



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2010-0061731  
 (43) 공개일자 2010년06월08일

(51) Int. Cl.

*H01L 21/3213* (2006.01) *B01D 53/68* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-7008055  
 (22) 출원일자(국제출원일자) 2008년09월11일  
 심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2010년04월13일  
 (86) 국제출원번호 PCT/US2008/076077  
 (87) 국제공개번호 WO 2009/036215  
 국제공개일자 2009년03월19일

(30) 우선권주장  
 60/972,748 2007년09월14일 미국(US)

(71) 출원인

켈컴 엠이엠스 테크놀로지스, 인크.

미국 92121-1714 캘리포니아 샌디에고 모어하우스 드라이브 5775

(72) 발명자

안, 시아오밍

미국 캘리포니아 94087 씨니베일 #1 블레어 애비뉴 865

호, 축

미국 캘리포니아 95035 밀피타스 오벨라스 드라이브 2077

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 아주양현

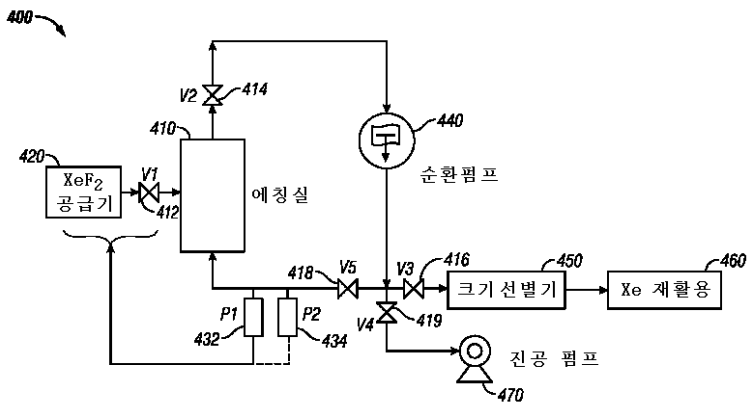
전체 청구항 수 : 총 102 항

**(54) MEMS 제조에 이용되는 에칭 방법**

**(57) 요약**

본 발명에 의하면, 희가스 불화물, 예컨대, 이불화제논( $XeF_2$ )을 포함하는 에칭제를 이용해서 희생층을 에칭하는 단계를 포함하는, 전자기계 장치를 제조하는 방법이 제공된다. 이러한 에칭 공정의 효율은 각종 방법으로 증가될 수 있고, 에칭 공정의 비용은 저감시킬 수 있다. 미사용 에칭제는 에칭 공정 중에 단리되어 재활용시킬 수 있다. 에칭 부산물은 에칭 공정 동안 에칭계로부터 회수되어 제거될 수 있다. 에칭제의 성분들은 단리되어, 일반적인 추가의 에칭제에 이용될 수 있다. 에칭제 혹은 에칭될 층의 어느 한쪽 혹은 양쪽 모두는 특정 에칭 공정을 위해 최적화되어 있을 수도 있다.

**대표도** - 도15



(72) 발명자

**힐드, 데이비드**

미국 캘리포니아 93463 솔뱅 발라드 캐년 로드 976

**구시브, 예브게니**

미국 캘리포니아 95070 사라토가 사라토가 비스타  
코트 20205

**허출러, 벤자민, 떠블류.**

미국 캘리포니아 95031 로스 가토스 피오 박스  
33171

**플로이드, 필립**

미국 캘리포니아 94062 레드우드 시티 미드필드 웨  
이 3602

**사사가와, 테루오**

미국 캘리포니아 95032 로스 가토스 #18 로스 가토  
스 블러바드 16345

**론더간, 아나**

미국 캘리포니아 95051 산타 클라라 파체코 스트리  
트 1448

**비타, 이온**

미국 캘리포니아 95134 산호세 아파트먼트 1204 리  
오 로블스 이스트 65

**시온, 토드 라일**

미국 캘리포니아 95134-1923 산호세 정션 애비뉴  
2581

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

에칭될 층을 포함하는 전자장치(electronic device)를 제공하는 단계로서, 해당 전자장치는 에칭실 내에 위치되어 있는 것인 전자장치의 제공단계;

상기 회생층을, 희가스 불화물(noble gas fluoride)을 포함하는 에칭제에 노출시키는 단계;

상기 에칭실로부터 가스를 회수하는 단계; 및

상기 회수된 가스로부터 희가스 불화물을 분리하기 위하여 상기 회수된 가스를 처리하는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 희가스 불화물은  $XeF_2$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 분리된 희가스 불화물을 상기 에칭실로 되돌려 보내는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

### 청구항 4

제1항에 있어서, 상기 에칭제는  $O_2$ 를 추가로 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

### 청구항 5

제1항에 있어서, 상기 회수된 가스를 처리하는 단계는 저온 트랩(cold trap)을 이용해서 상기 희가스 불화물을 분리하는 단계를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

### 청구항 6

제1항에 있어서, 상기 회수된 가스를 처리하는 단계는 크기 선별기(size discriminator)를 이용해서 상기 희가스 불화물을 분리하는 단계를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

### 청구항 7

제1항에 있어서, 분리된 희가스 불화물을 정제하는(purifying) 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

### 청구항 8

제1항에 있어서, 상기 에칭제에 상기 회생층을 노출시키는 공정 동안 상기 에칭실에 추가의 희가스 불화물을 방출시켜,  $XeF_2$ 의 분압(partial pressure)을 미리 정해진 수준에서 유지시키는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

### 청구항 9

제1항에 있어서, 상기 에칭될 층은 회생 재료를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

### 청구항 10

제1항에 있어서, 상기 전자장치는 MEMS 장치를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

### 청구항 11

제1항에 있어서, 상기 전자장치는 간섭계 변조기(interferometric modulator)를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 12**

에칭될 층을 포함하는 전자장치를 제공하는 단계로서, 해당 전자장치는 에칭실 내에 위치되어 있는 것인 전자장치의 제공단계;

상기 회생층을, 희가스 불화물을 포함하는 에칭제에 노출시키는 단계;

상기 에칭실로부터 가스를 회수하는 단계; 및

희가스를 분리하기 위하여 상기 회수된 가스를 처리하는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 13**

제12항에 있어서, 상기 희가스 불화물은  $XeF_2$ 를 포함하고, 상기 희가스는 Xe을 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 14**

제12항에 있어서, 상기 희가스를 분리하기 위하여 상기 회수된 가스를 처리하는 단계는, 원소 희가스(elemental noble gas)를 얻기 위하여 상기 회수된 가스 내의 희가스-함유 종을 변환시키는 단계를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 15**

제14항에 있어서, 상기 희가스-함유 종을 변환시키는 단계는, 액체 배스 변환기(liquid bath converter), 고체 베드 변환기(solid bed converter) 또는 기체 배스 변환기(gas bath converter) 중 적어도 하나를 이용하는 단계를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 16**

제12항에 있어서, 상기 희가스를 분리하기 위하여 상기 회수된 가스를 처리하는 단계는, 상기 에칭실로부터의 가스의 적어도 일부를, 상기 희가스의 비점과 실질적으로 근사한 비점을 지니는 부산물과 상호작용하도록 구성된 활성제(active agent)에 노출시키는 단계를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 17**

제12항에 있어서, 상기 희가스를 분리하기 위하여 상기 회수된 가스를 처리하는 단계는 저온 트랩을 이용하는 단계를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 18**

제12항에 있어서, 상기 전자장치는 MEMS 장치를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 19**

제12항에 있어서, 상기 전자장치는 간섭계 변조기를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 20**

전자장치를 제조하는데 이용하기 위한 에칭장치로서,

에칭될 층을 포함하는 전자장치를 보유하는 에칭실;

희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 보존하도록 구성된 동시에, 상기 에칭실에 작동가능하게 부착된(operably attached) 보존실; 및

희가스-함유 공정 가스(noble gas-containing process gas)를 단리시키도록 구성된 동시에, 상기 에칭실에 작동가능하게 부착된 분리 요소(separation component)를 포함하는 에칭장치.

**청구항 21**

제20항에 있어서, 상기 희가스 불화물은  $XeF_2$ 를 포함하는 것인 에칭장치.

**청구항 22**

제20항에 있어서, 상기 희가스-함유 공정 가스는 원소 희가스를 포함하는 것인 에칭장치.

**청구항 23**

제20항에 있어서, 상기 희가스-함유 공정 가스는 상기 희가스 불화물을 포함하는 것인 에칭장치.

**청구항 24**

제20항에 있어서, 상기 분리 요소는 저온 트랩을 포함하는 것인 에칭장치.

**청구항 25**

제20항에 있어서, 상기 분리 요소는 크기 선별기를 포함하는 것인 에칭장치.

