a)은 제외함]에 대해 사선 해칭을 부여하여 나타내고, 도2에 있어서는 제2 실리콘층에 유래하여 절연층으로부터 지면 전방 방향으로 돌출되는 부위에 대해 사선 해칭을 부여하여 나타낸다.

- <52> 요동부(110)는 요동 메인부(111)와, 한 쌍의 스핀들부(112)와, 지지 베이스부(113A, 113B)와, 지지 빔(114A, 114B)과, 한 쌍의 빗살형 전극(115)과, 배선부(116, 117)를 갖고, 프레임(120)에 대해 요동 가능하다.
- <53> 요동 메인부(111)는 제1 실리콘층에 있어서 성형된 부위이며, 예를 들어 도1에 도시하는 바와 같이 광 반사 기능을 갖는 미러면(111a)을 그 표면에 갖는다. 미러면(111a)은 제1 실리콘층 상에 성막된 Cr층 및 그 위의 Au층으로 이루어지는 적층 구조를 갖는다.
- <54> 각 스핀들부(112)는, 도5에 도시하는 바와 같이 절연층(118)을 통해 요동 메인부(111)에 고정된 지지 베이스부(113A, 113B), 지지 베이스부(113A)와 스핀들부(112)를 연결하는 지지 빔(114A) 및 지지 베이스부(113B)와 스핀들부(112)를 연결하는 지지 빔(114B)을 통해 요동 메인부(111)에 부착되어 있고, 도2에 있어서의 화살표 D1로 나타내는 바와 같이 변이 가능하다. 각 스핀들부(112)는 평행한 복수의 전극 이(齒)(112a')로 이루어지는 빗살형 전극(112a)을 갖는다. 가동체인 스핀들부(112)가 갖는 빗살형 전극(112a)은 스핀들부 변이 기구에 있어서의 가동 전극을 구성한다. 또한, 각 지지 베이스부(113A)는, 도2에 도시하는 바와 같이 배선부(116)와 연결되어 있다. 배선부(116)는, 도6에 도시하는 바와 같이 절연층(118)을 통해 요동 메인부(111)에 대해 고정되어 있다. 스핀들부(112), 지지 베이스부(113A, 113B), 지지 빔(114A, 114B) 및 배선부(116)는 제2 실리콘층에 있어서 성형된 부위이다.
- <55> 각 빗살형 전극(115)은 스핀들부(112)의 빗살형 전극(112a)과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 것이며, 배선부(117)에 대해 도2에 도시하는 바와 같이 고정된, 평행한 복수의 전극 이(115a)로 이루어진다. 배선부(117)는, 도6 및 도7에 도시하는 바와 같이 절연층(118)을 통해 요동 메인부(111)에 대해 부분적으로 고정되어 있다. 요동 메인부(111)에 고정된 배선부(117)에 대해 고정된 각 빗살형 전극(115)은, 스핀들부 변이 기구에 있어서의 고정 전극을 구성한다. 빗살형 전극(115) 및 배선부(117)는, 제2 실리콘층에 있어서 성형된 부위이다.
- <56> 프레임(120)은 제1 층부(121) 및 제2 층부(122)를 갖고, 요동부(110)를 둘러싸는 형상을 갖는다. 제1 층부(121)는 제1 실리콘층에 있어서 성형된 부위이며, 제2 층부(122)는 제2 실리콘층에 있어서 성형된 부위이다. 이들 제1 층부(121) 및 제2 층부(122)는 절연층(123)을 통해 접합되어 있다.
- <57> 한 쌍의 연결부(130)는, 도1, 도2, 및 도4에 나타내어져 있는 바와 같이, 각각 3개의 토션 바아(131, 132, 133)로 이루어지고, 요동부(110) 및 프레임(120)을 연결한다. 토션 바아(131, 132)는 제1 실리콘층에 있어서 성형된 부위이며, 도1에 도시하는 바와 같이 요동부(110)의 요동 메인부(111)와 프레임(120)의 제1 층부(121)를 연결한다. 각 연결부(130)에 있어서의 토션 바아(131, 132)의 간격은, 프레임(120)의 측으로부터 요동부(110)의 측에 걸쳐 점차 넓게 되어 있다. 각 토션 바아(133)는 제2 실리콘층에 있어서 성형된 부위이다. 도2 및 도6에 도시하는 바와 같이, 한쪽의 토션 바아(133)는 요동부(110)의 배선부(116)와 프레임(120)의 제2 층부(122)를 연결하고, 다른 쪽의 토션 바아(133)는 요동부(110)의 배선부(117)와 프레임(120)의 제2 층부(122)를 연결한다. 각 연결부(130)에 있어서, 토션 바아(131, 132)와 토션 바아(133)는 전기적으로 분리되어 있다. 또한, 제2 층부(122)에 있어서 한쪽의 토션 바아(133)가 접합하는 부위와, 제2 층부(122)에 있어서 다른 쪽의 토션 바아(133)가 접합하는 부위는 전기적으로 분리되어 있고, 따라서 이들 토션 바아(133)는 전기적으로 분리되어 있다.
- <58> 이러한 한 쌍의 연결부(130)는 프레임(120)에 대한 요동부(110)의 회전 동작의 요동 축심(A1)을 규정한다. 프레임(120)의 측으로부터 요동부(110)의 측에 걸쳐 간격이 점증하는 2개의 토션 바아(131, 132)를 포함하는 각 연결부(130)는 요동부(110)의 회전 동작에 있어서의 불필요한 변위 성분을 방지하는 데 적합하다.
- <59> 빗살형 전극(140)은, 제1 실리콘층에 있어서 성형된 복수의 전극 이(141)로 이루어지고, 이들 전극 이(141)는 예를 들어 도1에 도시하는 바와 같이 요동부(110)의 요동 메인부(111)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하다.
- <60> 빗살형 전극(150)은, 제1 실리콘층에 있어서 성형된 복수의 전극 이(151)로 이루어지고, 이들 전극 이(151)는 예를 들어 도1에 도시하는 바와 같이 빗살형 전극(140)의 전극 이(141)와는 반대측에 요동 메인부(111)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하다.
- <61> 빗살형 전극(160)은 빗살형 전극(140)과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 부위이며, 제2 실리콘층에 유래

하는 복수의 전극 이(161)로 이루어진다. 이들 전극 이(161)는, 도2에 도시하는 바와 같이 프레임(120)의 제2 층부(122)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하며 또한 빗살형 전극(140)의 전극 이(141)에 대해서도 평행하다. 빗살형 전극(140, 160)은, 예를 들어 도3에 도시하는 바와 같이 그들의 전극 이(141, 161)가 위치 어긋남된 태양으로 배치되어 있다. 한 쌍의 빗살형 전극(140, 160)은 마이크로 미러 소자(X1)에 있어서의 하나의 액츄에이터를 구성한다.

- <62> 빗살형 전극(170)은, 빗살형 전극(150)과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 부위이며, 제2 실리콘층에 유래하는 복수의 전극 이(171)로 이루어진다. 이들 전극 이(171)는, 도2에 도시하는 바와 같이 프레임(120)의 제2 층부(122)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하고 또한 빗살형 전극(150)의 전극 이(151)에 대해서도 평행하다. 빗살형 전극(150, 170)은 그들의 전극 이(151, 171)가 위치 어긋남된 태양으로 배치되어 있다. 한 쌍의 빗살형 전극(150, 170)은 마이크로 미러 소자(X1)에 있어서의 하나의 액츄에이터를 구성한다. 또한, 제2 층부(122)에 있어서 빗살형 전극(160)이 접합하는 부위와, 제2 층부(122)에 있어서 빗살형 전극(170)이 접합하는 부위는 전기적으로 분리되어 있고, 따라서 이들 빗살형 전극(160, 170)은 전기적으로 분리되어 있다.
- <63> 마이크로 미러 소자(X1)는, 상술한 바와 같이 MEMS 기술 등의 벌크 마이크로머시닝 기술에 의해, 다층 구조를 갖는 재료 기판에 가공을 실시함으로써 제조된 것이다. 또한, 상기 재료 기판은, 상술한 바와 같이 본 실시 형태에서는 제1 및 제2 실리콘층 및 이들 사이의 절연층으로 이루어지는 적층 구조를 갖는다.
- <64> 마이크로 미러 소자(X1)의 제조에 있어서는, 예를 들어 요동 메인부(111), 제1 층부(121) 및 토션 바아(131, 132)에 대응하는 부위를 덮는 에칭 마스크나, 스핀들부(112), 지지 베이스부(113A, 113B), 지지 빔(114A, 114B), 빗살형 전극(115), 배선부(116, 117), 제2 층부(122) 및 토션 바아(133)에 대응하는 부위를 덮는 에칭 마스크 등을, 적절하게 이용한 에칭 처리를 소정의 타이밍에서 재료 기판에 실시함으로써 각 실리콘층을 가공한다. 에칭 방법으로서, 딥(Deep) RIE(Reactive Ion Etching)법에 의한 건식 에칭이나, KOH 등의 습식 에칭 등을 이용할 수 있다. 절연층에 있어서의 불필요한 부위는, 적절하게 에칭 제거된다. 이와 같이 하여, 제1 및 제2 실리콘층 및 절연층을 갖는 재료 기판에 있어서, 마이크로 미러 소자(X1)의 각 부위가, 형성되는 것이 된다.
- <65> 마이크로 미러 소자(X1)에 있어서는, 빗살형 전극(140, 150, 160, 170)의 각각에 대해 필요에 따라서 소정의 전위를 부여함으로써, 요동부(110)를 요동 축심(A1) 주위로 요동 동작 내지 회전 변위시킬 수 있다. 빗살형 전극(140, 150)에 대한 전위 부여는 프레임(120)의 제1 층부(121), 각 연결부(130)의 토션 바아(131, 132) 및 요동부(110)의 요동 메인부(111)를 통해 실현할 수 있다. 빗살형 전극(140, 150)은, 예를 들어 그라운드 접속된다. 한편, 빗살형 전극(160)에 대한 전위 부여는, 프레임(120)의 제2 층부(122)의 일부를 통해 실현할 수 있고, 빗살형 전극(170)에 대한 전위 부여는 제2 층부(122)의 다른 일부를 통해 실현할 수 있다. 빗살형 전극(160)과 빗살형 전극(170)은 상술한 바와 같이 전기적으로 분리되어 있으므로, 빗살형 전극(160, 170)에 대한 전위 부여는 독립하여 행할 수 있다.
- <66> 빗살형 전극(140, 160)의 각각에 소정의 전위를 부여함으로써 빗살형 전극(140, 160) 사이에 원하는 정전 인력을 발생시키면, 빗살형 전극(140)은 빗살형 전극(160)에 인입된다. 그로 인해, 요동부(110)는 요동 축심(A1) 주위로 요동 동작하여, 상기 정전 인력과 비틀림 변형된 각 연결부(130)의 비틀림 저항력의 총합이, 균형이 맞는 각도까지 회전 변위한다. 이러한 요동 동작에 있어서의 회전 변위량은, 빗살형 전극(140, 160)에의 부여 전위를 조정함으로써 조절할 수 있다. 또한, 빗살형 전극(140, 160) 사이의 정전 인력을 소멸시키면, 각 연결부(130)[토션 바아(131, 132, 133)]는, 그 비틀림 응력을 해방하여 자연 상태로 복귀한다.
- <67> 또한, 빗살형 전극(150, 170)의 각각에 소정의 전위를 부여함으로써 빗살형 전극(150, 170) 사이에 원하는 정전 인력을 발생시키면, 빗살형 전극(150)은 빗살형 전극(170)에 인입된다. 그로 인해, 요동부(110)는 요동 축심(A1) 주위로, 앞서 서술한 요동 동작과는 역방향으로 요동 동작하여, 상기 정전 인력과 각 연결부(130)의 비틀림 저항력의 총합이, 균형이 맞는 각도까지 회전 변위한다. 이러한 요동 동작에 있어서의 회전 변위량은, 빗살형 전극(150, 170)에의 부여 전위를 조정함으로써, 조절할 수 있다. 또한, 빗살형 전극(150, 170) 사이의 정전 인력을 소멸시키면, 각 연결부(130)[토션 바아(131, 132, 133)]는 그 비틀림 응력을 해방하여 자연 상태로 복귀한다.
- <68> 마이크로 미러 소자(X1)에 있어서는, 이상과 같은 요동부(110)의 요동 구동에 의해 요동 메인부(111) 상에 마련된 미러면(111a)에서 반사되는 빛의 반사 방향을 적절하게 절환할 수 있다.
- <69> 한편, 마이크로 미러 소자(X1)에 있어서는, 요동부(110)에 있어서의 각 스핀들부(112)의 빗살형 전극(112a) 및

각 빗살형 전극(115)에 대해 필요에 따라서 소정의 전위를 부여함으로써, 각 스핀들부(112)를 요동 축심(A1)과 교차하는 방향(본 실시 형태에서는 직교하는 방향)으로 변이시킬 수 있다. 빗살형 전극(112a)에 대한 전위 부여는, 프레임(120)의 제2 층부(122)의 일부, 한쪽의 연결부(130)의 토션 바아(133), 요동부(110)의 배선부(116), 지지 베이스부(113A) 및 지지 빔(114A)을 통해 실현할 수 있다. 빗살형 전극(112a)은, 예를 들어 그라운드 접속된다. 한편, 빗살형 전극(115)에 대한 전위 부여는, 프레임(120)의 제2 층부(122)의 다른 일부, 다른 쪽의 연결부(130)의 토션 바아(133) 및 요동부(110)의 배선부(117)를 통해 실현할 수 있다. 양 토션 바아(133)는 상술한 바와 같이 전기적으로 분리되어 있으므로, 빗살형 전극(112a, 115)에 대한 전위 부여는 독립하여 행할 수 있다.