**청구항 26**

에칭될 층을 포함하는 전자장치를 구비한 처리실(process chamber)을 제공하는 단계;

희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 팽창실(expansion chamber) 내에 도입하는 단계;

상기 팽창실의 용적을 감소시켜 상기 에칭제의 압력을 증가시키는 단계; 및

연어진 가압된 에칭제를 상기 처리실 내로 도입하여 해당 에칭제에 상기 희생층을 노출시키는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 27**

제26항에 있어서, 상기 희가스 불화물은  $XeF_2$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 28**

제26항에 있어서, 상기 에칭제는 소정의 지속 시간 동안 처리실 내에서 유지되고,

상기 방법은 상기 지속 시간의 종결 시 상기 처리실로부터 상기 가스의 적어도 일부를 제거하는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 29**

제27항에 있어서, 상기 처리실로부터 상기 가스의 적어도 일부를 제거한 후, 해당 처리실 내로 추가의 에칭제를 도입하는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 30**

제29항에 있어서, 상기 처리실로부터 상기 가스의 적어도 일부를 제거하기 전에 상기 추가의 에칭제를 상기 팽창실 내로 도입하는 단계 및 상기 추가의 에칭제를 압축시키는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 31**

제26항에 있어서, 상기 팽창실을 상기 처리실보다 높은 온도에서 유지하는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 32**

제26항에 있어서, 상기 전자장치는 MEMS 장치를 포함하고, 상기 에칭될 층은 희생층을 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 33**

에칭될 층을 포함하는 전자장치를 수용하는 처리실을 제공하는 단계;

희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 상기 처리실 내로 도입하는 단계; 및

상기 에칭제의 분압을 증가시키기 위하여 상기 에칭제의 도입 후 상기 처리실의 용적을 감소시키는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 34**

제33항에 있어서, 상기 희가스 불화물은  $XeF_2$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 35**

제33항에 있어서, 상기 처리실에 상기 에칭제를 도입하기 전에 가변가능한 용적을 지닌 팽창실 내로 해당 에칭제를 도입하는 단계; 및 상기 팽창실의 용적을 저감시키는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 36**

제33항에 있어서, 상기 에칭제는 소정의 지속 시간 동안 처리실 내에서 유지되고, 상기 방법은

상기 처리실로부터 상기 가스의 적어도 일부를 제거하는 단계;

상기 처리실의 용적을 증가시키는 단계;

상기 처리실의 용적을 증가시킨 후 상기 처리실 내로 추가의 에칭제를 도입하는 단계; 및

상기 추가의 에칭제의 도입 후 상기 처리실의 용적을 감소시키는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 37**

전자장치를 제조하는데 이용하기 위한 에칭장치로서,

희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 보존하도록 구성된 보존실; 및

에칭될 전자장치를 수용하도록 구성된 처리실을 포함하되,

상기 처리실은 상기 보존실과 유체 연통(fluid communication)하고, 상기 처리실은 가변 용적을 지니는 것인 에칭장치.

**청구항 38**

제37항에 있어서, 상기 희가스 불화물은  $XeF_2$ 를 포함하는 것인 에칭장치.

**청구항 39**

전자장치를 제조하는데 이용하기 위한 에칭장치로서,

희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 보존하도록 구성된 보존실;

상기 보존실과 유체 연통하는 팽창실; 및

에칭될 전자장치를 수용하도록 구성된 처리실을 포함하되,

상기 팽창실은 가변 용적을 지니고, 상기 처리실은 상기 팽창실과 유체 연통하는 것인 에칭장치.

**청구항 40**

제39항에 있어서, 상기 희가스 불화물은  $XeF_2$ 를 포함하는 것인 에칭장치.

**청구항 41**

에칭될 층을 포함하는 전자장치를 수용하는 처리실을 제공하는 단계;

상기 처리실 내로 희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 도입하는 단계;

상기 처리실 내의 상기 에칭제의 분압을 모니터링하는 단계; 및

상기 처리실 내의 상기 에칭제의 모니터링된 분압에 적어도 부분적으로 의거해서 상기 처리실 내로 추가의 에칭제를 도입하는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 42**

제41항에 있어서, 상기 처리실의 총 압력을 모니터링하는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 43**

제41항에 있어서, 상기 처리실 내의 상기 에칭제의 모니터링된 분압에 적어도 부분적으로 의거해서 상기 처리실 내로 추가의 에칭제를 도입하는 단계는, 소정 시간 주기에 걸쳐 상기 처리실 내의 상기 에칭제의 적어도 최소 분압을 모니터링하는 단계를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 44**

제41항에 있어서, 상기 처리실 내의 상기 에칭제의 모니터링된 분압에 적어도 부분적으로 의거해서 상기 처리실 내로 추가의 에칭제를 도입하는 단계는, 상기 에칭제의 분압이 원하는 값 이하로 떨어질 때 상기 처리실 내로 추가의 에칭제를 주기적으로 도입하는 단계를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 45**

제41항에 있어서, 상기 처리실로부터 공정 가스를 제거하는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 46**

제45항에 있어서, 상기 공정 가스를 여과하여 해당 공정 가스로부터 회가스를 분리하는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 47**

제45항에 있어서, 상기 공정 가스를 여과하여 해당 공정 가스로부터 회가스를 분리하는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 48**

제41항에 있어서, 상기 전자장치는 MEMS 장치를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 49**

전자장치를 제조하는데 이용하기 위한 에칭장치로서,

회가스 불화물을 포함하는 에칭제를 보존하도록 구성된 보존실;

에칭 공정 동안 전자장치를 유지하는 에칭실;

상기 에칭실 내의 에칭제의 분압을 결정하도록 구성된 제1센서; 및

상기 에칭실과 상기 보존실 사이에 유체 통로를 따라 배치되어, 상기 제1센서에 작동가능하게 접속된 밸브를 포함하되,

상기 에칭실은 상기 보존실과 유체 연통하고,

상기 밸브는 상기 보존실 내의 상기 에칭제의 결정된 분압에 적어도 부분적으로 의거해서 상기 보존실과 상기 에칭실 사이에 에칭제의 유속을 제어하도록 구성된 것인 에칭장치.

**청구항 50**

제49항에 있어서, 상기 밸브에 작동가능하게 접속된 제2센서를 추가로 포함하되, 상기 제2센서는 상기 에칭실 내의 총 압력을 결정하도록 구성된 것인 에칭장치.

**청구항 51**

제49항에 있어서, 상기 처리실로부터 회수된 다른 가스로부터 미사용 회가스 불화물을 분리하도록 구성된 부산

물 제거기를 추가로 포함하는 에칭장치.

**청구항 52**

제49항에 있어서, 다른 공정 가스로부터 회가스를 분리하도록 구성된 크기 선별기를 추가로 포함하는 에칭장치.

**청구항 53**

제49항에 있어서, 상기 회가스 불화물은  $XeF_2$ 를 포함하는 것인 에칭장치.

**청구항 54**

희생 재료를 포함하는 전자장치를 제조하는 방법으로서,  
 희생 재료를 포함하는 전자장치를 제공하는 단계; 및  
 상기 전자장치를 에칭제에 노출시키는 단계를 포함하되,  
 상기 희생 재료는 일반식  $M_pX_q$ 의 화합물을 포함하며, 식 중, M은 Mo, W, Si 및 Ge로부터 선택되고; X는 Cl, F, O, N 및 Si로부터 선택되며; M은 X와는 상이하고, p 및 q는 1 내지 6의 정수이며, 주어진 M에 대한  $M_pX_q$ 의 몰부피는 M의 몰부피보다 큰 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 55**

제54항에 있어서, 상기 에칭제는 회가스 불화물을 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 56**

제55항에 있어서, 상기 에칭제는  $O_2$ 를 추가로 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 57**

제55항에 있어서, 상기 에칭제는  $XeF_2$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 58**

제57항에 있어서, 주어진 M에 대해서,  $M_pX_q$ 의 몰 단위는 M의 몰단위보다 작은 부피의  $XeF_2$ 에 의해 에칭가능한 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 59**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $MoF_3$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 60**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $MoF_4$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 61**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $MoF_6$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 62**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $MoN$ 을 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 63**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $MoSi_2$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 64**



제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $\text{MoO}_2$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 65**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $\text{MoO}_3$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 66**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $\text{MoCl}_3$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 67**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $\text{WN}_2$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 68**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $\text{WCl}_4$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 69**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $\text{WO}_2$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 70**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $\text{WF}_4$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 71**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $\text{SiO}$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 72**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 73**

제54항에 있어서, 상기 희생 재료는  $\text{GeF}_2$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 74**

희생 재료를 포함하는 반제품상태의 전자장치(partially fabricated electronic device)로서, 상기 희생재료는 일반식  $\text{M}_p\text{X}_q$ 의 화합물을 포함하며, 식 중, M은 Mo, W, Si 및 Ge로부터 선택되고; X는 Cl, F, O, N 및 Si로부터 선택되며; M은 X와는 상이하고, p 및 q는 1 내지 6의 정수이며, 주어진 M에 대한  $\text{M}_p\text{X}_q$ 의 몰부피는 M의 몰부피보다 큰 것인, 반제품상태의 전자장치.

**청구항 75**

제74항에 있어서, 주어진 M에 대해서,  $\text{M}_p\text{X}_q$ 의 몰 단위는 M의 몰단위보다 작은 부피의  $\text{XeF}_2$ 에 의해 에칭가능한 것인, 반제품상태의 전자장치.

**청구항 76**

MEMS 장치를 제조하는데 이용하기 위한 에칭장치로서,

$\text{XeF}_2$  및  $\text{O}_2$ 를 포함하는 에칭제를 보존하도록 구성된 보존 시스템;

상기 보존 시스템과 유체 연통하고, 에칭 공정 동안 MEMS 장치를 보유하도록 구성된 에칭실; 및

상기 에칭실과 유체 연통하고, 상기 에칭 공정의 부산물을 제거하도록 구성된 저온 트랩을 포함하는 에칭장치.

**청구항 77**

제76항에 있어서, 상기 보존 시스템은

XeF<sub>2</sub>를 보존하도록 구성된 제1보존실;

O<sub>2</sub>를 보존하도록 구성된 제2보존실; 및

상기 제1보존실과 제2보존실의 양쪽 모두와 유체 연통하는 혼합실을 포함하는 것인 에칭장치.

**청구항 78**

제76항에 있어서, 퍼지 보존실(purge storage chamber)을 추가로 포함하되, 해당 퍼지 보존실은 퍼지 가스를 보존하도록 구성되고, 상기 퍼지 보존실은 상기 에칭실과 유체 연통하는 것인 에칭장치.

**청구항 79**

제76항에 있어서, 상기 에칭실과 유체 연통하여, 상기 에칭실로부터 공정 가스를 제거하도록 구성된 배기 펌프; 및 상기 공정 가스로부터 구성 성분들을 분리하도록 구성된 크기 선별기를 추가로 포함하는 에칭장치.

**청구항 80**

희생층과 해당 희생층의 제1측면에 인접한 하나 이상의 광투과층을 포함하는 미해방된(unreleased) 전자장치를 에칭실에 제공하는 단계;

상기 희생층의 일부를 통해 초기 에칭을 수행하는 단계;

상기 에칭실 내로 가스 상태의 에칭제 전구체(precursor)를 방출하는 단계; 및

상기 희생층의 나머지 부분을 에칭할 수 있는 화학적 활성종을 형성하기 위하여, 상기 가스 상태의 에칭제 전구체를 물리적으로 여기시키는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 81**

제80항에 있어서, 초기 에칭은 상기 광투과층의 적어도 일부를 노출시키는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 82**

제80항에 있어서, 상기 가스 상태의 에칭제 전구체를 물리적으로 여기시키는 단계는 상기 광투과층을 통해서 상기 에칭제 전구체를 UV 광에 노광시키는 단계를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 83**

제80항에 있어서, 상기 가스 상태의 에칭제 전구체를 물리적으로 여기시키는 단계는 플라즈마 에칭을 수행하는 단계를 포함하지 않는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 84**

제80항에 있어서, 상기 에칭실 내로 균질 촉매(homogenous catalyst)를 방출시키는 단계를 추가로 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 85**

제84항에 있어서, 상기 균질 촉매는 Kr 또는 Xe를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 86**

제80항에 있어서, 상기 가스 상태의 에칭제는 OF<sub>2</sub>를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 87**

제80항에 있어서, 상기 가스 상태의 에칭제는 OF<sub>2</sub>의 유도체를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 88**

제80항에 있어서, 상기 전자장치는 MEMS 장치를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 89**

제80항에 있어서, 상기 전자장치는 간접계 변조기를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 90**

에칭될 층의 노출된 부분을 포함하는 반제품상태의 전자장치를 처리실 내에 제공하는 단계;

자외선 방사선(ultraviolet radiation)에의 노광에 의해 활성화될 수 있는 가스 상태의 에칭제를 상기 처리실 내로 도입하는 단계; 및

상기 에칭될 층의 일부를 자외선 레이저로부터의 방사선에 노광시키는 단계를 포함하되,

상기 자외선 레이저로부터의 방사선에의 노광은 상기 가스 상태의 에칭제를 활성화시키는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 91**

제90항에 있어서, 상기 에칭될 층의 일부를 자외선 레이저로부터의 방사선에 노광시키기 전에 상기 처리실에 라디칼 포착제(radical scavenger)를 도입하는 단계를 추가로 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 92**

제90항에 있어서, 상기 가스 상태의 에칭제는 자외선 방사선에의 노광 시 해리되도록 구성된 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 93**

제90항에 있어서, 상기 가스 상태의 에칭제는 자외선 방사선에의 노광 시 화학적으로 활성 상태로 여기되도록 구성된 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 94**

에칭될 층을 포함하는 전자장치를 처리실 내에 제공하는 단계;

불소 및 희가스를 포함하는 가스 상태의 전구체 혼합물을 제공하는 단계;

상기 가스 상태의 전구체 혼합물을 자외선 방사선에 노광시켜 희가스 불화물을 형성시키는 단계; 및

상기 희가스 불화물에 상기 전자장치를 노출시키는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 95**

제94항에 있어서, 상기 희가스는 Xe을 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 96**

제94항에 있어서, 상기 희가스는 Kr을 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 97**

제94항에 있어서, 상기 가스 상태의 에칭제 전구체는 상기 처리실과 유체 연통하는 독립된 실(separate chamber) 내에서 UV 방사선에 노광되고, 상기 희가스 불화물에 상기 전자장치를 노출시키는 단계는 상기 독립된 실로부터 처리실 내로 상기 희가스 불화물을 방출시키는 단계를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 98**

제94항에 있어서, 상기 가스 상태의 전구체 혼합물은 상기 처리실 내로 방출되고, 자외선 방사선에의 노광은 상기 희가스 불화물을 인 시투(*in situ*)로 발생시키는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 99**

에칭될 층을 포함하는 전자장치를 처리실 내로 제공하는 단계;

회가스 불소를 포함하는 에칭제를 상기 처리실 내로 방출시키는 단계로서, 해당 에칭제는 상기 에칭될 층과 반응하여 원소 회가스를 부산물로서 형성하는 것인, 에칭제의 방출단계;

상기 처리실 내로 불소를 방출시키는 단계; 및

상기 불소와 원소 회가스를 자외선 방사선에 노광시켜 추가의 회가스 불소를 생성시키는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법.

**청구항 100**

제99항에 있어서, 상기 회가스 불소는  $XeF_2$ 를 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 101**

제99항에 있어서, 상기 전자장치는 상기 에칭될 층의 제1측면에 인접한 하나 이상의 광투광층을 포함하고, 상기 불소와 회가스의 적어도 일부는 상기 하나 이상의 광투광층을 통해서 상기 자외선 방사선에 노광되는 것인, 전자장치의 제조방법.

**청구항 102**

제99항에 있어서, 상기 전자장치는 MEMS 장치를 포함하고, 상기 에칭될 층은 희생층을 포함하는 것인, 전자장치의 제조방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 마이크로전자기계 시스템(MEMS: microelectromechanical systems) 장치 또는 나노전자기계 시스템(NEMS: nanoelectromechanical systems) 장치 등의 소규모 전자기계 장치에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] MEMS는 마이크로기계 소자, 작동기 및 전자 기기를 포함한다. MEMS란 용어가 편의상 본 명세서에서 이용되지만, 이 용어는 NEMS 등과 같은 소규모 장치를 망라하도록 의도되어 있다. 마이크로기계 소자는 기관 및/또는 증착(혹은 침착(deposition)); 이하 본 명세서에서는 "증착"이라 표기함)된 재료층의 일부를 에칭해내거나 층들을 추가하여 전기 및 전자기계 장치를 형성하는 증착, 에칭 및/또는 기타 미세기계가공(micromachining) 공정들을 이용하여 형성될 수도 있다. MEMS 장치의 한 유형은 간섭계 변조기(interferometric modulator)라 불린다. 본 명세서에서 이용되는 바와 같이, 간섭계 변조기 또는 간섭계 광 변조기(interferometric light modulator)라는 용어는 광학적 간섭의 원리를 이용하여 광을 선택적으로 흡수 및/또는 반사하는 장치를 의미한다. 소정의 실시형태에 있어서, 간섭계 변조기는 1쌍의 도전판을 포함할 수도 있는데, 상기 1쌍의 도전판 중 어느 하나 또는 양쪽 모두가 전체 또는 부분적으로 투과형 및/또는 반사형일 수도 있고 적절한 전기 신호의 인가 시 상대 운동을 할 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, 하나의 도전판은 기관에 증착된 고정층을 포함할 수도 있고, 다른 하나의 도전판은 공기 간극(air gap)에 의해 고정층과는 분리된 금속막을 포함할 수도 있다. 본 명세서에서 보다 더 상세히 설명하는 바와 같이, 도전판의 상대적 위치에 의해서 간섭계 변조기에 입사되는 광의 광학적 간섭은 변화될 수 있다. 이러한 장치들의 적용 범위는 광범위하며, 기존의 제품들을 개선시키는 데 있어서, 그리고 아직 개발되지 않은 새로운 제품들을 만들어내는 데 있어서 이러한 유형의 장치 특성들이 사용될 수 있도록 이들 장치의 특징들을 이용 및/또는 변경하는 것은 해당 기술 분야에서 유용할 것이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0003] 본 발명은, 전자장치를 제조하는 방법, 보다 구체적으로는, MEMS 장치 등을 포함하는 전자장치의 제조방법 및 해당 전자장치의 제조에 이용하기 위한 에칭제를 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