<70> 빗살형 전극(112a, 115)의 각각에 소정의 전위를 부여함으로써 빗살형 전극(112a, 115) 사이에 원하는 정전 인력을 발생시키면, 각 빗살형 전극(112a)은 이에 대항하는 빗살형 전극(115)에 인입된다. 각 스핀들부(112)는, 예를 들어 도8에 도시하는 바와 같이 탄성 변형된 지지 빔(114A, 114B)의 복원력의 총합과 상기 정전 인력이 균형이 맞는 위치에서 정지한다. 빗살형 전극(112a, 115)에의 부여 전위를 조정함으로써, 빗살형 전극(112a, 115) 사이에 발생하는 정전 인력을 조절할 수 있고, 따라서 각 스핀들부(112)의 정지 위치 내지 각 스핀들부(112)의 요동 축심(A1)으로부터의 거리를 제어할 수 있다.

<71> 마이크로 미러 소자(X1)에 있어서는, 요동부(110)는 요동 축심(A1)과 교차(본 실시 형태에서는 직교)하는 방향으로 상술한 바와 같이 변이 가능한 스핀들부(112)를 갖는 바, 스핀들부(112)가 변이함으로써 요동부(110)의 관성(I)이 변화한다[관성(I)은 요동부(110)를 구성하는 각 부분의 관성 성분을 포함함]. 스핀들부(112)가 요동 축심(A1)에 가까울수록, 즉 스핀들부(112)의 회전 반경이 작을수록 스핀들부(112)의 관성 성분은 작아 요동부(110)의 관성(I)은 작다. 스핀들부(112)가 요동 축심(A1)으로부터 멀수록, 즉 스핀들부(112)의 회전 반경이 클수록 스핀들부(112)의 관성 성분은 커 요동부의 관성(I)은 크다. 상기한 식 (1)로부터 이해할 수 있는 바와 같이, 요동부(110)의 관성(I)이 작을수록, 요동부(110)의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)(f)는 크고, 관성(I)이 클수록 고유 진동수(f)는 작다.

<72> 따라서, 마이크로 미러 소자(X1)에 있어서는, 요동부(110)의 스핀들부(112)의 변이에 따라, 요동부(110)의 관성(I)을 제어하여, 요동부(110)의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를 조정하는 것이 가능하다. 이러한 고유 진동수 조정에 따르면, 기계적 가공을 이용한 상술한 종래의 고유 진동수 조정에 따른 것보다도, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를, 아날로그적으로 미세하게 조정할 수 있고, 따라서 고정밀도로 조정할 수 있다.

<73> 또한, 마이크로 미러 소자(X1)에 있어서는, 고유 진동수(f)를 조정하기 위해, 소자를 일단 완성한 후에 요동부(110)에 대해 기계적 가공을 실시할 필요는 없다. 덧붙여, 마이크로 미러 소자(X1)에 있어서는, 요동부(110)의 관성(I)을 증대시키는 것도, 감소시키는 것도 가능하며, 따라서 고유 진동수(f)의 조정에 있어서의 자유도는 높다.

<74> 도9 내지 도14는, 본 발명의 제2 실시 형태에 관한 마이크로 미러 소자(X2)를 나타낸다. 도9는 마이크로 미러 소자(X2)의 평면도이고, 도10은 마이크로 미러 소자(X2)의 다른 평면도이다. 도11 및 도12는, 각각 도9의 선 XI-XI 및 선 XII-XII를 따른 단면도이다. 도13 및 도14는, 각각 도10의 선 XIII-XIII 및 선 XIV-XIV를 따른 단면도이다.

<75> 마이크로 미러 소자(X2)는, 요동부(210)와, 프레임(220)과, 한 쌍의 연결부(230)와, 빗살형 전극(240, 250, 260, 270)을 구비한다. 또한, 마이크로 미러 소자(X2)는, MEMS 기술 등의 벌크 마이크로머시닝 기술에 의해, 소위 SOI 기판인 재료 기판에 대해 가공을 실시함으로써 제조된 것이다. 상기 재료 기판은, 예를 들어 제1 및 제2 실리콘층 및 상기 실리콘층 사이의 절연층으로 이루어지는 적층 구조를 갖고, 각 실리콘층은 불순물의 도핑에 의해 소정의 도전성이 부여되어 있다. 도9는 제1 실리콘층에 유래하는 구조를 주로 나타내기 위한 평면도이고, 도10은 제2 실리콘층에 유래하는 구조를 주로 나타내기 위한 평면도이다. 도면의 명확화의 관점에서, 도9에 있어서는 제1 실리콘층에 유래하여 절연층으로부터 지면 전방 방향으로 돌출되는 부위[후술하는 미러면(211a)은 제외함]에 대해 사선 해칭을 부여하여 나타내고, 도10에 있어서는 제2 실리콘층에 유래하여 절연층으로부터 지면 전방 방향으로 돌출되는 부위에 대해 사선 해칭을 부여하여 나타낸다.

<76> 요동부(210)는, 요동 메인부(211)와, 한 쌍의 가동부(212A, 212B)와, 4개의 지지 베이스부(213)와, 4개의 스프링부(214)를 갖고, 프레임(220)에 대해 요동 가능하다.

<77> 요동 메인부(211)는 제1 실리콘층에 있어서 성형된 부위이며, 예를 들어 도9에 도시하는 바와 같이 광 반사 기능을 갖는 미러면(211a)을 그 표면에 갖는다. 미러면(211a)은 제1 실리콘층 상에 성막된 Cr층 및 그 위의 Au층

으로 이루어지는 적층 구조를 갖는다.

- <78> 가동부(212A, 212B)의 각각은, 도10 및 도13을 조합하여 참조하면 이해할 수 있는 바와 같이, 절연층(215)을 통해 요동 메인부(211)에 고정된 지지 베이스부(213) 및 지지 베이스부(213)와 상기 가동부를 연결하는 스프링부(214)를 통해 요동 메인부(211)에 부착되어 있고, 도10에 있어서의 화살표 D2로 나타내는 바와 같이 변이 가능하다. 가동부(212A, 212B), 지지 베이스부(213) 및 스프링부(214)는 제2 실리콘층에 있어서 성형된 부위이다.
- <79> 프레임(220)은 제1 층부(221)와, 제2 층부(222)와, 2개의 가동부(223A)와, 2개의 가동부(223B)와, 4개의 지지 베이스부(224)와, 4개의 스프링부(225)와, 4개의 빗살형 전극(226)과, 2개의 배선부(227)를 갖고, 요동부(210)를 둘러싸는 형상을 갖는다. 제1 층부(221)는 제1 실리콘층에 있어서 성형된 부위이다. 제2 층부(222)는 제2 실리콘층에 있어서 성형된 부위이다. 이들 제1 및 제2 층부(221, 222)는 절연층(228)을 통해 접합되어 있다. 또한, 가동부(223A, 223B), 지지 베이스부(224), 스프링부(225), 빗살형 전극(226) 및 배선부(227)는 제2 실리콘층에 있어서 성형된 부위이다.
- <80> 가동부(223A, 223B)의 각각은, 도10, 도13 및 도14를 조합하여 참조하면 이해할 수 있는 바와 같이, 절연층(228)을 통해 제1 층부(221)에 고정된 지지 베이스부(224) 및 지지 베이스부(224)와 상기 가동부를 연결하는 스프링부(225)를 통해 제1 층부(221)에 부착되어 있고, 도10에 있어서의 화살표 D3으로 나타내는 바와 같이 변이 가능하다. 또한, 각 가동부(223A, 223B)는 평행한 복수의 전극 이(223a')로 이루어지는 빗살형 전극(223a)을 갖는다. 가동부(223A, 223B)가 갖는 각 빗살형 전극(223a)은 가동부 변이 기구에 있어서의 가동 전극을 구성한다.
- <81> 각 빗살형 전극(226)은 가동부(223A, 223B)의 빗살형 전극(223a)과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 것이며, 배선부(227)에 대해 도10에 도시하는 바와 같이 고정된, 평행한 복수의 전극 이(226a)로 이루어진다. 배선부(227)는, 도14에 도시하는 바와 같이 절연층(228)을 통해 제1 층부(221)에 대해 고정되어 있다. 제1 층부(221)에 고정된 배선부(227)에 대해 고정된 각 빗살형 전극(226)은 가동부 변이 기구에 있어서의 고정 전극을 구성한다.
- <82> 한 쌍의 연결부(230)는, 도9, 도10 및 도12에 나타내어져 있는 바와 같이, 각각 3개의 토션 바아(231, 232, 233)로 이루어지고, 요동부(210) 및 프레임(220)을 연결한다. 각 토션 바아(231)는 제1 실리콘층에 있어서 성형된 부위이며, 도9에 도시하는 바와 같이 요동부(210)의 요동 메인부(211)와 프레임(220)의 제1 층부(221)를 연결한다. 한편, 토션 바아(232, 233)는 제2 실리콘층에 있어서 성형된 부위이다. 도10에 도시하는 바와 같이, 토션 바아(232)의 일단부는 요동부(210)의 가동부(212A)에 연결되고, 토션 바아(232)의 타단부는 프레임(220)의 가동부(223A)에 연결되어 있다. 토션 바아(233)의 일단부는 요동부(210)의 가동부(212B)에 연결되고, 토션 바아(233)의 타단부는 프레임(220)의 가동부(223B)에 연결되어 있다. 각 연결부(230)에 있어서의 토션 바아(231, 232, 233)는 서로 평행하고, 토션 바아(231)와 토션 바아(232, 233)는 전기적으로 분리되어 있다. 이러한 한 쌍의 연결부(230)는 프레임(220)에 대한 요동부(210)의 회전 동작의 요동 중심(A2)을 규정한다.
- <83> 빗살형 전극(240)은 제1 실리콘층에 있어서 성형된 복수의 전극 이(241)로 이루어지고, 이들 전극 이(241)는 예를 들어 도9에 도시하는 바와 같이 요동부(210)의 요동 메인부(211)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하다.
- <84> 빗살형 전극(250)은 제1 실리콘층에 있어서 성형된 복수의 전극 이(251)로 이루어지고, 이들 전극 이(251)는 예를 들어 도9에 도시하는 바와 같이 빗살형 전극(240)의 전극 이(241)와는 반대의 측에 요동 메인부(211)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하다.
- <85> 빗살형 전극(260)은 빗살형 전극(240)과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 부위이며, 제2 실리콘층에 유래하는 복수의 전극 이(261)로 이루어진다. 이들 전극 이(261)는, 도10에 도시하는 바와 같이 프레임(220)의 제2 층부(222)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하며 또한 빗살형 전극(240)의 전극 이(241)에 대해서도 평행하다. 빗살형 전극(240, 260)은, 예를 들어 도11에 도시하는 바와 같이 그들의 전극 이(241, 261)가 위치 어긋남된 태양으로 배치되어 있다. 한 쌍의 빗살형 전극(240, 260)은 마이크로 미러 소자(X2)에 있어서의 하나의 액츄에이터를 구성한다.
- <86> 빗살형 전극(270)은 빗살형 전극(250)과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 부위이며, 제2 실리콘층에 유래하는 복수의 전극 이(271)로 이루어진다. 이들 전극 이(271)는, 도10에 도시하는 바와 같이 프레임(220)의 제2 층부(222)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하며 또한 빗살형 전극(250)의 전극 이(251)에 대해서도 평행하다. 한 쌍의 빗살형 전극(250, 270)은 마이크로 미러 소자(X2)에 있어서의 하나의 액츄에이터를 구성한다. 빗살형 전극(250, 270)은 그들 전극 이(251, 271)가 위치 어긋남된 태양으로 배치되어 있다. 또한, 제2 층부(222)에

있어서 빗살형 전극(260)이 접합하는 부위와, 제2 층부(222)에 있어서 빗살형 전극(270)이 접합하는 부위는 전기적으로 분리되어 있고, 따라서 이들 빗살형 전극(260, 270)은 전기적으로 분리되어 있다.