- [0004] 일 측면에 있어서, 에칭될 층을 포함하는 전자장치를 제공하는 단계로서, 해당 전자장치는 에칭실 내에 위치되어 있는 것인 전자장치의 제공단계; 상기 희생층을, 희가스 불화물(noble gas fluoride)을 포함하는 에칭제에 노출시키는 단계; 상기 에칭실로부터 적어도 가스의 일부를 회수하는 단계; 및 상기 회수된 가스로부터 희가스 불화물을 분리하기 위하여 상기 회수된 가스를 처리하는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법이 제공된다.
- [0005] 다른 측면에 있어서, 에칭될 층을 포함하는 전자장치를 제공하는 단계로서, 해당 전자장치는 에칭실 내에 위치되어 있는 것인 전자장치의 제공단계; 상기 희생층을, 희가스 불화물을 포함하는 에칭제에 노출시키는 단계; 상기 에칭실로부터 적어도 가스의 일부를 회수하는 단계; 및 희가스를 분리하기 위하여 상기 회수된 가스를 처리하는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법이 제공된다.
- [0006] 또 다른 측면에 있어서, 전자장치를 제조하는데 이용하기 위한 에칭장치로서, 에칭될 층을 포함하는 전자장치를 보유하는 에칭실; 희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 보존하도록 구성된 동시에, 상기 에칭실에 작동가능하게 부착된(operably attached) 보존실; 및 희가스-함유 공정 가스(noble gas-containing process gas)를 단리시킴으로써 구성된 동시에, 상기 에칭실에 작동가능하게 부착된 분리 요소(separation component)를 포함하는 에칭장치가 제공된다.
- [0007] 다른 측면에 있어서, 에칭될 층을 포함하는 전자장치를 구비한 처리실(process chamber)을 제공하는 단계; 희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 팽창실(expansion chamber) 내에 도입하는 단계; 상기 팽창실의 용적을 감소시켜 상기 에칭제의 압력을 증가시키는 단계; 및 얻어진 가압된 에칭제를 상기 처리실 내로 도입하여 해당 에칭제에 상기 희생층을 노출시키는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법이 제공된다.
- [0008] 또 다른 측면에 있어서, 에칭될 층을 포함하는 전자장치를 수용하는 처리실을 제공하는 단계; 희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 상기 처리실 내로 도입하는 단계; 및 상기 에칭제의 분압(partial pressure)을 증가시키기 위하여 상기 에칭제의 도입 후 상기 처리실의 용적을 감소시키는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법이 제공된다.
- [0009] 다른 실시형태에 있어서, 전자장치를 제조하는데 이용하기 위한 에칭장치로서, 희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 보존하도록 구성된 보존실; 및 에칭될 전자장치를 수용하도록 구성된 처리실을 포함하되, 상기 처리실은 상기 보존실과 유체 연통(fluid communication)하고, 상기 처리실은 가변 용적을 지니는 것인, 에칭장치가 제공된다.
- [0010] 또 다른 실시형태에 있어서, 전자장치를 제조하는데 이용하기 위한 에칭장치로서, 희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 보존하도록 구성된 보존실; 상기 보존실과 유체 연통하는 팽창실; 및 에칭될 전자장치를 수용하도록 구성된 처리실을 포함하되, 상기 팽창실은 가변 용적을 지니고, 상기 처리실은 상기 팽창실과 유체 연통하는 것인 에칭장치가 제공된다.
- [0011] 다른 실시형태에 있어서, 에칭될 층을 포함하는 전자장치를 수용하는 처리실을 제공하는 단계; 상기 처리실 내로 희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 도입하는 단계; 상기 처리실 내의 상기 에칭제의 분압을 모니터링하는 단계; 및 상기 처리실 내의 상기 에칭제의 모니터링된 분압에 적어도 부분적으로 의거해서 상기 처리실 내로 추가의 에칭제를 도입하는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법이 제공된다.
- [0012] 또 다른 실시형태에 있어서, 전자장치를 제조하는데 이용하기 위한 에칭장치로서, 희가스 불화물을 포함하는 에칭제를 보존하도록 구성된 보존실; 에칭 공정 동안 전자장치를 유지하는 에칭실; 상기 에칭실 내의 에칭제의 분압을 결정하도록 구성된 제1센서; 및 상기 에칭실과 상기 보존실 사이에 유체 통로를 따라 배치되어, 상기 제1센서에 작동가능하게 접속된 밸브를 포함하되, 상기 에칭실은 상기 보존실과 유체 연통하고, 상기 밸브는 상기 보존실 내의 상기 에칭제의 결정된 분압에 적어도 부분적으로 의거해서 상기 보존실과 상기 에칭실 사이에 에칭제의 유속을 제어하도록 구성된 것인 에칭장치가 제공된다.
- [0013] 다른 측면에 있어서, 희생 재료를 포함하는 전자장치를 제조하는 방법으로서, 희생 재료를 포함하는 전자장치를 제공하는 단계; 및 상기 전자장치를 에칭제에 노출시키는 단계를 포함하되, 상기 희생 재료는 일반식  $M_pX_q$ 의 화합물을 포함하며, 식 중, M은 Mo, W, Si 및 Ge로부터 선택되고; X는 Cl, F, O, N 및 Si로부터 선택되며; M은 X와는 상이하고, p 및 q는 1 내지 6의 정수이며, 주어진 M에 대한  $M_pX_q$ 의 몰부피는 M의 몰부피보다 큰 것인, 전자장치의 제조방법이 제공된다.

- [0014] 또 다른 측면에 있어서, 희생 재료를 포함하는 부분적으로 제작된(즉, 반제품상태의: partially fabricated) 전자장치로서, 상기 희생재료는 일반식  $M_pX_q$ 의 화합물을 포함하며, 식 중, M은 Mo, W, Si 및 Ge로부터 선택되고; X는 Cl, F, O, N 및 Si로부터 선택되며; M은 X와는 상이하고, p 및 q는 1 내지 6의 정수이며, 주어진 M에 대한  $M_pX_q$ 의 몰부피는 M의 몰부피보다 큰 것인, 반제품상태의 전자장치가 제공된다.
- [0015] 다른 측면에 있어서, MEMS 장치를 제조하는데 이용하기 위한 에칭장치로서,  $XeF_2$  및  $O_2$ 를 포함하는 에칭제를 보존하도록 구성된 보존 시스템; 상기 보존 시스템과 유체 연통하고, 에칭 공정 동안 MEMS 장치를 보유하도록 구성된 에칭실; 및 상기 에칭실과 유체 연통하고, 상기 에칭 공정의 부산물을 제거하도록 구성된 저온 트랩(cold trap)을 포함하는 에칭장치가 제공된다.
- [0016] 또 다른 측면에 있어서, 희생층과 해당 희생층의 제1측면에 인접한 하나 이상의 광투과층을 포함하는 미해방된(unreleased) 전자장치를 에칭실에 제공하는 단계; 상기 희생층의 일부를 통해 초기 에칭을 수행하는 단계; 상기 에칭실 내로 가스 상태의 에칭제 전구체(precursor)를 방출하는 단계; 및 상기 희생층의 나머지 부분을 에칭할 수 있는 화학적 활성종을 형성하기 위하여, 상기 가스 상태의 에칭제 전구체를 물리적으로 여기시키는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법이 제공된다.
- [0017] 다른 측면에 있어서, 에칭될 층의 노출된 부분을 포함하는 반제품상태의 전자장치를 처리실 내에 제공하는 단계; 자외선 방사선(ultraviolet radiation)에의 노광에 의해 활성화될 수 있는 가스 상태의 에칭제를 상기 처리실 내로 도입하는 단계; 및 상기 에칭될 층의 일부를 자외선 레이저로부터의 방사선에 노광시키는 단계를 포함하되, 상기 자외선 레이저로부터의 방사선에의 노광은 상기 가스 상태의 에칭제를 활성화시키는 것인, 전자장치의 제조방법이 제공된다.
- [0018] 또 다른 측면에 있어서, 에칭될 층을 포함하는 전자장치를 처리실 내에 제공하는 단계; 불소 및 회가스를 포함하는 가스 상태의 전구체 혼합물을 제공하는 단계; 상기 가스 상태의 전구체 혼합물을 자외선 방사선에 노광시켜 회가스 불화물을 형성시키는 단계; 및 상기 회가스 불화물에 상기 전자장치를 노출시키는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법이 제공된다.
- [0019] 다른 측면에 있어서, 에칭될 층을 포함하는 전자장치를 처리실 내로 제공하는 단계; 회가스 불소를 포함하는 에칭제를 상기 처리실 내로 방출시키는 단계로서, 해당 에칭제는 상기 에칭될 층과 반응하여 원소 회가스(elemental noble gas)를 부산물로서 형성하는 것인, 에칭제의 방출단계; 상기 처리실 내로 불소를 방출시키는 단계; 및 상기 불소와 원소 회가스를 자외선 방사선에 노광시켜 추가의 회가스 불소를 생성시키는 단계를 포함하는, 전자장치의 제조방법이 제공된다.

**도면의 간단한 설명**

- [0020] 도 1은 제1간접계 변조기의 이동식 반사층이 이완 위치에 있고, 제2간접계 변조기의 이동식 반사층이 작동 위치에 있는 간접계 변조기 디스플레이의 일 실시형태의 일부를 나타낸 등각 투상도;
- 도 2는 3×3 간접계 변조기 디스플레이를 내장하는 전자 장치의 일 실시형태를 예시한 시스템 블록도;
- 도 3은 도 1의 간접계 변조기의 예시적인 일 실시형태에 대한 이동식 미러(movable mirror)의 위치 대 인가된 전압을 나타낸 선도;
- 도 4는 간접계 변조기 디스플레이를 구동하는 데 사용될 수 있는 한 세트의 행방향 전압(row voltage) 및 열방향 전압(column voltage)을 나타낸 도면;
- 도 5a는 도 2의 3×3 간접계 변조기 디스플레이에 있어서의 표시 데이터의 하나의 예시적인 프레임 예시한 도면;
- 도 5b는 도 5a의 프레임을 기록하는(write) 데 이용될 수 있는 행방향 신호 및 열방향 신호의 하나의 예시적인 타이밍 선도를 나타낸 도면;
- 도 6a 및 도 6b는 복수개의 간접계 변조기를 포함하는 비주얼 표시장치(visual display device)의 일 실시형태를 나타낸 시스템 블록도;
- 도 7a는 도 1의 장치의 단면도;
- 도 7b는 간접계 변조기의 대안적인 실시형태의 단면도;