- <87> 마이크로 미러 소자(X2)는, 상술한 바와 같이 MEMS 기술 등의 벌크 마이크로머시닝 기술에 의해 다층 구조를 갖는 재료 기판에 가공을 실시함으로써 제조된 것이다. 또한, 상기 재료 기판은, 상술한 바와 같이 본 실시 형태에서는 제1 및 제2 실리콘층 및 이들 사이의 절연층으로 이루어지는 적층 구조를 갖는다.
- <88> 마이크로 미러 소자(X2)의 제조에 있어서는, 예를 들어 요동 메인부(211), 제1 층부(221) 및 토션 바아(231)에 대응하는 부위를 덮는 에칭 마스크나, 가동부(212A, 212B), 지지 베이스부(213), 스프링부(214), 제2 층부(222), 가동부(223A, 223B), 지지 베이스부(224), 스프링부(225), 빗살형 전극(226), 배선부(227) 및 토션 바아(232, 233)에 대응하는 부위를 덮는 에칭 마스크 등을, 적절하게 이용한 에칭 처리를 소정의 타이밍에서 재료 기판에 실시함으로써, 각 실리콘층을 가공한다. 에칭 방법으로서, 딥 RIE법에 의한 건식 에칭이나, KOH 등의 습식 에칭 등을 이용할 수 있다. 절연층에 있어서의 불필요한 부위는, 적절하게 에칭 제거된다. 이와 같이 하여, 제1 및 제2 실리콘층 및 절연층을 갖는 재료 기판에 있어서, 마이크로 미러 소자(X2)의 각 부위가 형성되는 것이 된다.
- <89> 마이크로 미러 소자(X2)에 있어서는, 빗살형 전극(240, 250, 260, 270)의 각각에 대해 필요에 따라서 소정의 전위를 부여함으로써, 요동부(210)를 요동 축심(A2) 주위로 요동 동작 또는 회전 변위시킬 수 있다. 빗살형 전극(240, 250)에 대한 전위 부여는 프레임(220)의 제1 층부(221), 각 연결부(230)의 토션 바아(231) 및 요동부(210)의 요동 메인부(211)를 통해 실현할 수 있다. 빗살형 전극(240, 250)은, 예를 들어 그라운드 접속된다. 한편, 빗살형 전극(260)에 대한 전위 부여는 프레임(220)의 제2 층부(222)의 일부를 통해 실현할 수 있고, 빗살형 전극(270)에 대한 전위 부여는 제2 층부(222)의 다른 일부를 통해 실현할 수 있다. 빗살형 전극(260)과 빗살형 전극(270)은 상술한 바와 같이 전기적으로 분리되어 있으므로, 빗살형 전극(260, 270)에 대한 전위 부여는 독립하여 행할 수 있다.
- <90> 빗살형 전극(240, 260)의 각각에 소정의 전위를 부여함으로써 빗살형 전극(240, 260) 사이에 원하는 정전 인력을 발생시키면, 빗살형 전극(240)은 빗살형 전극(260)에 인입된다. 그로 인해, 요동부(210)는 요동 축심(A2) 주위로 요동 동작하여, 상기 정전 인력과 비틀림 변형된 각 연결부(230)의 비틀림 저항력의 총합이, 균형이 맞는 각도까지 회전 변위한다. 이러한 요동 동작에 있어서의 회전 변위량은, 빗살형 전극(240, 260)에의 부여 전위를 조정함으로써, 조절할 수 있다. 또한, 빗살형 전극(240, 260) 사이의 정전 인력을 소멸시키면, 각 연결부(230)[토션 바아(231, 232, 233)]는 그 비틀림 응력을 해방하여 자연 상태로 복귀한다.
- <91> 또한, 빗살형 전극(250, 270)의 각각에 소정의 전위를 부여함으로써 빗살형 전극(250, 270) 사이에 원하는 정전 인력을 발생시키면, 빗살형 전극(250)은 빗살형 전극(270)에 인입된다. 그로 인해, 요동부(210)는 요동 축심(A2) 주위로, 상술한 요동 동작과는 역방향으로 요동 동작하여, 상기 정전 인력과 각 연결부(230)의 비틀림 저항력의 총합이 균형이 맞는 각도까지 회전 변위한다. 이러한 요동 동작에 있어서의 회전 변위량은, 빗살형 전극(250, 270)에의 부여 전위를 조정함으로써 조절할 수 있다. 또한, 빗살형 전극(250, 270) 사이의 정전 인력을 소멸시키면, 각 연결부(230)[토션 바아(231, 232, 233)]는 그 비틀림 응력을 해방하여 자연 상태로 복귀한다.
- <92> 마이크로 미러 소자(X2)에 있어서는, 이상과 같은 요동부(210)의 요동 구동에 의해 요동 메인부(211) 상에 설치된 미러면(211a)에서 반사되는 빛의 반사 방향을 적절하게 전환할 수 있다.
- <93> 한편, 마이크로 미러 소자(X2)에서는, 프레임(220)에 있어서의 각 가동부(223A, 223B)의 합계 4개의 빗살형 전극(223a)을 그라운드 접속시킨 상태에서, 이들에 대항하는 빗살형 전극(226)에 대해 필요에 따라서 소정의 전위를 부여함으로써, 각 연결부(230)에 있어서의 토션 바아(232, 233) 사이의 거리를 변화시킬 수 있다. 빗살형 전극(223a)의 그라운드 접속은, 예를 들어 상술한 절연층(228)을 관통하여 지지 베이스부(224)와 제1 층부(221)를 전기적으로 접속하는 도전 플러그를 설치하고 또한 제1 층부(221)를 그라운드 접속함으로써, 실현할 수 있다. 빗살형 전극(226)에 대한 전위 부여는, 배선부(227)를 통해 실현할 수 있다.
- <94> 빗살형 전극(226)에 소정의 전위를 부여함으로써 서로 대항하는 빗살형 전극(223a, 226) 사이에 원하는 정전 인력을 발생시키면, 각 빗살형 전극(223a)은 이에 대항하는 빗살형 전극(226)에 인입된다. 이에 연동하여, 가동부(223A)와 함께 토션 바아(232) 및 가동부(212A)가 변위하고, 또한 가동부(223B)와 함께 토션 바아(233) 및 가동부(212B)가 변위한다. 가동부(212A, 223A) 및 토션 바아(232)로 이루어지는 가동 유닛은, 예를 들어 도15에 도시하는 바와 같이 상기 가동 유닛에 연결하여 탄성 변형한 스프링부(214, 225)의 복원력의 총합과, 상기 가동

유닛의 2군데에 작용하는 정전 인력이, 균형이 맞는 위치에서 정지한다. 이와 동시에, 가동부(212B, 223B) 및 토션 바아(233)로 이루어지는 가동 유닛은, 예를 들어 도15에 도시하는 바와 같이 상기 가동 유닛에 연결하여 탄성 변형한 스프링부(214, 225)의 복원력의 총합과, 상기 가동 유닛의 2군데에 작용하는 정전 인력이, 균형이 맞는 위치에서 정지한다. 빗살형 전극(226)에의 부여 전위를 조정함으로써, 서로 대향하는 빗살형 전극(223a, 226) 사이에 발생하는 정전 인력을 조절할 수 있고, 따라서 각 연결부(230)에 있어서의 토션 바아(232, 233)의 정지 위치 내지 상기 토션 바아(232, 233) 사이의 거리를 제어할 수 있다.

- <95> 마이크로 미러 소자(X2)에 있어서는, 각 연결부(230)는 상대적으로 접근 이격 이동 가능한 2개의 토션 바아(232, 233)를 갖는 바, 토션 바아(232, 233)가 상대적으로 접근 이격 이동함으로써 각 연결부(230)의 비틀림 스프링 상수(k)가 변화한다. 토션 바아(232, 233) 사이의 거리가 짧을수록, 토션 바아(232, 233)를 포함하여 이루어지는 연결부(230)의 비틀림 스프링 상수(k)는 작다. 토션 바아(232, 233) 사이의 거리가 길수록 연결부(230)의 비틀림 스프링 상수(k)는 크다. 상기한 식 (1)로부터 이해할 수 있는 바와 같이, 연결부(230)의 비틀림 스프링 상수(k)가 작을수록 요동부(210)의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)(f)는 작고, 비틀림 스프링 상수(k)가 클수록 고유 진동수(f)는 크다.
- <96> 따라서, 마이크로 미러 소자(X2)에 있어서는, 토션 바아(232, 233)의 상대적인 접근 이격 이동에 의해, 연결부(230)의 비틀림 스프링 상수(k)를 제어하여, 요동부(210)의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를 조정하는 것이 가능하다. 이러한 고유 진동수 조정에 따르면, 기계적 가공을 이용한 상술한 종래의 고유 진동수 조정에 따른 것보다도, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를, 아날로그적으로 미세하게 조정할 수 있고, 따라서 고정밀도로 조정할 수 있다.
- <97> 또한, 마이크로 미러 소자(X2)에 있어서는, 고유 진동수(f)를 조정하기 위해, 소자를 일단 완성한 후에 요동부(210)에 대해 기계적 가공을 실시할 필요는 없다. 덧붙여, 마이크로 미러 소자(X2)에 있어서는, 연결부(230)의 비틀림 스프링 상수(k)를 증대시키는 것도, 감소시키는 것도 가능하고, 따라서 고유 진동수(f)의 조정에 있어서의 자유도는 높다.
- <98> 본 실시 형태에서는, 가동 유닛을 변이시키기 위한 구동 기구는 프레임(220)측에 설치되어 있지만, 본 발명에서는 그러한 구성 대신에, 가동 유닛을 변이시키기 위한 구동 기구를 요동부(210)측에 설치해도 좋다. 그 경우, 마이크로 미러 소자(X2)에 있어서의 상술한 요동부(210)는, 요동 메인부(211)에 고정된 2개의 제1 빗살형 전극을 갖고, 상술한 가동부(212A)는 한쪽의 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극을 갖고, 상술한 가동부(212B)는 다른 쪽의 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극을 갖는다.
- <99> 도16 내지 도20은 본 발명의 제3 실시 형태에 관한 마이크로 미러 소자(X3)를 나타낸다. 도16은 마이크로 미러 소자(X3)의 평면도이다. 도17은 마이크로 미러 소자(X3)의 다른 평면도이다. 도18 내지 도20은, 각각 도16의 선 XVIII-XVIII, 선 XIX-XIX 및 선 XX-XX를 따른 단면도이다.
- <100> 마이크로 미러 소자(X3)는, 요동부(310)와, 프레임(320)과, 한 쌍의 연결부(330)와, 빗살형 전극(340, 350, 360, 370, 380, 390)을 구비한다. 또한, 마이크로 미러 소자(X3)는, MEMS 기술 등의 벌크 마이크로머시닝 기술에 의해, 이른바 SOI 기판인 재료 기판에 대해 가공을 실시함으로써 제조된 것이다. 상기 재료 기판은, 예를 들어 제1 및 제2 실리콘층 및 상기 실리콘층 사이의 절연층으로 이루어지는 적층 구조를 갖고, 각 실리콘층은 불순물의 도핑에 의해 소정의 도전성이 부여되어 있다. 도16은 제1 실리콘층에 유래하는 구조를 주로 나타내기 위한 평면도이고, 도17은 제2 실리콘층에 유래하는 구조를 주로 나타내기 위한 평면도이다. 도면의 명확화의 관점에서, 도16에 있어서는 제1 실리콘층에 유래하여 절연층으로부터 지면 전방 방향으로 돌출되는 부위[후술하는 미러면(311)은 제외함]에 대해 사선 해칭을 부여하여 나타내고, 도17에 있어서는 제2 실리콘층에 유래하여 절연층으로부터 지면 전방 방향으로 돌출되는 부위에 대해 사선 해칭을 부여하여 나타낸다.
- <101> 요동부(310)는 제1 실리콘층에 있어서 성형된 부위이며, 도16에 도시하는 바와 같이 광 반사 기능을 갖는 미러면(311)을 그 표면에 갖는다. 미러면(311)은 제1 실리콘층 상에 성막된 Cr층 및 그 위의 Au층으로 이루어지는 적층 구조를 갖는다.
- <102> 프레임(320)은 제1 층부(321) 및 제2 층부(322)를 갖고, 요동부(310)를 둘러싸는 형상을 갖는다. 제1 층부(321)는 제1 실리콘층에 있어서 성형된 부위이고, 제2 층부(322)는 제2 실리콘층에 있어서 성형된 부위이다. 이들 제1 및 제2 층부(321, 322)는, 도18 및 도19에 도시하는 바와 같이 절연층(323)을 통해 접합되어 있다.
- <103> 한 쌍의 연결부(330)는, 도16, 도17 및 도20에 도시하는 바와 같이 각각 2개의 토션 바아(331)로 이루어지고,

요동부(310) 및 프레임(320)을 연결한다. 토션 바아(331)는 제1 실리콘층에 있어서 성형된 부위이며, 요동부(310)와 프레임(320)의 제1 층부(321)를 연결한다. 각 연결부(330)에 있어서의 2개의 토션 바아(331)의 간격은 프레임(320)의 측으로부터 요동부(310)의 측에 걸쳐 점차 넓게 되어 있다. 이러한 한 쌍의 연결부(330)는 프레임(320)에 대한 요동부(310)의 회전 동작의 요동 중심(A3)을 규정한다. 프레임(320)의 측으로부터 요동부(310)의 측에 걸쳐 간격이 좁아지는 2개의 토션 바아(331)로 이루어지는 각 연결부(330)는, 요동부(310)의 회전 동작에 있어서의 불필요한 변위 성분을 방지하는 데 적합하다.

- <104> 빗살형 전극(340)은 제1 실리콘층에 있어서 성형된 복수의 전극 이(341)로 이루어지고, 이들 전극 이(341)는 예를 들어 도16에 도시하는 바와 같이 요동부(310)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하다.
- <105> 빗살형 전극(350)은 제1 실리콘층에 있어서 성형된 복수의 전극 이(351)로 이루어지고, 이들 전극 이(351)는 예를 들어 도16에 도시하는 바와 같이 빗살형 전극(340)의 전극 이(341)와는 반대의 측에 요동부(310)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하다.
- <106> 빗살형 전극(360)은 빗살형 전극(340)과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 부위이며, 본 소자의 비요동 구동시에 있어서 빗살형 전극(340)에 대항하는 위치에서, 프레임(320)에 고정되고, 제1 실리콘층에 유래하는 복수의 전극 이(361)로 이루어진다. 이들 전극 이(361)는, 도16에 도시하는 바와 같이 제1 층부(321)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하며 또한 빗살형 전극(340)의 전극 이(341)에 대해서도 평행하다.
- <107> 빗살형 전극(370)은 빗살형 전극(340)과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 부위이며, 비구동시에 있어서 빗살형 전극(340)에 대항하지 않는 위치에서, 프레임(320)에 고정되고, 제2 실리콘층에 유래하는 복수의 전극 이(371)로 이루어진다. 이들 전극 이(371)는, 도17에 도시하는 바와 같이 제2 층부(322)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하며 또한 빗살형 전극(340, 360)의 전극 이(341, 361)에 대해서도 평행하다. 빗살형 전극(370)의 전극 이(371)와 빗살형 전극(360)의 전극 이(361)와의 사이에는 절연부가 개재되는 것이 바람직하다.
- <108> 빗살형 전극(380)은 빗살형 전극(350)과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 부위이며, 비구동시에 있어서 빗살형 전극(350)에 대항하는 위치에서, 프레임(320)에 고정되고, 제1 실리콘층에 유래하는 복수의 전극 이(381)로 이루어진다. 이들 전극 이(381)는, 도16에 도시하는 바와 같이 제1 층부(321)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하며 또한 빗살형 전극(350)의 전극 이(351)에 대해서도 평행하다.
- <109> 빗살형 전극(390)은 빗살형 전극(350)과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 부위이며, 비구동시에 있어서 빗살형 전극(350)에 대항하지 않는 위치에서, 프레임(320)에 고정되고, 제2 실리콘층에 유래하는 복수의 전극 이(391)로 이루어진다. 이들 전극 이(391)는, 도17에 도시하는 바와 같이 제2 층부(322)로부터 각각이 연장되고, 서로 평행하며 또한 빗살형 전극(350, 380)의 전극 이(351, 381)에 대해서도 평행하다. 빗살형 전극(390)의 전극 이(391)와 빗살형 전극(380)의 전극 이(381)와의 사이에는 절연부가 개재되는 것이 바람직하다.
- <110> 빗살형 전극(340, 350)과 빗살형 전극(360 내지 390)은, 전기적으로 분리되어 있다. 또한, 빗살형 전극(360 내지 390)은 서로 전기적으로 분리되어 있다.
- <111> 이상과 같은 빗살형 전극(340 내지 390)에 있어서, 1세트의 빗살형 전극(340, 360), 1세트의 빗살형 전극(340, 370), 1세트의 빗살형 전극(350, 380) 및 1세트의 빗살형 전극(350, 390)은, 각각 본 발명에 있어서의 하나의 구동 기구를 구성한다. 예를 들어 빗살형 전극(360 내지 390)은, 각각 부여 전위의 크기 및 전위 부여 기간을 제어 가능한 전압 발생 기구에 전기적으로 접속되어 있다. 이에 의해, 빗살형 전극(340, 360)으로 이루어지는 구동 기구에서는, 상기 빗살형 전극(340, 360) 사이에 생기는 정전 인력의 크기 및 정전 인력 발생 기간이 제어 가능하게 되어 있다. 마찬가지로, 빗살형 전극(340, 370)으로 이루어지는 구동 기구에서는, 상기 빗살형 전극(340, 370) 사이에 생기는 정전 인력의 크기 및 정전 인력 발생 기간이 제어 가능하게 되고, 빗살형 전극(350, 380)으로 이루어지는 구동 기구에서는 상기 빗살형 전극(350, 380) 사이에 생기는 정전 인력의 크기 및 정전 인력 발생 기간이 제어 가능하게 되고, 빗살형 전극(350, 390)으로 이루어지는 구동 기구에서는 상기 빗살형 전극(350, 390) 사이에 생기는 정전 인력의 크기 및 정전 인력 발생 기간이 제어 가능하게 되어 있다.
- <112> 마이크로 미러 소자(X3)는, 상술한 바와 같이 MEMS 기술 등의 벌크 마이크로머시닝 기술에 의해, 다층 구조를 갖는 재료 기판에 가공을 실시함으로써 제조된 것이다. 또한, 상기 재료 기판은 상술한 바와 같이 본 실시 형태에서는 제1 및 제2 실리콘층 및 이들 사이의 절연층으로 이루어지는 적층 구조를 갖는다.
- <113> 마이크로 미러 소자(X3)의 제조에 있어서는, 예를 들어 요동부(310), 제1 층부(321), 토션 바아(331) 및 빗살형 전극(340, 350, 360, 380)에 대응하는 부위를 덮는 에칭 마스크나, 제2 층부(322) 및 빗살형 전극(370, 390)에 대응하는 부위를 덮는 에칭 마스크 등을, 적절하게 이용한 에칭 처리를 소정의 타이밍에서 재료 기판에 실시함

으로써, 각 실리콘층을 가공한다. 에칭 방법으로서, 딥 RIE법에 의한 건식 에칭이나, KOH 등의 습식 에칭 등을 이용할 수 있다. 절연층에 있어서의 불필요한 부위는, 적절하게 에칭 제거된다. 이와 같이 하여, 제1 및 제2 실리콘층 및 절연층을 갖는 재료 기관에 있어서, 마이크로 미러 소자(X3)의 각 부위가 형성되는 것이 된다.

- <114> 마이크로 미러 소자(X3)에 있어서는, 빔살형 전극(340 내지 390)의 각각에 대해 필요에 따라서 소정의 전위를 부여함으로써, 요동부(310)를 회전 축심(A3) 주위로 회전 동작시킬 수 있어, 요동부(310) 상에 마련된 미러면(311)에서 반사되는 빛의 반사 방향을 적절하게 절환할 수 있다.
- <115> 도21은 마이크로 미러 소자(X3)의 구동 태양의 일예를 나타낸다. 본 구동 태양은 노멀 구동예이다. 도21의 (a)는 빔살형 전극(370)에 인가되는 전압의 시간 변화를 나타낸다. 도21의 (b)는 빔살형 전극(390)에 인가되는 전압의 시간 변화를 나타낸다. 도21의 (c)는 빔살형 전극(360, 380)에 인가되는 전압의 시간 변화를 나타낸다. 본 구동 태양에 있어서는, 빔살형 전극(340, 350)은 그라운드 접속되어 있다. 도21의 (a) 내지 도21의 (c)의 그래프 각각에 있어서는, 횡축에 시간(t)을 나타내고, 종축에 인가 전압(v)을 나타낸다. 또한, 도21의 (d)는 본 구동 태양에 있어서의 요동부(310)의 요동 각도의 시간 변화를 나타낸다. 도21의 (d)의 그래프에서는, 횡축에 시간(t)을 나타내고, 종축에 요동 각도(θ)를 나타낸다.
- <116> 본 구동 태양에 있어서는, 우선 시간 T_0 에서 초기 상태[요동부(310)의 요동 각도가 0°]에 있는 마이크로 미러 소자(X3)의 빔살형 전극(370)에 대해, 시간 T_1 에서 요동부(310)의 회전 변위가 최대 요동 각도 θ_1 에 이르도록, 시간 T_0 으로부터 시간 T_1 의 사이, 도21의 (a)에 나타내는 바와 같이 소정의 전압 V_1 이 인가된다. 시간 T_0 로부터 시간 T_1 의 사이, 빔살형 전극(370)과 빔살형 전극(340)의 사이에는 정전 인력이 발생하고, 요동부(310)의 요동 각도는 제1 요동 방향으로 계속 증대된다. 시간 T_1 에서는, 1세트의 빔살형 전극(340, 370)은 예를 들어 도 18의 (b)에 나타내는 배향을 취하여, 요동 각도는 도21의 (d)에 나타내는 바와 같이 θ_1 에 이른다. 이때, 각 연결부(330)에는 소정의 비틀림 응력이 생긴다.
- <117> 다음에, 시간 T_1 로부터 시간 T_2 의 사이, 빔살형 전극(360, 380)에 대해 도21의 (c)에 나타내는 바와 같이 소정의 전압 V_2 가 인가된다. 이 사이, 각 연결부(330)의 비틀림 응력이 복원력으로서 작용하는 것에 더하여 빔살형 전극(340, 360) 사이 및 빔살형 전극(350, 380) 사이에는 정전 인력이 발생하고, 요동부(310)의 요동 각도는 계속 감소한다. 시간 T_2 에서는, 1세트의 빔살형 전극(340, 360)은 도18의 (a)에 나타내는 배향을 취하고, 1세트의 빔살형 전극(350, 380)은 도19의 (a)에 나타내는 배향을 취하여, 요동 각도는 도21의 (d)에 나타내는 바와 같이 0° 에 이른다.
- <118> 다음에, 시간 T_3 에서 요동부(310)의 회전 변위가 최대 요동 각도 θ_2 에 이르도록, 시간 T_2 로부터 시간 T_3 의 사이, 빔살형 전극(390)에 대해 도21의 (b)에 나타내는 바와 같이 소정의 전압 V_3 이 인가된다. 시간 T_2 로부터 시간 T_3 의 사이, 빔살형 전극(390)과 빔살형 전극(350)의 사이에는 정전 인력이 발생하고, 요동부(310)의 요동 각도는 상술한 제1 요동 방향과는 반대인 제2 요동 방향으로 계속 증대한다. 시간 T_3 에서는 1세트의 빔살형 전극(350, 390)은 예를 들어 도19의 (b)에 나타내는 배향을 취하여, 요동 각도는 도21의 (d)에 나타내는 바와 같이 θ_2 에 이른다. 이때, 각 연결부(330)에는 소정의 비틀림 응력이 발생한다.
- <119> 다음에, 시간 T_3 으로부터 시간 T_4 의 사이, 빔살형 전극(360, 380)에 대해 도21의 (c)에 나타내는 바와 같이 소정의 전압 V_4 가 인가된다. 이 사이, 각 연결부(330)의 비틀림 응력이 복원력으로서 작용하는 것에 더하여 빔살형 전극(340, 360) 사이 및 빔살형 전극(350, 380) 사이에는 정전 인력이 발생하고, 요동부(310)의 요동 각도는 계속 감소한다. 시간 T_4 에서는, 1세트의 빔살형 전극(340, 360)은 도18의 (a)에 나타내는 배향을 취하고, 1세트의 빔살형 전극(350, 380)은 도19의 (a)에 나타내는 배향을 취하여, 요동 각도는 도21의 (d)에 나타내는 바와 같이 0° 에 이른다. 시간 T_0 으로부터 시간 T_4 에 걸친 이상과 같은 일련의 전압 인가 및 그에 수반되는 요동부(310)의 동작이, 필요에 따라서 반복된다.
- <120> 마이크로 미러 소자(X3)의 노멀 구동에 있어서는, 요동 동작시의 요동부(310)에 대해 항상 동일한 회전 토크가 작용하도록, 전압 V_1 및 전압 V_3 은 동일하게 설정되고, 전압 V_2 및 전압 V_4 는 동일하게 설정되고, 전압 V_2, V_4 는 전압 V_1, V_3 보다 소정 정도로 작게 설정되고, 또한 시간 T_0 으로부터 시간 T_1 의 사이, 시간 T_1 로부터 시간 T_2 의 사

이, 시간 T_2 로부터 시간 T_3 의 사이 및 시간 T_3 으로부터 시간 T_4 의 사이는, 동일한 길이로 설정되어, 각각 요동부(310)의 요동 동작의 4분의 1주기가 된다. 그리고, 요동 각도 θ_1 의 절대치는 요동 각도 θ_2 의 절대치와 동일하다. 요동 동작시의 요동부(310)에 대해 항상 동일한 회전 토크가 작용하는 이상과 같은 노멀 구동에 의해, 마이크로 미러 소자(X3)의 요동부(310)에 대해 주기적인 요동 동작을 달성할 수 있다.

<121> 한편, 마이크로 미러 소자(X3)에서는 요동부(310)의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)의 조정에 있어서, 연결부(310)의 비틀림 스프링 상수(k)가 증감하는 것과 등가인 상태를 전기적으로 만들어낼 수 있다. 구체적으로는, 요동 동작시의 요동부(310)에 대해 항상 동일한 회전 토크가 작용하도록 각 빗살형 전극이 작동되는 상술한 노멀 구동에 있어서의 각 빗살형 전극의 작동 태양에 대해, 소정의 빗살형 전극의 작동 태양을 변화시킴으로써, 요동부(310)의 요동 동작에 있어서의 일부의 요동 각도 범위에서, 연결부(330)의 비틀림 스프링 상수가 증감하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있고, 이에 의해 요동부(310)의 요동 동작 중에 연결부(330)의 평균 비틀림 스프링 상수(k)가 증감하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.

<122> 예를 들어, 상술한 노멀 구동에 있어서 시간 T_0 으로부터 시간 T_1 의 사이에 빗살형 전극(370)에 인가되는 전압 V_1 을, 도22의 (a)에 나타내는 바와 같이 $V_{11}(> V_1)$ 로 바꾸면, 시간 T_0 으로부터 시간 T_1 의 사이에 요동부(310)에 작용하는 회전 토크는 노멀 구동시의 그것보다도 커진다. 이러한 회전 토크의 증대에 의해, 시간 T_0 으로부터 시간 T_1 의 사이[즉, 요동부(310)의 요동 각도가 0° 로부터 θ_1 로 증대하는 사이], 연결부(330)의 비틀림 스프링 상수가 감소하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.

<123> 상술한 노멀 구동에 있어서 시간 T_0 으로부터 시간 T_1 의 사이에 빗살형 전극(370)에 인가되는 전압 V_1 을, 도22의 (b)에 나타내는 바와 같이 $V_{12}(< V_1)$ 로 바꾸면, 시간 T_0 으로부터 시간 T_1 의 사이에 요동부(310)에 작용하는 회전 토크는, 노멀 구동시의 그것보다도 작아진다. 이러한 회전 토크의 감소에 의해, 시간 T_0 으로부터 시간 T_1 의 사이[즉, 요동부(310)의 요동 각도가 0° 로부터 θ_1 로 증대하는 사이], 연결부(330)의 비틀림 스프링 상수가 증대하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.

<124> 상술한 노멀 구동에 있어서 시간 T_1 로부터 시간 T_2 의 사이에 빗살형 전극(360, 380)에 인가되는 전압 V_2 를, 도23의 (a)에 나타내는 바와 같이 $V_{21}(> V_2)$ 로 바꾸면, 시간 T_1 로부터 시간 T_2 의 사이에 요동부(310)에 작용하는 회전 토크는 노멀 구동시의 그것보다도 커진다. 이러한 회전 토크의 증대에 의해, 시간 T_1 로부터 시간 T_2 의 사이[즉, 요동부(310)의 요동 각도가 θ_1 로부터 0° 로 감소하는 사이], 연결부(330)의 비틀림 스프링 상수가 증대하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.

<125> 상술한 노멀 구동에 있어서 시간 T_1 로부터 시간 T_2 의 사이에 빗살형 전극(360, 380)에 인가되는 전압 V_2 를, 도23의 (b)에 나타내는 바와 같이 $V_{22}(< V_2)$ 로 바꾸면, 시간 T_1 로부터 시간 T_2 의 사이에 요동부(310)에 작용하는 회전 토크는 노멀 구동시의 그것보다도 작아진다. 이러한 회전 토크의 감소에 의해, 시간 T_1 로부터 시간 T_2 의 사이[즉, 요동부(310)의 요동 각도가 θ_1 로부터 0° 로 감소하는 사이], 연결부(330)의 비틀림 상수가 감소하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.

<126> 상술한 노멀 구동에 있어서 시간 T_2 로부터 시간 T_3 의 사이에 빗살형 전극(390)에 인가되는 전압 V_3 을, 도24의 (a)에 나타내는 바와 같이 $V_{31}(> V_3)$ 로 바꾸면, 시간 T_2 로부터 시간 T_3 의 사이에 요동부(310)에 작용하는 회전 토크는, 노멀 구동시의 그것보다도 커진다. 이러한 회전 토크의 증대에 의해, 시간 T_2 로부터 시간 T_3 의 사이[즉, 요동부(310)의 요동 각도가 0° 로부터 θ_2 로 증대하는 사이], 연결부(330)의 비틀림 스프링 상수가 감소하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.