- 도 7c는 간접계 변조기의 다른 대안적인 실시형태의 단면도;
- 도 7d는 간접계 변조기의 또 다른 대안적인 실시형태의 단면도;
- 도 7e는 간접계 변조기의 추가의 대안적인 실시형태의 단면도;
- 도 8은 간접계 변조기를 제조하는 방법의 일 실시형태에서의 소정의 스텝들을 예시한 순서도;
- 도 9a 내지 도 9e는 간접계 변조기를 제조하는 방법에 있어서의 각종 단계의 개략 단면도;
- 도 10은 원소 제논(elemental xenon)을 단리시키고 XeF<sub>2</sub>를 생성시키는 공정 흐름의 일례의 순서도;
- 도 11은 Xe 및 SiF<sub>4</sub>의 증기압을 온도의 함수로서 표시한 도표(plot);
- 도 12는 크기 선별기(size discriminator)를 이용해서 미사용 XeF<sub>2</sub>를 재활용하는 공정 흐름의 순서도;
- 도 13은 저온 트랩을 이용해서 미사용 XeF<sub>2</sub>를 재활용하는 공정 흐름의 순서도;
- 도 14는 전형적인 화학반응의 반응물 조성을 예시한 도표;
- 도 15는 부산물 제거기를 포함하는 에칭 시스템의 개략도;
- 도 16은 상이한 두 에칭 공정 동안 초기 XeF<sub>2</sub>에 대한 미사용 XeF<sub>2</sub>의 관계를 지속시간의 함수로서 표시한 도표;
- 도 17은 처리실 내에 에칭제의 초기 분압을 증가시키도록 구성된 에칭 시스템의 개략도;
- 도 18은 저온 트랩을 포함하는 에칭 시스템의 개략도;
- 도 19는 UV 광이 에칭제 전구체를 물리적으로 여기시키는데 이용되고 있는 MEMS 장치의 제조 과정에서 하나의 단계의 개략적 단면도;
- 도 20a는 UV 광의 OF<sub>2</sub> 흡수율을 파장의 함수로서 표시한 도표;
- 도 20b는 0.7mm 코닝(Corning) 1737 유리의 UV 투과율을 파장의 함수로서 표시한 도표;
- 도 20c는 OF<sub>2</sub>의 해리속도를 파장의 함수로서 표시한 도표.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0021]

이하의 상세한 설명은 본 발명의 임의의 특정 실시형태들에 관한 것이지만, 본 발명은 다양한 방법들로 구현될 수 있다. 이 설명에서는, 동일한 부분은 동일한 참조 부호로 표기된 도면을 참조하여 설명을 행한다. 이하의 설명으로부터 명백한 바와 같이, 각 실시형태는 동화상(예를 들어, 비디오)인지 또는 정지화상(예를 들어, 스틸 이미지(still image))인지, 그리고 문자인지 그림인지의 여부에 따라 화상을 표시하도록 구성되는 장치이면 어떠한 장치에서도 구현될 수도 있다. 더욱 상세하게는, 휴대폰, 무선 장치, PDA(personal data assistant), 초소형 또는 휴대용 컴퓨터, GPS 수신기/네비게이션, 카메라, MP3 플레이어, 캠코더, 게임 콘솔(game console), 손목 시계, 시계, 계산기, 텔레비전 모니터, 플랫 패널 디스플레이, 컴퓨터 모니터, 자동차 디스플레이(예를 들어, 주행 기록계 디스플레이 등), 콕핏 제어기(cockpit control) 및/또는 디스플레이, 카메라 뷰 디스플레이(예를 들어, 차량의 리어 뷰(rear view) 카메라의 디스플레이), 전자 사진, 전자 광고판 또는 간판, 프로젝터, 건축 구조물, 포장물 및 미술 구조물(예를 들어, 보석류에 대한 화상의 디스플레이)을 포함하지만 이들로 한정되지는 않는 다양한 전자 장치들로 구현되거나 또는 그 다양한 전자 장치들과 관련될 수 있는 것을 고려할 수 있다. 본 명세서에 기재된 것과 마찬가지로의 구조체의 MEMS 장치는 또한 전자 전환(즉, 스위칭) 장치 등에서의와 같은 표시장치가 아닌 용도에도 이용될 수 있다.

[0022]

MEMS 장치 혹은 기타 전자장치의 제조는 회생층 등과 같은 층의 에칭을 포함할 수 있다. 이용된 에칭제가 값비쌀 수 있기 때문에, 에칭 공정의 효율의 증가는 보다 적은 에칭제를 이용함으로써 제조공정의 비용을 저감시킬 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 미사용 에칭제는, 상기 에칭 공정 내로 재활용(혹은 재순환)되고, 해당 에칭 공정의 기타 부산물은 제거될 수 있다. 다른 실시형태에 있어서, 제논과 같은 에칭제의 성분들은 부산물로부터 분리될 수 있고, 이것은 추가의 에칭제를 생성하는데 이용될 수 있다. 다른 실시형태에 있어서, 에칭제와 회생층 중 어느 한쪽 혹은 양쪽 모두는 에칭 공정의 효율을 증가시키도록 혹은 보다 저렴한 에칭제의 사용을 가능하게 하도록 변경될 수 있다.

- [0023] 간섭계 MEMS 표시 소자를 포함하는 간섭계 변조기 디스플레이의 일 실시형태가 도 1에 예시되어 있다. 이들 장치에 있어서, 화소들은 명 상태(bright state) 또는 암 상태(dark state)이다. 명("온" 또는 "열린") 상태에서, 표시 소자는 입사되는 가시광의 많은 부분을 사용자에게 반사시킨다. 암("오프" 또는 "닫힌") 상태에 있을 경우, 표시 소자는 입사되는 가시 광선을 사용자에게 거의 반사하지 않는다. "온" 및 "오프" 상태의 광 반사 특성은 실시형태에 따라서 반대로 되어 있을 수도 있다. MEMS 화소들은 선택된 색에서 우선적으로 반사하도록 구성되어 흑색 및 백색에 부가해서 컬러 표시를 가능하게 한다.
- [0024] 도 1은 비주열 디스플레이의 일련의 화소에 있어서 두 개의 인접한 화소들을 나타낸 등각 투상도인 데, 여기서 각 화소는 MEMS 간섭계 변조기를 포함한다. 소정의 실시형태에서, 간섭계 변조기 디스플레이는 이들 간섭계 변조기의 행/열 어레이를 포함한다. 각각의 간섭계 변조기는 서로 간에 가변적이고 제어 가능한 거리에 위치한 1쌍의 반사층을 포함하여 적어도 하나의 가변 치수를 가진 공진 광학적 간극(resonant optical gap)을 형성한다. 일 실시형태에 있어서, 반사층들 중 하나는 두 위치 사이에서 움직일 수도 있다. 여기서 이완 위치라고도 지칭되는 제1위치에서, 이동식 반사층은 고정된 부분 반사층으로부터 상대적으로 먼 거리에 위치된다. 여기서 작동 위치라고도 지칭되는 제2위치에서, 이동식 반사층은 상기 부분 반사층에 더 가까이 인접하여 위치된다. 이들 두 층에서 반사된 입사광은 이동식 반사층의 위치에 따라서 보강(constructively) 간섭 또는 소멸(destructively) 간섭하여 각 화소에 대해 전체 반사 상태 또는 비반사 상태를 생성한다.
- [0025] 도 1에 있어서 화소 어레이의 도시된 부분은 두 개의 인접한 간섭계 변조기(12a), (12b)를 포함한다. 왼쪽에 위치한 간섭계 변조기(12a)에는 부분 반사층을 포함하는 광학적 적층부(optical stack)(16a)로부터 소정 거리 떨어진 이완 위치에 이동식 반사층(14a)이 예시되어 있다. 오른쪽에 위치한 간섭계 변조기(12b)에는 광학적 적층부(16b)에 인접한 작동 위치에 이동식 반사층(14b)이 예시되어 있다.
- [0026] 여기서 참조 기호로 표시되는 바와 같은 광학적 적층부(16a), (16b)(일괄해서 광학적 적층부(16)라 표기함)는 전형적으로 수 개의 융합층(fused layer)을 포함하는 데, 이들 융합층은 인듐 주석 산화물(indium tin oxide: ITO)과 같은 전극층, 크롬과 같은 부분 반사층, 및 투명 유전체를 포함할 수 있다. 따라서, 광학적 적층부(16)는 전기 전도성이고, 부분적으로 투명하며, 부분적으로 반사성이고, 예를 들어 하나 이상의 상기 층들을 투명한(혹은 투과성) 기판(20) 위에 증착함으로써 제조될 수 있다. 부분적으로 반사성인 층(즉, 부분 반사층)은 각종 금속, 반도체 및 유전체 등과 같이 부분적으로 반사성인 각종 재료로부터 형성될 수 있다. 이 부분 반사층은 하나 이상의 재료의 층으로 형성될 수 있고, 각 층은 단일 재료 혹은 재료들의 조합으로 형성될 수 있다.
- [0027] 몇몇 실시형태에 있어서, 이하에 더욱 설명되는 바와 같이, 광학적 적층부(16)의 층들은 평행 스트립들(strip)로 패턴화되고, 표시장치 내에서 행방향 전극들을 형성할 수도 있다. 이동식 반사층(14a), (14b)은 기동부(18) 사이에 증착되는 중재 희생 재료 및 기동부(18)의 상부면에 증착된 증착 금속층 또는 증착 금속층들(광학적 적층부(16a), (16b)의 행방향 전극에 직교)로 이루어진 일련의 평행 스트립들로서 형성될 수도 있다. 희생 재료를 에칭하여 제거하면, 이동식 반사층(14a), (14b)은 광학적 적층부(16b), (16b)로부터 소정의 간극(19)만큼 분리되게 된다. 알루미늄과 같은 고 전도성·반사성 재료가 반사층(14)에 사용될 수 있고, 이들 스트립들은 표시장치에서 열방향 전극들을 형성할 수도 있다.
- [0028] 도 1에 있어서 화소(12a)로 예시된 바와 같이, 전압이 인가되지 않을 경우, 이동식 반사층(14a)이 기계적으로 이완된 상태에서, 간극(혹은 공동부(cavity))(19)이 이동식 반사층(14a)과 광학적 적층부(16a) 사이에서 유지된다. 그러나, 선택된 행 및 열에 전위차가 인가될 경우, 대응하는 화소에서 행방향 전극과 열방향 전극의 교차점에 형성된 커패시터는 충전되고, 정전기력은 전극들을 함께 당긴다. 전압이 충분히 높다면, 이동식 반사층(14)은 변형이 일어나 광학적 적층부(16)에 대해서 힘을 가한다. 도 1의 오른쪽에 위치한 화소(12b)로 표시된 바와 같이, 광학적 적층부(16) 내의 유전체 층(도 1에서는 도시 생략)은 단락이 방지되어 층(14)과 층(16) 간의 이격 거리를 조절한다. 이러한 거동은 인가된 전위차의 극성에 상관없이 동일하다. 이와 같이 해서, 반사성 화소 상태 대 비반사성 화소 상태를 제어할 수 있는 행/열방향 작동은 종래의 LCD 및 기타 표시장치 기술에서 이용되는 것과 많은 방식에 있어서 유사하다.
- [0029] 도 2 내지 도 5b는 디스플레이 적용에 있어서 간섭계 변조기들의 어레이를 사용하기 위한 하나의 예시적 과정 및 시스템을 예시한다.
- [0030] 도 2는 본 발명의 양상들을 내포할 수도 있는 전자 장치의 일 실시형태를 예시한 시스템 블록도이다. 예시적인 실시형태에 있어서, 전자 장치는 프로세서(21)를 포함하는 데, 이 프로세서는 ARM, 펜티엄(Pentium)(등록상표), 펜티엄 II(등록상표), 펜티엄 III(등록상표), 펜티엄 IV(등록상표), 펜티엄(등록상표) Pro, 8051, MIPS(등록상표), Power PC(등록상표), ALPHA(등록상표)와 같은 범용 단일 칩 프로세서 또는 멀티 칩 마이크로 프로세서, 또