<127> 상술한 노멀 구동에 있어서 시간 T_2 로부터 시간 T_3 의 사이에 빗살형 전극(390)에 인가되는 전압 V_3 을, 도24의 (b)에 나타내는 바와 같이 $V_{32}(< V_3)$ 로 바꾸면, 시간 T_2 로부터 시간 T_3 의 사이에 요동부(310)에 작용하는 회전 토크는, 노멀 구동시의 그것보다도 작아진다. 이러한 회전 토크의 감소에 의해, 시간 T_2 로부터 시간 T_3 의 사이[즉, 요동부(310)의 요동 각도가 0° 로부터 θ_2 로 증대하는 사이], 연결부(330)의 비틀림 스프링 상수가 증대하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.

- <128> 상술한 노멀 구동에 있어서 시간 T_3 으로부터 시간 T_4 의 사이에 빗살형 전극(360, 380)에 인가되는 전압 V_4 를, 도 25의 (a)에 나타내는 바와 같이 $V_{41}(> V_4)$ 로 바꾸면, 시간 T_3 으로부터 시간 T_4 의 사이에 요동부(310)에 작용하는 회전 토크는 노멀 구동시의 그것보다도 커진다. 이러한 회전 토크의 증대에 의해, 시간 T_3 으로부터 시간 T_4 의 사이[즉, 요동부(310)의 요동 각도가 θ_2 로부터 0° 로 감소하는 사이], 연결부(330)의 비틀림 상수가 증대하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.
- <129> 상술한 노멀 구동에 있어서 시간 T_3 으로부터 시간 T_4 의 사이에 빗살형 전극(360, 380)에 인가되는 전압 V_4 를, 도 25의 (b)에 나타내는 바와 같이 $V_{42}(< V_4)$ 로 바꾸면, 시간 T_3 으로부터 시간 T_4 의 사이에 요동부(310)에 작용하는 회전 토크는 노멀 구동시의 그것보다도 작아진다. 이러한 회전 토크의 감소에 의해, 시간 T_3 으로부터 시간 T_4 의 사이[즉, 요동부(310)의 요동 각도가 θ_2 로부터 0° 로 감소하는 사이], 연결부(330)의 비틀림 스프링 상수가 감소하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.
- <130> 마이크로 미러 소자(X3)에 있어서는, 예를 들어 이상과 같은 구동 태양 변화(상술한 노멀 구동으로부터의 변화) 중 어느 하나를 채용함으로써, 혹은 예를 들어 이상과 같은 구동 태양 변화의 적절한 조합을 채용함으로써, 요동부(310)의 요동 동작에 있어서의 일부의 요동 각도 범위에서, 연결부(310)의 비틀림 스프링 상수가 증감하는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있고, 이에 의해 요동부(310)의 요동 동작 중에 연결부(330)의 평균 비틀림 스프링 상수(k)가 변화되는 것과 등가인 상태를 만들어낼 수 있다.
- <131> 상기한 식 (1)로부터 이해할 수 있는 바와 같이, 연결부(330)의 비틀림 스프링 상수(k)가 작을수록, 요동부(310)의 요동 동작에 관한 고유 진동수(공진 주파수)(f)는 작고, 비틀림 스프링 상수(k)가 클수록 고유 진동수(f)는 크다. 따라서, 마이크로 미러 소자(X3)에 있어서는, 예를 들어 이상과 같은 구동 태양 변화 중 어느 하나를 채용함으로써, 혹은 예를 들어 이상과 같은 구동 태양 변화의 적절한 조합을 채용함으로써 연결부(310)의 비틀림 스프링 상수(k)를 전기적으로 제어하여, 요동부(310)의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를 조정하는 것이 가능하다. 이러한 고유 진동수 조정에 따르면, 기계적 가공을 이용한 상술한 종래의 고유 진동수 조정에 따른 것보다도, 요동부의 요동 동작에 관한 고유 진동수(f)를, 아날로그적으로 미세하게 조정할 수 있고, 따라서 고정밀도로 조정할 수 있다.
- <132> 또한, 마이크로 미러 소자(X3)에 있어서는, 고유 진동수(f)를 조정하기 위해, 소자를 일단 완성한 후에 요동부(330)에 대해 기계적 가공을 실시할 필요는 없다. 덧붙여, 마이크로 미러 소자(X3)에 있어서는, 연결부(330)의 비틀림 스프링 상수(k)를 전기적으로 감소시키는 것도, 증대시키는 것도 가능하며, 따라서 고유 진동수(f)의 조정에 있어서의 자유도는 높다.
- <133> 상술한 마이크로 미러 소자(X1, X2, X3)는 모두 요동부와, 프레임과, 상기 요동부 및 프레임을 연결하여 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부를 구비하는 마이크로 요동 소자이다. 마이크로 미러 소자(X1)는 마이크로 요동 소자에 있어서의 요동부의 관성을 변화시키기 위한 구성(제1 구성)을 구비한다. 마이크로 미러 소자(X2)는, 마이크로 요동 소자에 있어서의 연결부의 형상 변화에 의해 상기 연결부의 비틀림 스프링 상수를 변화시키기 위한 구성(제2 구성)을 구비한다. 마이크로 미러 소자(X3)는, 마이크로 요동 소자에 있어서의 연결부의 비틀림 스프링 상수가 변화하는 것과 등가인 상태를 전기적으로 만들어내기 위한 구성(제3 구성)을 구비한다. 본 발명에 있어서는, 제1 구성과 제2 구성을 조합해도 좋고, 제2 구성과 제3 구성을 조합해도 좋고, 제3 구성과 제1 구성을 조합해도 좋고, 제1 내지 제3 구성을 모두 조합해도 좋다.
- <134> 이상의 정리로서, 본 발명의 구성 및 그 변화를 이하에 부기로서 열거한다.
- <135> (부기 1) 요동부와,
- <136> 프레임과,
- <137> 상기 요동부 및 상기 프레임을 연결하고 또한 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부를 구비하고,
- <138> 상기 요동부는 요동 메인부 및 상기 요동 메인부에 부착되고 또한 상기 요동 축심과 교차하는 방향으로 변이 가능한 스핀들부를 갖는 마이크로 요동 소자.
- <139> (부기 2) 상기 요동부는 상기 요동 메인부에 고정된 지지 베이스부 및 상기 지지 베이스부와 상기 스핀들부를

연결하는 지지 빔을 갖는 부기 1에 기재된 마이크로 요동 소자.

- <140> (부기 3) 상기 요동부는 상기 요동 메인부에 고정된 제1 빗살형 전극을 갖고, 상기 스프링들은 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극을 갖는 부기 1 또는 2에 기재된 마이크로 요동 소자.
- <141> (부기 4) 상기 연결부는, 병렬하는 복수의 토션 바아를 포함하고, 상기 복수의 토션 바아로부터 선택되는 2개의 토션 바아는 상대적으로 접근 이격 이동 가능하게 설치되어 있는 부기 1 내지 3 중 어느 하나에 기재된 마이크로 요동 소자.
- <142> (부기 5) 상기 요동부에 대해 제1 요동 방향으로 회전 토크를 발생 가능하고 또한 상기 회전 토크의 크기 및/또는 발생 기간을 제어 가능한 제1 구동 기구와, 상기 요동부에 대해 상기 제1 요동 방향과는 반대인 제2 요동 방향으로 회전 토크를 발생 가능하고 또한 상기 회전 토크의 크기 및/또는 발생 기간을 제어 가능한 제2 구동 기구를 더 구비하는 부기 1 내지 4 중 어느 하나에 기재된 마이크로 요동 소자.
- <143> (부기 6) 요동부와,
- <144> 프레임과,
- <145> 상기 요동부 및 상기 프레임을 연결하고 또한 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부를 구비하고,
- <146> 상기 연결부는, 병렬하는 복수의 토션 바아를 포함하고, 상기 복수의 토션 바아로부터 선택되는 2개의 토션 바아는 상대적으로 접근 이격 이동 가능하게 설치되어 있는 마이크로 요동 소자.
- <147> (부기 7) 상기 요동부는, 요동 메인부와, 상기 요동 메인부에 부착되고 또한 상기 요동 축심과 교차하는 방향으로 변이 가능한 제1 가동부를 갖고, 상기 프레임은 프레임 메인부와, 상기 프레임 메인부에 부착되고 또한 상기 제1 가동부와 동일 방향으로 변이 가능한 제2 가동부를 갖고, 상기 연결부에 포함되는 하나의 토션 바아는 상기 제1 및 제2 가동부를 연결하는 부기 4 또는 6에 기재된 마이크로 요동 소자.
- <148> (부기 8) 상기 요동부는 상기 요동 메인부에 고정된 제1 빗살형 전극을 갖고, 상기 제1 가동부는 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극을 갖는 부기 7에 기재된 마이크로 요동 소자.
- <149> (부기 9) 상기 프레임은 상기 프레임 메인부에 고정된 제1 빗살형 전극을 갖고, 상기 제2 가동부는 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극을 갖는 부기 7 또는 8에 기재된 마이크로 요동 소자.
- <150> (부기 10) 상기 요동부에 대해 제1 요동 방향으로 회전 토크를 발생 가능하고 또한 상기 회전 토크의 크기 및/또는 발생 기간을 제어 가능한 제1 구동 기구와, 상기 요동부에 대해 상기 제1 요동 방향과는 반대인 제2 요동 방향으로 회전 토크를 발생 가능하고 또한 상기 회전 토크의 크기 및/또는 발생 기간을 제어 가능한 제2 구동 기구를 더 구비하는 부기 6 내지 9 중 어느 하나에 기재된 마이크로 요동 소자.
- <151> (부기 11) 요동부와,
- <152> 프레임과,
- <153> 상기 요동부 및 상기 프레임을 연결하고, 또한 상기 프레임에 대한 상기 요동부의 요동 동작에 있어서의 요동 축심을 규정하는 연결부와,
- <154> 상기 요동부에 대해 제1 요동 방향으로 회전 토크를 발생 가능하고, 또한 상기 회전 토크의 크기 및/또는 발생 기간을 제어 가능한 제1 구동 기구와,
- <155> 상기 요동부에 대해 상기 제1 요동 방향과는 반대인 제2 요동 방향으로 회전 토크를 발생 가능하고, 또한 상기 회전 토크의 크기 및/또는 발생 기간을 제어 가능한 제2 구동 기구를 구비하는 마이크로 요동 소자.
- <156> (부기 12) 상기 제1 구동 기구 및 상기 제2 구동 기구는 제1 빗살형 전극, 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제2 빗살형 전극 및 상기 제1 빗살형 전극과 협동하여 정전 인력을 발생시키기 위한 제3 빗살형 전극을 포함하고, 상기 제1 빗살형 전극은 상기 요동부에 고정되고, 상기 제2 빗살형 전극은 비구동시에 있어서 상기 제1 빗살형 전극에 대향하지 않는 위치에서 상기 프레임에 고정되고, 상기 제3 빗살형 전극은 비구동시에 있어서 상기 제1 빗살형 전극에 대향하는 위치에서 상기 프레임에 고정되고, 상기 제2 및 제3 빗살

형 전극은 병렬하는 부기 5, 10, 11 중 어느 하나에 기재된 마이크로 요동 소자.

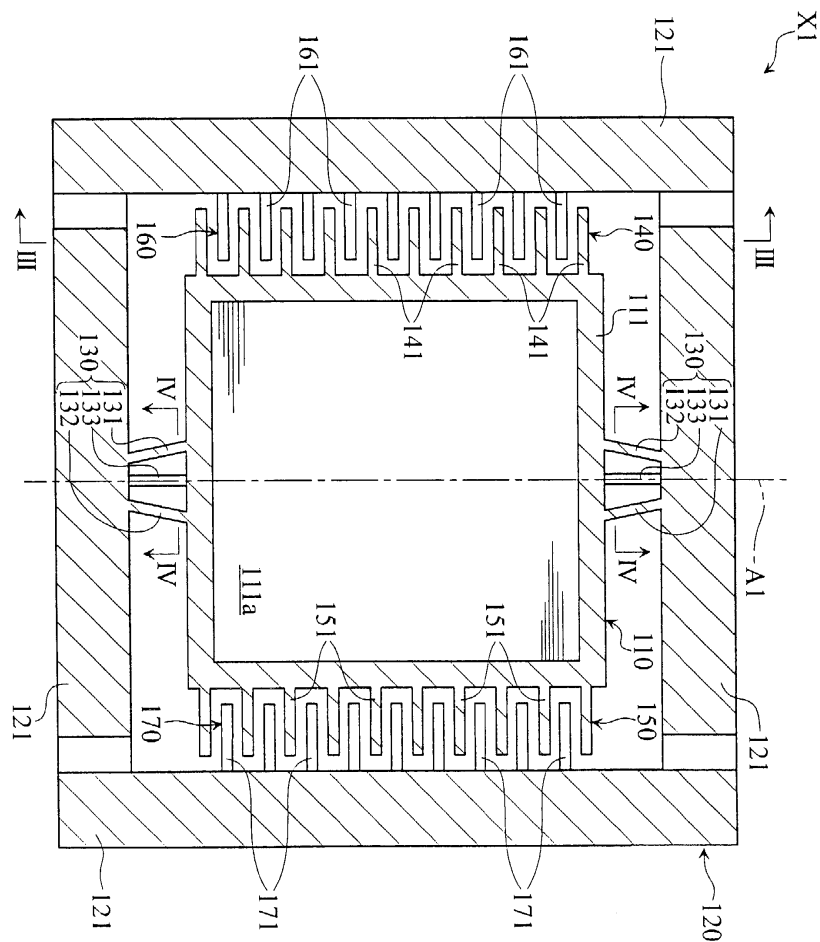
도면의 간단한 설명

- <157> 도1은 본 발명의 제1 실시 형태에 관한 마이크로 미러 소자의 평면도.
- <158> 도2는 본 발명의 제1 실시 형태에 관한 마이크로 미러 소자의 다른 평면도.
- <159> 도3은 도1의 선 III-III를 따른 단면도.
- <160> 도4는 도1의 선 IV-IV를 따른 단면도.
- <161> 도5는 도2의 선 V-V를 따른 단면도.
- <162> 도6은 도2의 선 VI-VI를 따른 단면도.
- <163> 도7은 도2의 선 VII-VII를 따른 단면도.
- <164> 도8은 스핀들부의 위치 제어의 태양을 나타내는 도면.
- <165> 도9는 본 발명의 제2 실시 형태에 관한 마이크로 미러 소자의 평면도.
- <166> 도10은 본 발명의 제2 실시 형태에 관한 마이크로 미러 소자의 다른 평면도.
- <167> 도11은 도9의 선 XI-XI를 따른 단면도.
- <168> 도12는 도9의 선 XII-XII를 따른 단면도.
- <169> 도13은 도10의 선 XIII-XIII를 따른 단면도.
- <170> 도14는 도10의 선 XIV-XIV를 따른 단면도.
- <171> 도15는 연결부의 폭 제어의 태양을 나타내는 도면.
- <172> 도16은 본 발명의 제3 실시 형태에 관한 마이크로 미러 소자의 평면도.
- <173> 도17은 본 발명의 제3 실시 형태에 관한 마이크로 미러 소자의 다른 평면도.
- <174> 도18은 도16의 선 XVIII-XVIII를 따른 단면도.
- <175> 도19는 도16의 선 XIX-XIX를 따른 단면도.
- <176> 도20은 도16의 선 XX-XX를 따른 단면도.
- <177> 도21은 도16의 마이크로 미러 소자의 구동 태양의 일예를 나타내는 도면.
- <178> 도22는 빗살형 전극에 대한 다른 전압 인가 태양을 나타내는 도면.
- <179> 도23은 빗살형 전극에 대한 다른 전압 인가 태양을 나타내는 도면.
- <180> 도24는 빗살형 전극에 대한 다른 전압 인가 태양을 나타내는 도면.
- <181> 도25는 빗살형 전극에 대한 다른 전압 인가 태양을 나타내는 도면.
- <182> 도26은 종래의 마이크로 미러 소자의 분해 사시도.
- <183> 도27은 조립된 상태에 있어서의 도26의 마이크로 미러 소자의 선 XXVII-XXVII를 따른 단면도.
- <184> <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>
- <185> X1, X2, X3, X4 : 마이크로 미러 소자
- <186> 110, 210, 310 : 요동부
- <187> 111, 211 : 요동 메인부
- <188> 112 : 스핀들부
- <189> 112a, 115, 140, 150, 160, 170, 223a, 226, 240, 250, 260, 270, 340, 350, 360, 370, 380, 390 : 빗살형 전극

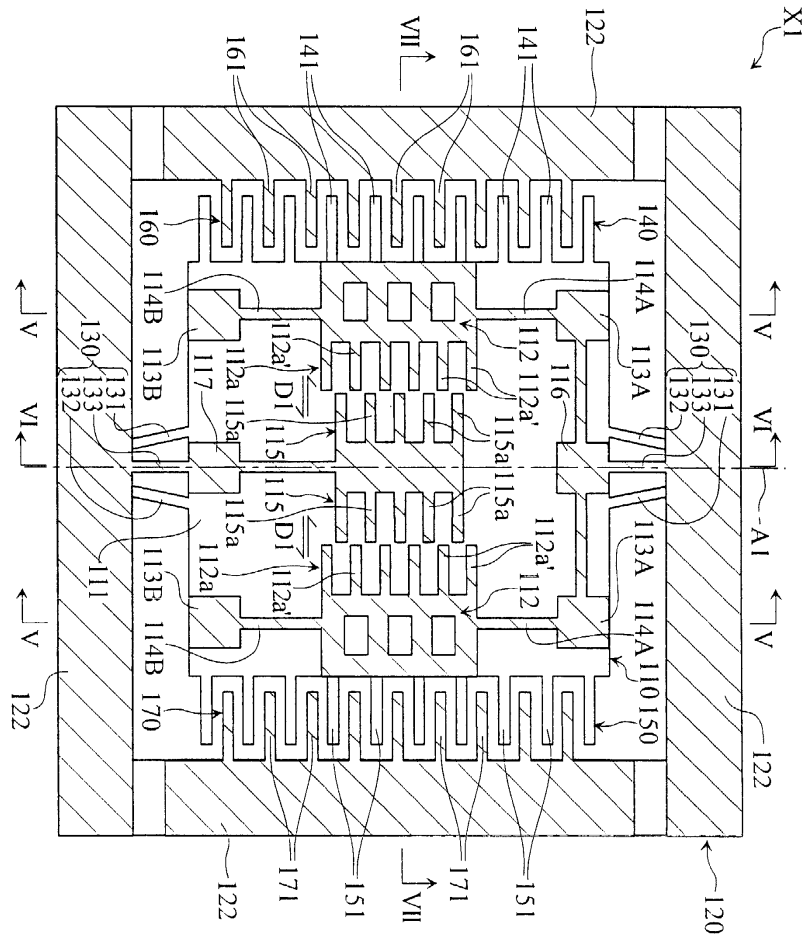
- <190> 113A, 113B, 213, 224 : 지지 베이스부
- <191> 114A, 114B : 지지 받침
- <192> 116, 117, 227 : 배선부
- <193> 120, 220, 320 : 프레임
- <194> 121, 221, 321 : 제1층부
- <195> 122, 222, 322 : 제2층부
- <196> 130, 230, 330 : 연결부
- <197> 131, 132, 133, 231, 232, 233, 331 : 토션 바아
- <198> 212A, 212B, 223A, 223B : 가동부
- <199> 214, 225 : 스프링부