는 디지털 신호 프로세서, 마이크로제어기와 같은 소정의 특수 목적의 마이크로프로세서, 또는 프로그래밍가능한 게이트 어레이일 수도 있다. 당업계에 있어서 통상적인 바와 같이, 상기 프로세서(21)는 하나 이상의 소프트웨어 모듈을 실행하도록 구성될 수도 있다. 오퍼레이팅 시스템(operating system)의 실행과 더불어, 상기 프로세서는 웹 브라우저(web browser), 전화 애플리케이션(application), 이메일 프로그램 또는 기타 임의의 소프트웨어 애플리케이션을 비롯한 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 실행하도록 구성될 수도 있다.

[0031] 일 실시형태에 있어서, 프로세서(21)는 또한 어레이 드라이버(22)와 통신하도록 구성된다. 일 실시형태에 있어서, 어레이 드라이버(22)는 디스플레이 어레이 혹은 패널(30)에 신호를 제공하는 행방향 드라이버 회로(24) 및 열방향 드라이버 회로(26)를 포함한다. 도 1에 예시된 어레이의 단면은 도 2의 1-1선에 의해 표시된다. MEMS 간섭계 변조기에 대해서, 행/열방향 작동 프로토콜은 도 3에 도시된 이들 장치의 히스테리시스 특성을 이용할 수도 있다. 예를 들어, 이완 상태에서 작동 상태로 이동식 층을 변형시키기 위해 10 볼트의 전위차가 필요할 수도 있다. 그러나, 이러한 값으로부터 전압이 감소될 경우, 전압이 10 볼트 미만으로 다시 떨어질 때에 이동식 층은 그 상태를 유지한다. 도 3의 예시적 실시형태에 있어서, 전압이 2 볼트 미만으로 떨어질 때까지 이동식 층은 완전히 이완되지 않는다. 이와 같이 해서, 도 3에 예시된 예에서 약 3 내지 7 V의 인가된 전압의 창이 존재하고, 이 범위 내에서 장치가 이완 또는 작동 상태에서 안정적이다. 이것을 여기서는 "히스테리시스 창" 또는 "안정성 창"이라고 칭한다. 도 3의 히스테리시스 특성을 가지는 디스플레이 어레이에 대해서, 행방향 스트로빙(strobing) 동안 스트로빙된 행에 있는 작동될 화소들이 약 10 볼트의 전압차에 노출되고, 이완된 화소들이 0 볼트에 근접한 전압차에 노출되도록 행/열방향 작동 프로토콜을 설계할 수 있다. 스트로빙 후에, 화소들은 약 5 볼트의 정상 상태 전압차에 노출되므로, 이들은 행방향 스트로빙이 화소들을 어떤 상태에 두었던지 그 상태를 유지하게 된다. 이러한 예에서, 각 화소는, 기록된 후에, 3 내지 7 볼트의 "안정성 창" 내에서 전위차를 보인다. 이러한 특성으로 작동 또는 이완의 기존 상태에서 동일한 인가 전압 조건 하에서 도 1에 예시된 화소 설계가 안정화된다. 간섭계 변조기의 각 화소는 작동 상태인지 혹은 이완 상태인지에 따라 본질적으로 고정식 반사층 및 이동식 반사층에 의해 형성된 커패시터이기 때문에, 이러한 안정한 상태는 전력 손실이 거의 없이 히스테리시스 창 내의 전압에서 유지될 수 있다. 인가된 전위가 고정되어 있다면 화소로 들어가는 전류 흐름은 실질적으로 없다.

[0032] 전형적인 응용에 있어서, 제1행에 있는 원하는 세트의 작동 화소에 따라 열방향 전극 세트를 어서트(assert)함으로써 표시 프레임의 생성할 수도 있다. 다음에, 행방향 펄스가 제1행의 전극에 인가되어 어서트된 열방향 라인에 대응하는 화소를 작동시킨다. 그 후, 어서트된 세트의 열방향 전극은 제2행에 있는 원하는 세트의 작동 화소에 대응하도록 변경된다. 이어서, 펄스가 제2행의 전극에 인가되어, 어서트된 열방향 전극들에 따라서 제2행에 있는 적절한 화소들을 작동시킨다. 제1행의 화소들은 제2행의 펄스의 영향을 받지 않고 제1행의 펄스 동안 그들이 설정되었던 상태로 유지된다. 이것은 프레임을 작성하기 위하여 일련의 전체 행들에 대해서 순차적으로 반복될 수도 있다. 일반적으로, 이러한 과정을 초당 원하는 프레임 수만큼 계속적으로 반복함으로써 프레임들은 새로운 표시 데이터로 리프레시(refresh) 및/또는 갱신된다. 더불어, 표시 프레임을 작성하는 화소 어레이의 행방향 전극 및 열방향 전극을 구동하기 위한 매우 다양한 프로토콜은 잘 알려져 있고, 이것은 본 발명과 관련하여 사용될 수도 있다.

[0033] 도 4, 도 5a 및 도 5b는 도 2의 3×3 어레이 위에 표시 프레임을 생성하기 위한 하나의 가능한 작동 프로토콜을 예시한다. 도 4는 도 3의 히스테리시스 곡선을 나타내는 화소를 위해 사용될 수도 있는 가능한 세트의 행방향 전압 레벨들 및 열방향 전압 레벨들을 예시한다. 도 4의 실시형태에서, 화소를 작동시키기 위해서는 적절한 열을  $-V_{bias}$ 로 설정하고 적절한 행을  $+\Delta V$ 로 설정하는 것이 필요한데,  $-V_{bias}$  및  $+\Delta V$ 는 각각 -5 볼트 및 +5 볼트에 대응한다. 화소에 대한 볼트 전위차가 0이 되는 동일한  $+\Delta V$ 로 적절한 행을 설정하고  $+V_{bias}$ 로 적절한 열을 설정함으로써 화소의 이완을 수행한다. 행방향 전압이 0볼트로 유지되는 이들 행에서, 열이  $-V_{bias}$ 이거나  $+V_{bias}$ 인 것에 상관없이, 화소들은 그들의 원래 상태가 어떠하든 안정하다. 도 4에 또한 예시된 바와 같이, 앞서 설명한 것과 반대 극성의 전압이 사용될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 예를 들어, 화소를 작동시키는 것은 적절한 열을  $+V_{bias}$ 로 설정하고 적절한 행을  $-\Delta V$ 로 설정하는 것을 수반할 수 있다. 본 실시형태에 있어서, 화소에 대한 0 볼트 전위차를 생성하는 동일한  $-\Delta V$ 로 적절한 행을 설정하고  $-V_{bias}$ 로 적절한 열을 설정함으로써 화소의 이완을 수행한다.

[0034] 도 5b는 도 5a에 예시된 디스플레이 구성으로 되는 도 2의 3×3 어레이에 인가되는 일련의 행방향 신호 및 열방향 신호를 나타낸 타이밍도로서, 여기서 작동 화소들은 비반사형이다. 도 5a에 예시된 프레임을 기록하기에 앞서, 화소들은 임의의 상태에 있을 수 있고, 이 예에서, 모든 행들은 0볼트이고 모든 열들은 +5 볼트이다. 이들

인가 전압에 의하면, 화소는 모두 그들의 기존의 작동 또는 이완 상태에서 안정하다.

- [0035] 도 5a의 프레임에서, (1,1), (1,2), (2,2), (3,2) 및 (3,3) 화소들이 작동된다. 이것을 달성하기 위해서, 제1행에 대한 "라인 시간"(line time) 동안 제1열과 제2열은 -5볼트로 설정되고, 제3열은 +5볼트로 설정된다. 이것은 임의의 화소들의 상태를 변화시키지 않는 데, 그 이유는 모든 화소들이 3 내지 7볼트 안정성 창에 유지되기 때문이다. 다음에, 제1행은 0볼트에서 5볼트까지 가고 다시 0볼트로 가는 펄스로 스트로빙된다. 이것은 (1,1) 화소 및 (1,2) 화소를 작동시키고 (1,3) 화소를 이완시킨다. 어레이 내의 다른 화소들은 영향을 받지 않는다. 원하는 바와 같이 제2행을 설정하기 위하여, 제2열을 -5볼트로 설정하고 제1열 및 제3열을 +5볼트로 설정한다. 다음에, 제2행에 인가된 동일한 스트로브(strobe)는 (2,2) 화소를 작동시키고 (2,1) 및 (2,3) 화소를 이완시킬 것이다. 재차, 어레이의 다른 화소들은 영향받지 않는다. 제3행은 제2열 및 제3열을 -5볼트로 설정하고 제1열을 +5볼트로 설정함으로써 마찬가지로 설정된다. 제3행의 스트로브는 도 5a에 도시된 바와 같이 제3행의 화소들을 설정한다. 프레임을 기록한 후에, 행방향 전위들은 0이고 열방향 전위들은 +5볼트 또는 -5볼트로 유지될 수 있게 되어, 디스플레이는 도 5a의 구성에서 안정적이다. 수십 또는 수백 개의 행과 열들을 가진 어레이들에 대해서 동일한 과정을 이용할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 또, 행 및 열 작동을 수행시키는 데 사용되는 타이밍, 수순 및 전압 레벨들은 상기의 일반적인 원리 범위 안에서 매우 다양할 수 있고, 상기 예는 다만 예시적인 것에 불과하며, 다른 작동 전압 방법이 본 명세서에 기재된 시스템 및 방법과 함께 사용될 수 있다는 것을 또한 이해할 수 있을 것이다.
- [0036] 도 6a 및 도 6b는 표시장치(40)의 일 실시형태를 예시한 시스템 블록도이다. 예를 들어, 표시장치(40)는 이동 전화기 또는 휴대 전화기일 수 있다. 그러나, 표시장치(40)의 동일한 구성 요소들 또는 그것의 약간의 변경으로는 또한 텔레비전, 휴대용 미디어 플레이어와 같은 다양한 유형의 표시장치를 들 수 있다.
- [0037] 표시장치(40)는 하우징(housing)(41), 디스플레이(30), 안테나(43), 스피커(45), 입력 장치(48) 및 마이크(46)를 포함한다. 일반적으로 하우징(41)은 사출 성형 및 진공 성형을 비롯한 당업자들에게 잘 알려진 다양한 제조 과정들 중의 어떤 것으로 형성된다. 또한, 하우징(41)은 플라스틱, 금속, 유리, 고무 및 세라믹, 또는 이들의 조합을 포함하지만, 이들로 한정되지 않는 다양한 재료 중의 어떤 것으로 만들어질 수도 있다. 일 실시형태에 있어서, 하우징(41)은 다른 색깔을 가지거나 다른 로고, 그림 또는 기호를 포함하는 분리 가능한 부분들과 호환될 수도 있는 분리 가능한 부분(도시 생략)을 포함한다.
- [0038] 예시적인 표시장치(40)의 디스플레이(30)는, 여기에서 설명되는 바와 같이, 쌍안정 디스플레이를 비롯한 다양한 디스플레이들 중의 어떤 것일 수도 있다. 다른 실시형태에 있어서, 디스플레이(30)는 앞서 설명한 바와 같은 플라즈마, EL, OLED, STN LCD 또는 TFT LCD와 같은 평판형 디스플레이, 또는 CRT나 다른 종류의 관(tube) 장치와 같은 비평판형(non-flat-panel) 디스플레이를 포함한다. 그러나, 본 실시형태를 설명할 목적으로, 상기 디스플레이(30)는 여기에서 설명하는 바와 같이 간섭계 변조기 디스플레이를 포함한다.
- [0039] 예시적 표시장치(40)의 일 실시형태의 구성 요소들은 도 6b에 개략적으로 도시되어 있다. 도시된 예시적 표시장치(40)는 하우징(41)을 포함하고 적어도 그 속에 부분적으로 수용된 추가적인 구성 요소들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 일 실시형태에 있어서, 예시적 표시장치(40)는 트랜스시버(transceiver)(47)에 결합된 안테나(43)를 포함하는 네트워크 인터페이스(27)를 포함한다. 트랜스시버(47)는 컨디셔닝 하드웨어(conditioning hardware)(52)에 연결된 프로세서(21)에 접속된다. 컨디셔닝 하드웨어(52)는 신호를 조절(예를 들어, 신호를 필터링)하도록 구성될 수도 있다. 컨디셔닝 하드웨어(52)는 스피커(45) 및 마이크(46)에 연결된다. 프로세서(21)는 입력 장치(48) 및 드라이버 제어기(29)에도 연결된다. 드라이버 제어기(29)는 프레임 버퍼(frame buffer)(28)에 그리고 어레이 드라이버(22)에 결합되고, 어레이 드라이버(22)는 이어서 디스플레이 어레이(30)에 결합된다. 전력 공급 장치(50)는 특정한 예시적 표시장치(40) 설계에 요구되는 바와 같이 모든 구성 요소들에 전력을 제공한다.
- [0040] 네트워크 인터페이스(27)는 예시적 표시장치(40)가 네트워크를 통하여 하나 이상의 장치와 통신할 수 있도록 안테나(43) 및 트랜스시버(47)를 포함한다. 일 실시형태에 있어서, 네트워크 인터페이스(27)는 프로세서(21)의 요건을 완화시킬 수 있는 몇몇 처리 능력도 가질 수 있다. 안테나(43)는 신호를 송수신하기 위해, 당업자들에게 알려진 소정의 안테나이다. 일 실시형태에 있어서, 안테나는 IEEE 802.11(a), (b) 또는 (g)를 비롯한 IEEE 802.11 표준에 따라서 RF 신호를 송수신한다. 다른 실시형태에 있어서, 안테나는 블루투스(BLUETOOTH) 표준에 따라서 RF 신호를 송수신한다. 이동 전화기의 경우, 안테나는 CDMA, GSM, AMPS 또는 무선 이동 전화 네트워크 내에서 통신하기 위해 사용되는 기타 공지된 신호를 수신하도록 설계되어 있다. 트랜스시버(47)는 안테나(43)로부터 수신된 신호를 미리 처리하여 이 신호가 프로세서(21)에 의해 수신되고 나아가 조작될 수도 있다. 또,

트랜스시버(47)는 프로세서(21)로부터 수신된 신호도 처리하여 이 신호가 안테나(43)를 거쳐서 예시적 표시장치(40)로부터 전송될 수 있게 한다.