도면

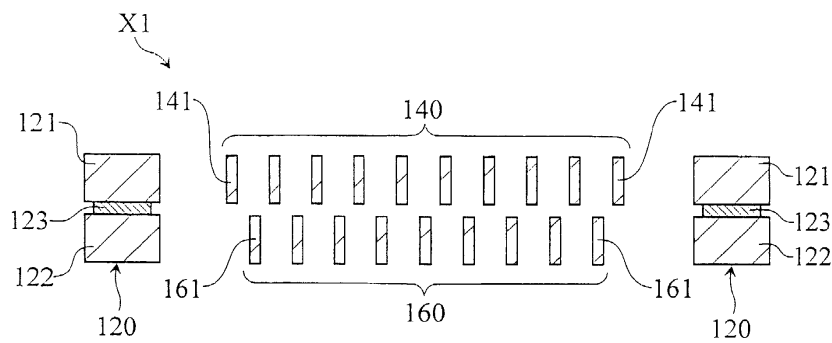
도면1



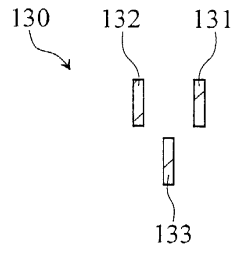
도면2



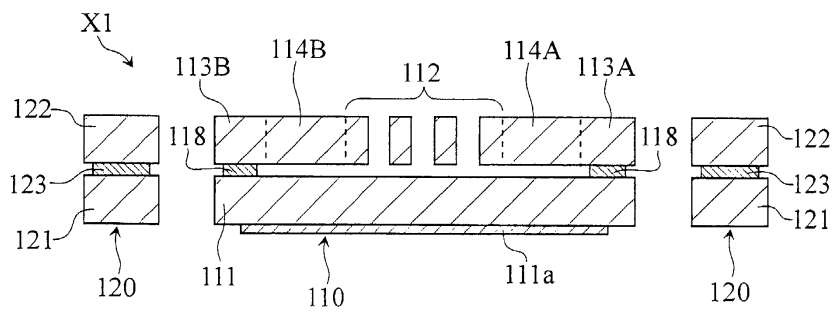
도면3



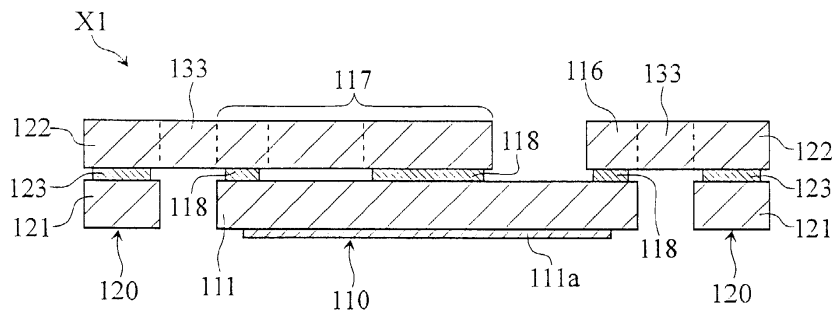
도면4



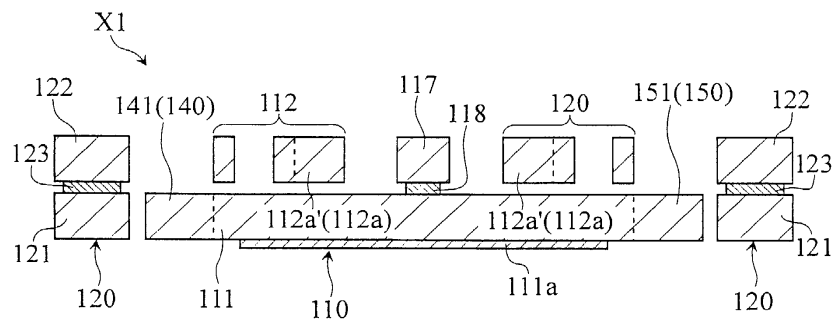
도면5



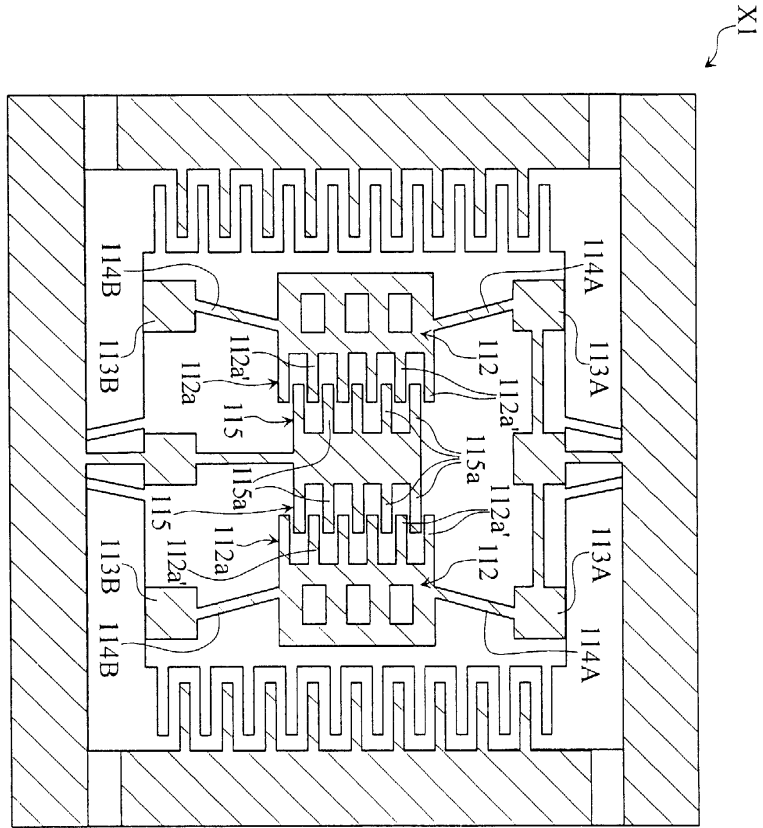
도면6



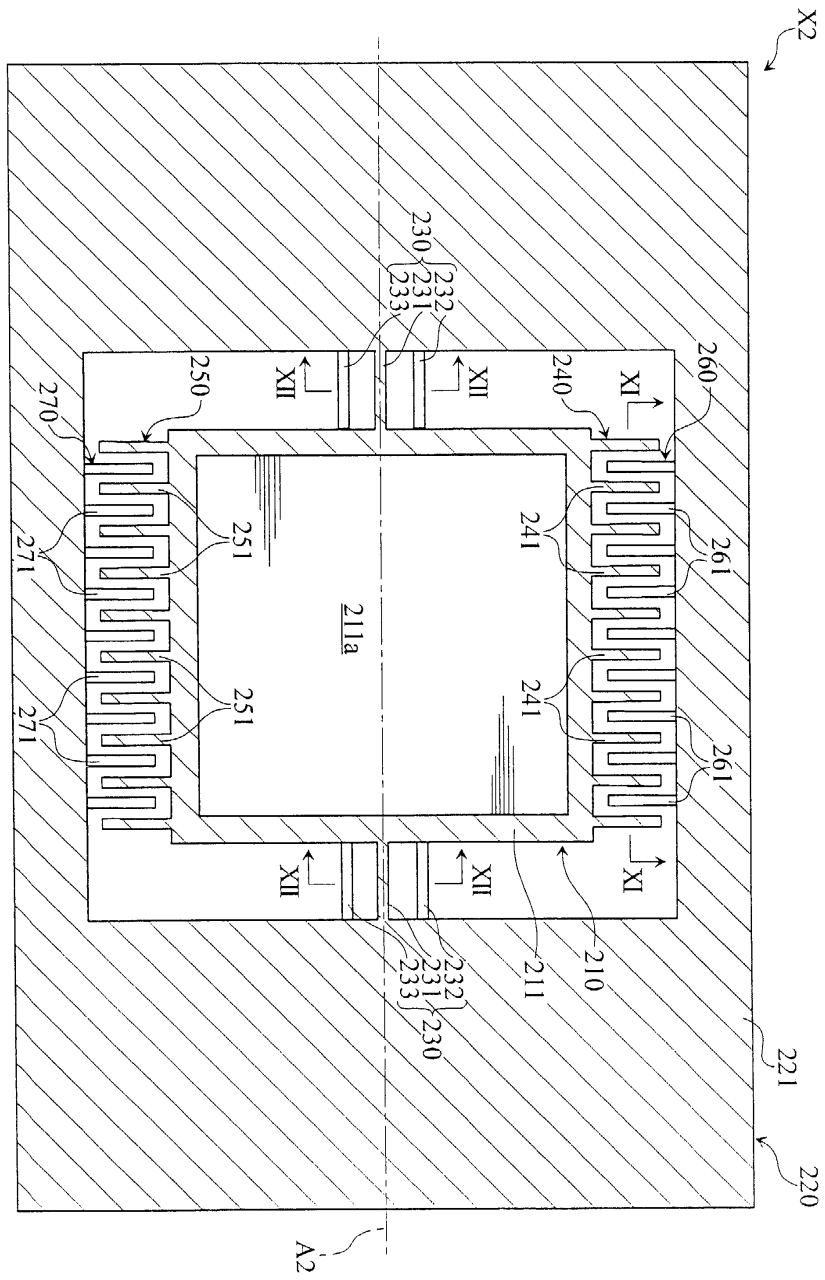
도면7



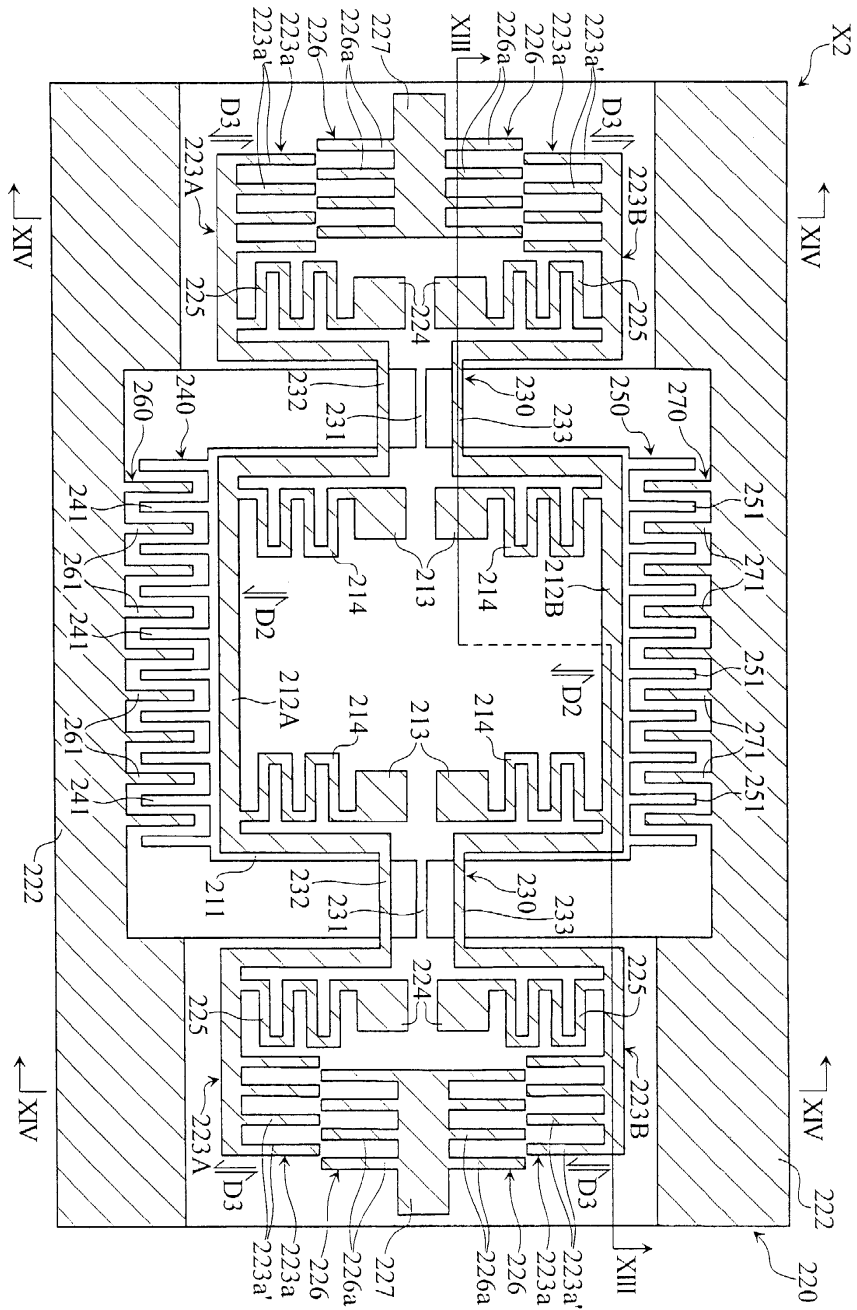
도면8



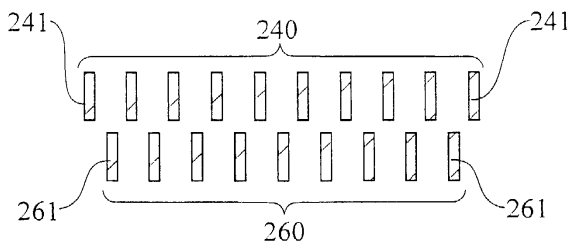
도면9



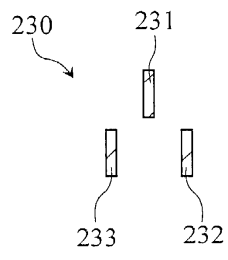
도면10



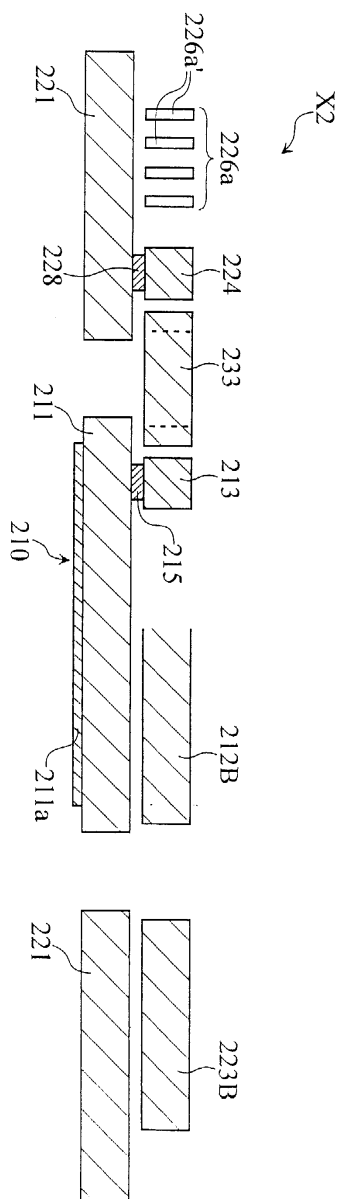
도면11



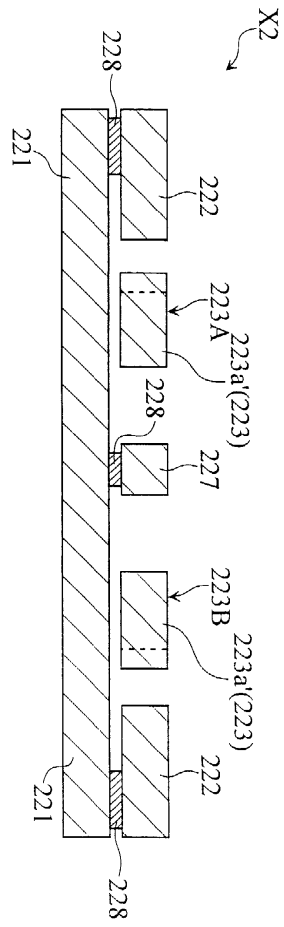
도면12



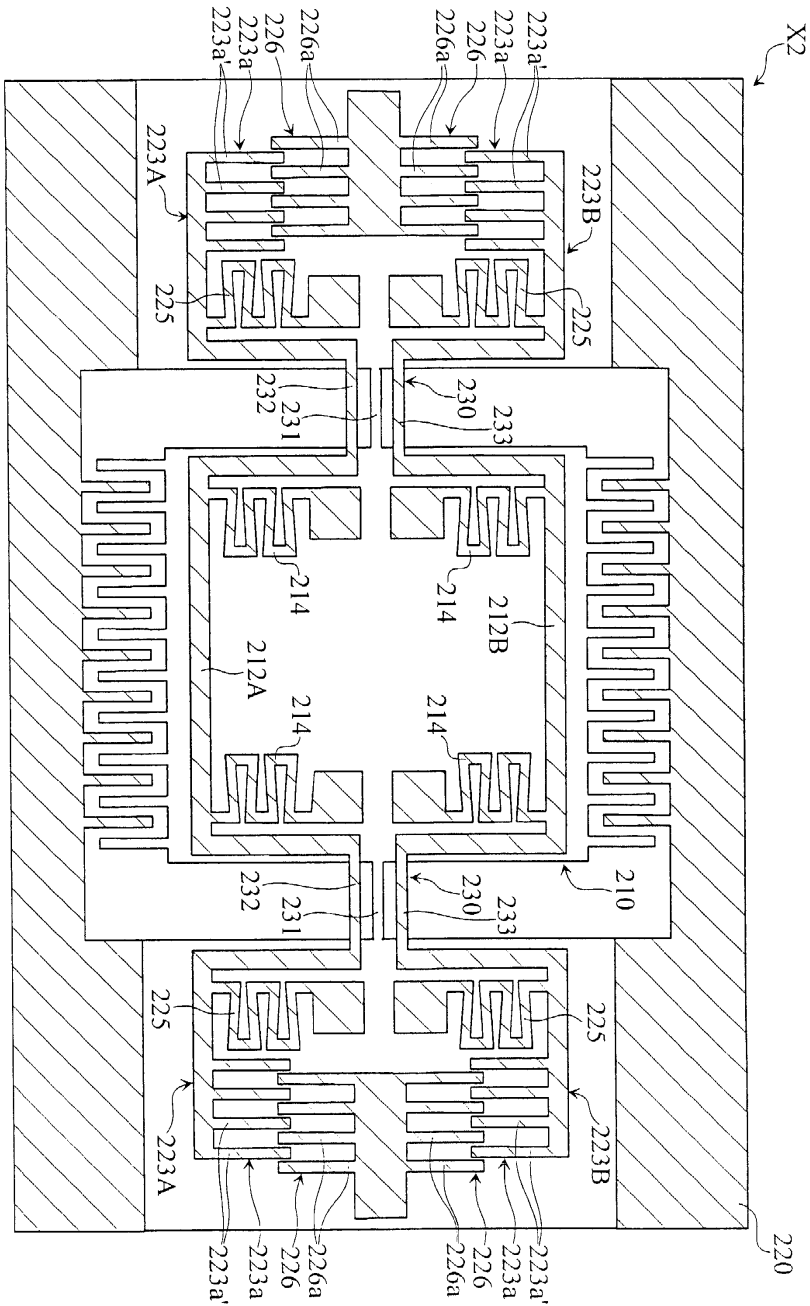
도면13



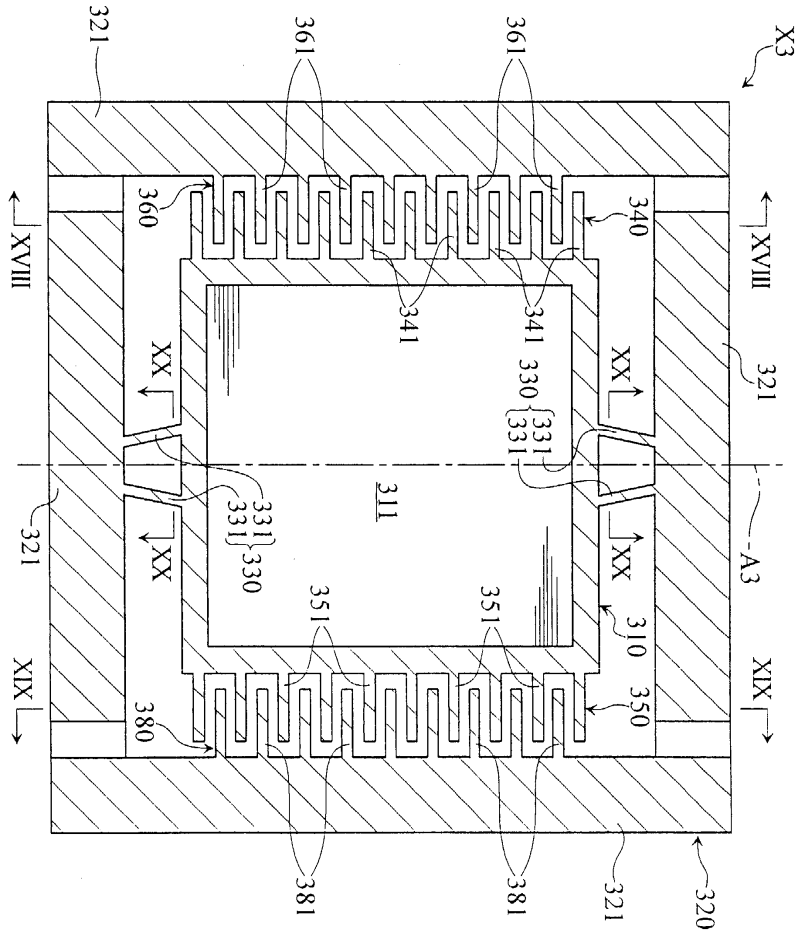
도면14



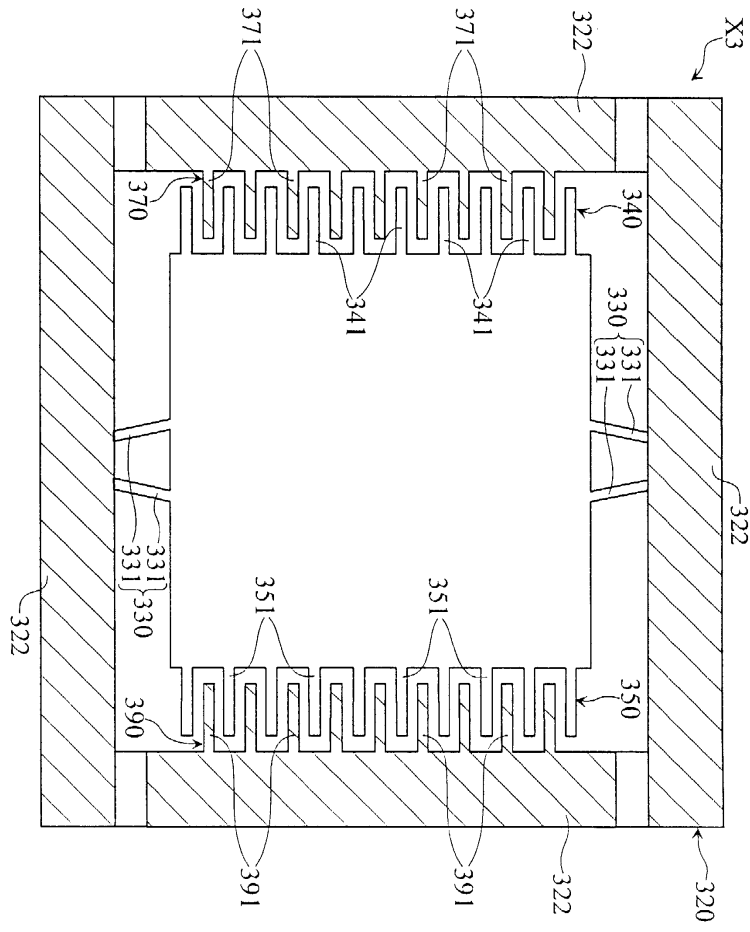
도면15



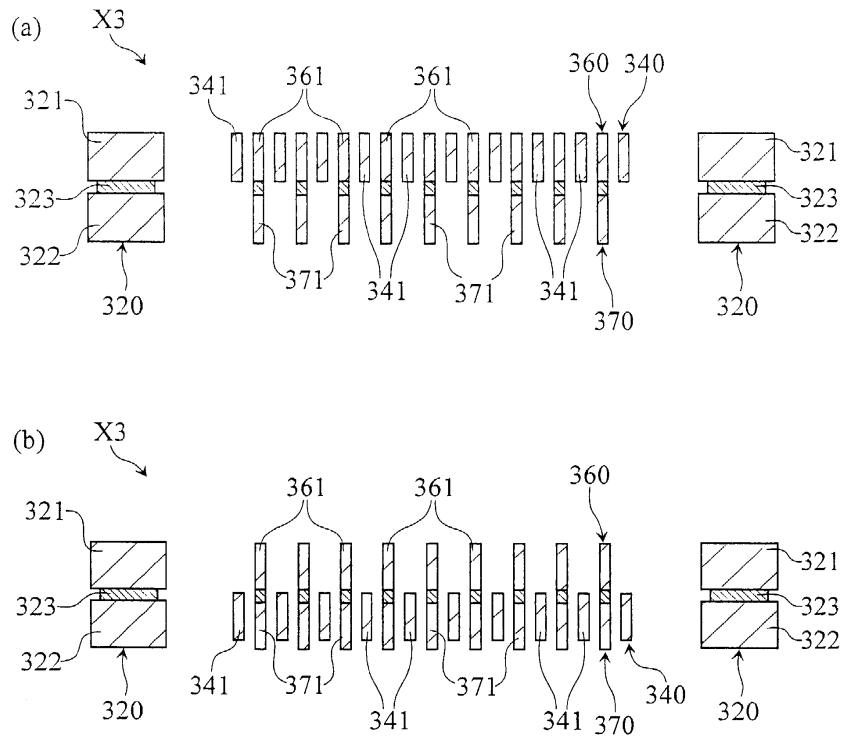
도면16



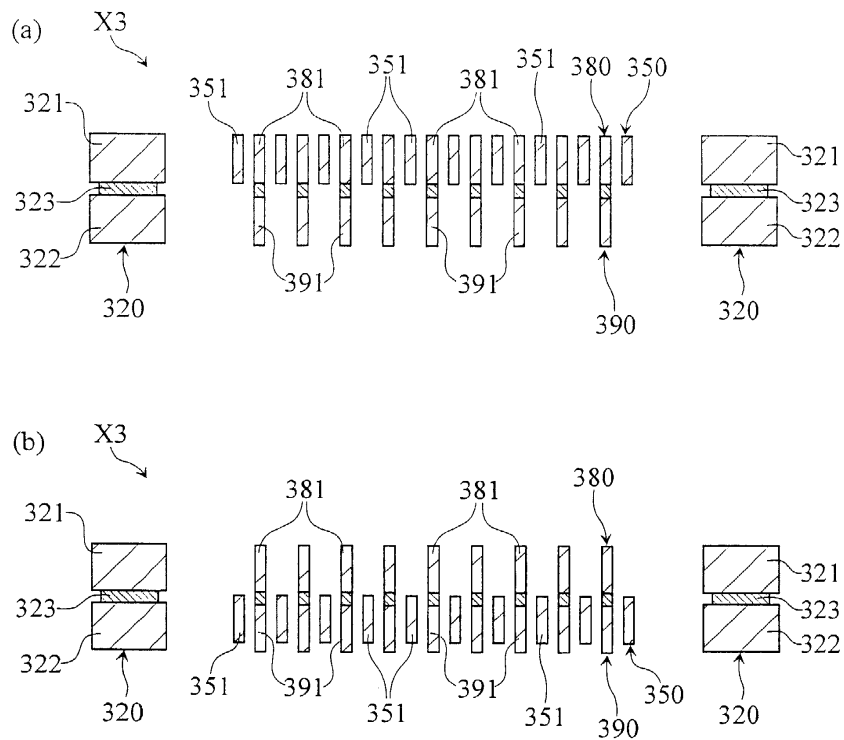
도면17



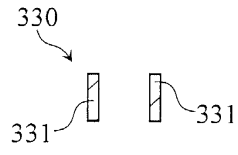
도면18



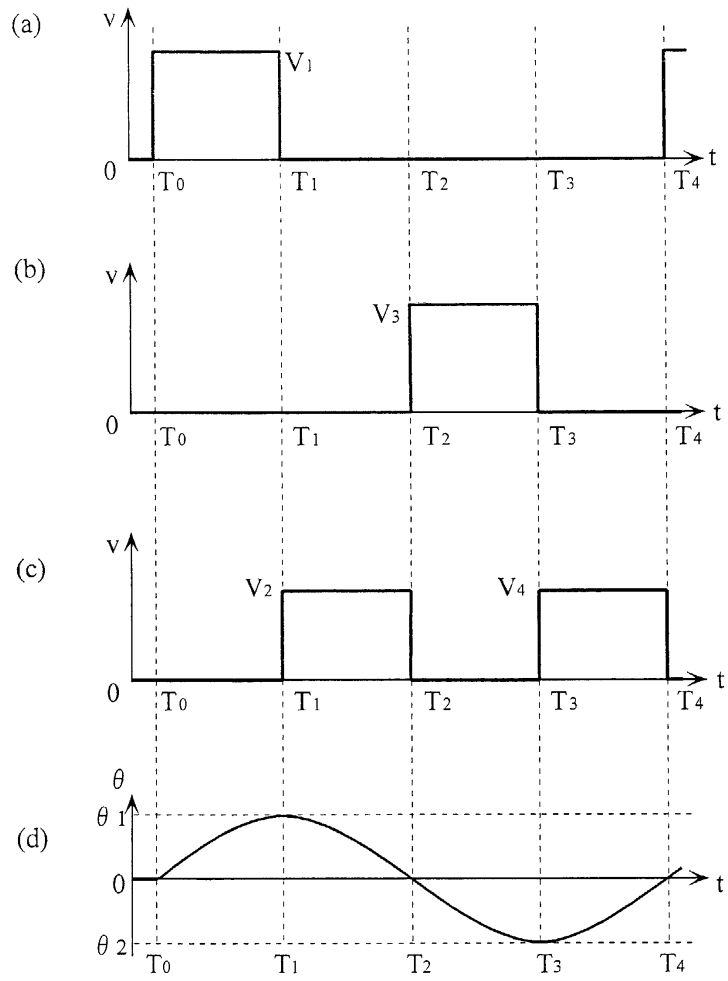
도면19



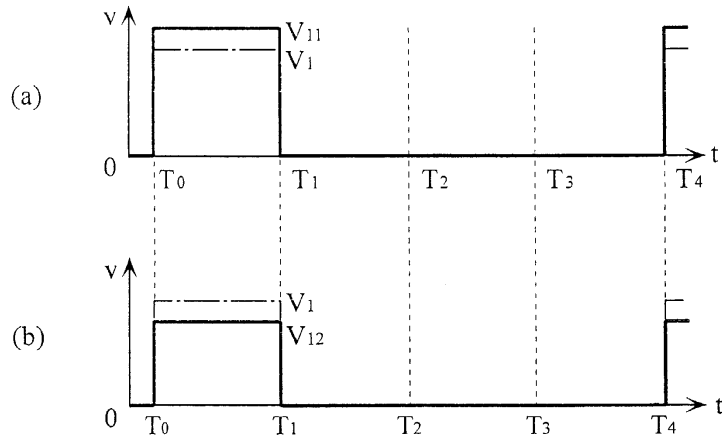
도면20



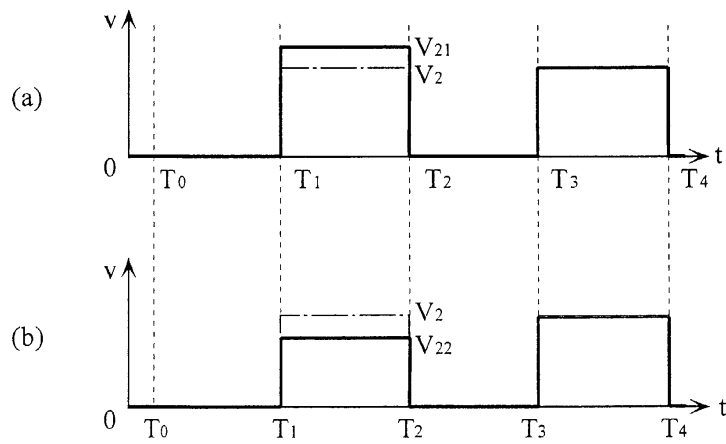
도면21



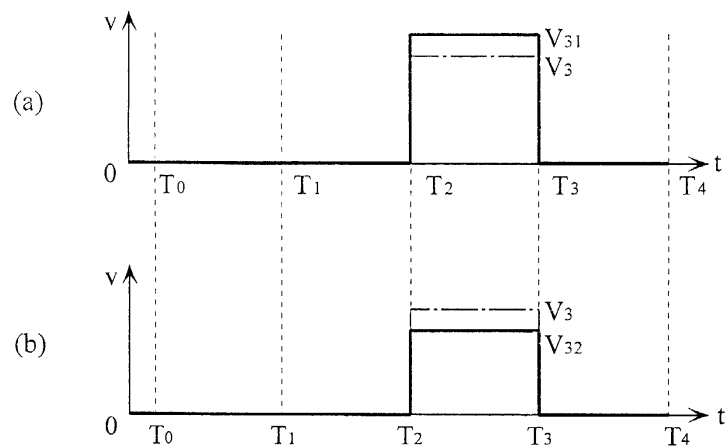
도면22



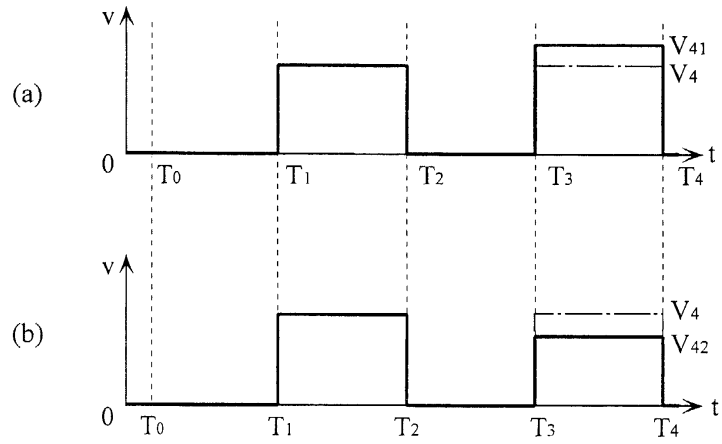
도면23



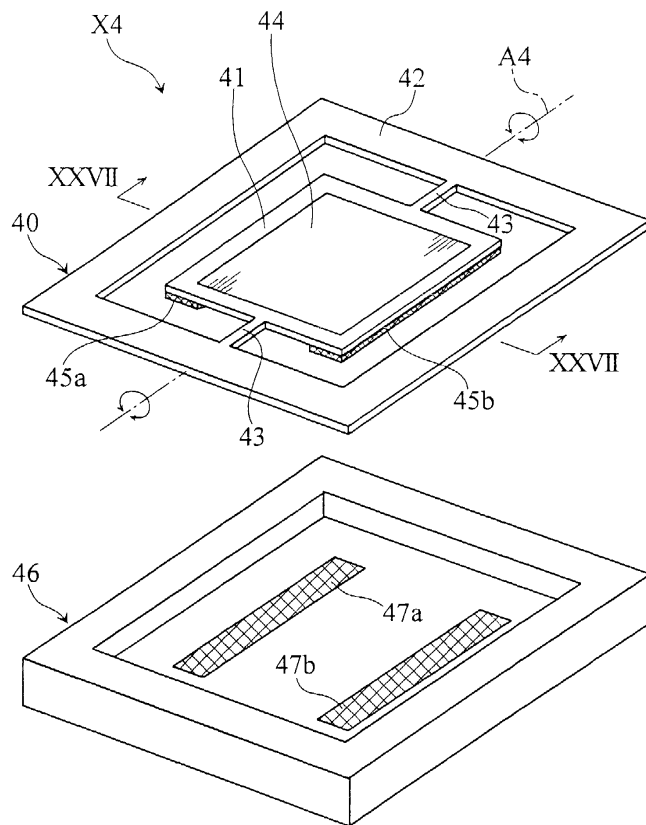
도면24



도면25



도면26



도면27