- [0041] 대안적인 실시형태에 있어서, 트랜스시버(47)는 수신기로 대체될 수 있다. 또 다른 대안적인 실시형태에 있어서, 네트워크 인터페이스(27)는 프로세서(21)에 전송될 화상 데이터를 저장하거나 생성할 수 있는 이미지 소스(즉, 화상 공급원(image source))로 대체될 수 있다. 예를 들어, 화상 공급원은 화상 데이터를 포함하는 디지털 비디오 디스크(DVD: digital video disc)나 하드 디스크 드라이브, 또는 화상 데이터를 생성하는 소프트웨어 모듈일 수 있다.
- [0042] 프로세서(21)는 일반적으로 예시적 표시장치(40)의 전체적인 동작을 제어한다. 프로세서(21)는 네트워크 인터페이스(27) 또는 화상 공급원으로부터의 압축된 화상 데이터와 같은 데이터를 수신하고, 해당 데이터를 원천 화상 데이터(raw image data)로 또는 원천 화상 데이터로 즉시 처리할 수 있는 포맷으로 처리한다. 그 후, 프로세서(21)는 처리된 데이터를 드라이버 제어기(29)로 또는 저장을 위해 프레임 버퍼(28)로 전송한다. 원천 데이터는 전형적으로 화상 내의 각각의 위치에서 화상 특성들을 식별하는 정보를 의미한다. 예를 들어, 이러한 화상 특성들은 색깔, 채도(saturation) 및 계조 레벨(gray-scale level)을 포함할 수 있다.
- [0043] 일 실시형태에서, 프로세서(21)는 예시적 표시장치(40)의 동작을 제어하는 마이크로 제어기, CPU 또는 논리 유닛을 포함한다. 컨디셔닝 하드웨어(52)는 일반적으로 신호를 스피커(45)에 전송하기 위해, 그리고 마이크(46)로부터 신호를 수신하기 위해 증폭기들 및 필터들을 포함한다. 컨디셔닝 하드웨어(52)는 예시적 표시장치(40) 내에 있는 별도의 구성 요소일 수도 있거나 프로세서(21) 혹은 기타 구성 요소들 내에 내장되어 있을 수도 있다.
- [0044] 드라이버 제어기(29)는 프로세서(21)에서 생성된 원천 화상 데이터를 프로세서(21)로부터 혹은 프레임 버퍼(28)로부터 직접 취하여 어레이 드라이버(22)로 고속 전송하기 위해 원천 화상 데이터를 적절하게 재포맷한다. 특히, 드라이버 제어기(29)는 원천 화상 데이터를 래스터 유사 포맷(raster like format)을 가진 데이터 흐름으로 재포맷하여 디스플레이 어레이(30)에 걸쳐 스캐닝하기에 적합한 시간 순서를 가진다. 다음에, 드라이버 제어기(29)는 포맷된 정보를 어레이 드라이버(22)에 전송한다. 비록 LCD 제어기와 같은 드라이버 제어기(29)가 자립형 집적 회로(stand-alone Integrated Circuit(IC))로서 시스템 프로세서(21)와 종종 연관되지만, 이러한 제어기들은 다양한 방법들로 구현될 수도 있다. 이들은 프로세서(21) 내에 하드웨어로서 삽입될 수 있거나, 소프트웨어로서 프로세서(21) 내에 삽입될 수도 있거나, 또는 어레이 드라이버(22)와 함께 하드웨어에 완전히 일체화될 수도 있다.
- [0045] 전형적으로, 어레이 드라이버(22)는 포맷된 정보를 드라이버 제어기(29)로부터 수신하고 디스플레이의 x-y 매트릭스 화소들로부터 나온 수백, 때로는 수천개의 인출선에 초당 여러 번 인가되는 병렬 세트의 파형들로 비디오 데이터를 재포맷한다.
- [0046] 일 실시형태에 있어서, 드라이버 제어기(29), 어레이 드라이버(22) 및 디스플레이 어레이(30)는 여기서 설명하는 디스플레이들의 유형 중 어느 것에나 적합하다. 예를 들어, 일 실시형태에 있어서, 드라이버 제어기(29)는 종래의 디스플레이 제어기 또는 쌍안정 디스플레이 제어기(예를 들어, 간섭계 변조기 제어기)이다. 다른 실시형태에 있어서, 어레이 드라이버(22)는 종래의 드라이버 또는 쌍안정 디스플레이 드라이버(예를 들어, 간섭계 변조기 디스플레이)이다. 일 실시형태에 있어서, 드라이버 제어기(29)는 어레이 드라이버(22)와 일체형이다. 이러한 일 실시형태는 이동 전화기, 시계 및 기타 소형 디스플레이와 같은 고집적 시스템에 있어서 일반적이다. 또 다른 실시형태에 있어서, 디스플레이 어레이(30)는 전형적인 디스플레이 어레이 또는 쌍안정 디스플레이 어레이(예를 들어, 간섭계 변조기들의 어레이를 포함하는 디스플레이)이다.
- [0047] 입력 장치(48)는 사용자로 하여금 예시적 표시장치(40)의 동작을 제어하도록 한다. 일 실시형태에 있어서, 입력 장치(48)는 QWERTY 키보드 또는 전화기 키패드와 같은 키패드, 버튼, 스위치, 터치 센스 스크린, 감압막 또는 감열막을 포함한다. 일 실시형태에 있어서, 마이크(46)는 예시적 표시장치(40)에 대한 입력 장치이다. 이 장치에 데이터를 입력하기 위해 마이크(46)가 사용되는 경우, 음성 명령들이 사용자에게 의해 제공되어 예시적 표시장치(40)의 동작들을 제어할 수도 있다.
- [0048] 전력 공급 장치(50)는 당업계에 잘 알려져 있는 다양한 에너지 저장 장치들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 일 실시형태에 있어서, 전력 공급 장치(50)는 니켈-카드뮴 배터리 또는 리튬 이온 배터리와 같은 충전용 배터리이다. 다른 실시형태에 있어서, 전력 공급 장치(50)는 재생 가능 에너지 원, 커패시터, 또는 플라스틱 태양 전지, 태양 전지 도료를 비롯한 태양 전지이다. 다른 실시형태에 있어서, 전력 공급 장치(50)는 벽에 붙은 콘

센트에서 전력을 받도록 구성된다.

- [0049] 소정의 실시형태에 있어서, 제어 프로그램은 앞서 설명한 바와 같이 전자 디스플레이 시스템 안의 몇몇 장소에 위치될 수 있는 드라이버 제어기 내에 존재한다. 소정의 실시형태에 있어서, 제어 프로그램은 어레이 드라이버 (22) 내에 존재한다. 당업자들은 앞서 설명한 최적화 조건들을 다수의 하드웨어 및/또는 소프트웨어 구성 요소 들 및 다양한 형태로 구현할 수도 있다는 것을 인식할 것이다.
- [0050] 앞서 설명한 원리들에 따라서 작동되는 간접계 변조기의 상세한 구조는 매우 다양할 수 있다. 예를 들어, 도 7a 내지 도 7e(이하, 일괄해서 간단히 "도 7"이라 지칭할 경우도 있음)는 이동식 반사층(14) 및 그의 지지 구조체의 다섯 개의 서로 다른 실시형태를 나타낸다. 도 7a는 도 1의 실시형태의 단면도인데, 여기서 금속 재료 (14)의 스트립은 직교 방향으로 연장된 지지부(18) 상에 증착된다. 도 7b에 있어서, 이동식 반사층(14)은 줄 (tether)(32) 상에 단지 모서리에서 지지부에 부착된다. 도 7c에 있어서, 이동식 반사층(14)은 가요성 금속을 포함할 수도 있는 변형가능한 층(deformable layer)(34)으로부터 매달려 있다. 이 변형가능한 층(34)은 해당 변형가능한 층(34) 주변의 기관(20)에 직접적으로 혹은 간접적으로 접속된다. 이들 접속부(혹은 연결부)는 여기서 지지 기둥부라고도 칭한다. 도 7d에 나타난 실시형태는 변형가능한 층(34)이 안착되는 지지 기둥 플러그(42)를 가진다. 이동식 반사층(14)은 도 7a 내지 도 7c에 있어서와 마찬가지로 간극부 위에 매달린 채 유지 되지만, 변형가능한 층(34)은 해당 변형가능한 층(34)과 광학적 적층부(16) 사이의 구멍들을 채움으로써 지지 기둥부를 형성하지 않는다. 오히려, 지지 기둥부는 평탄화 재료로 형성되고, 이것은 지지 기둥 플러그(42)를 형성하는 데 이용된다. 도 7e에 나타난 실시형태는 도 7d에 나타난 실시형태에 의거한 것이지만, 도 7a 내지 도 7c에 나타난 실시형태뿐만 아니라 도시하지 않은 추가적인 실시형태의 어느 것과 함께 작용하도록 적합화될 수도 있다. 도 7e에 나타난 실시형태에 있어서, 금속 또는 기타 전도성 재료의 여분의 층은 버스 구조체(44)를 형성하는 데 이용되어왔다. 이것에 의해 신호가 간접계 변조기의 이면을 따라 송신될 수 있고, 그렇지 않으면 기관(20) 상에 형성될 수도 있는 다수의 전극을 제거할 수 있다.
- [0051] 도 7에 나타난 것과 같은 실시형태에 있어서, 간접계 변조기는 직시형(direct-view) 장치로서 기능하는 데, 여기서 화상들은 투명한 기관(20)의 앞면 쪽으로부터 보이고 그 반대편에는 변조기들이 배열되어 있다. 이들 실시형태에 있어서, 반사층(14)은 변형가능한 층(34)을 비롯한, 기관(20)의 반대편의 반사층 쪽에 있는 간접계 변조기의 일부를 광학적으로 차단한다. 이것에 의해 상기 차단된 영역은 화질에 부정적으로 영향을 미치는 일없이 구성되고 작동될 수 있게 된다. 이러한 차단은 도 7e에서 버스 구조체(44)를 허용하며, 이것은 어드레싱 및 그 어드레싱으로부터 기인하는 이동 등과 같은, 상기 변조기의 전자기계 특성으로부터 해당 변조기의 광학적 특성을 분리시키는 능력을 제공한다. 이 분리가 가능한 변조기 구조체로 인해 해당 변조기의 광학적 측면들 및 전자 기계적 측면들에 대해 사용되는 재질들 및 구조 설계가 선택되어 서로 독립적으로 기능하게 된다. 더욱이, 도 7c 내지 도 7e에 도시된 실시형태는 변형가능한 층(34)에 의해 수행되는, 기계적 특성들로부터 반사층(14)의 광학적 특성들을 분리함으로써 얻어지는 추가적인 장점들을 가진다. 이로 인해 반사층(14)에 사용되는 구조 설계 및 재질들이 광학적 특성에 대해서 최적화되고, 변형가능한 층(34)에 사용되는 구조 설계 및 재질들이 원하는 기계적 특성에 대해서 최적화된다.
- [0052] 도 8은 간접계 변조기의 제조방법(800)의 예시적인 실시형태를 도시한 순서도이고, 도 9a 내지 도 9e는 이러한 제조방법의 일 실시형태에서의 대응하는 단계들을 개략적으로 도시하고 있다. 이러한 단계들, 즉, 스텝들은, 도 16에 표시되지 않은 다른 스텝들과 함께, 예컨대, 도 1 및 도 7에 예시된 일반적인 유형의 간접계 변조기를 제조하는 공정에서 존재할 수 있다. 도 1, 도 7 및 도 8을 참조하면, 방법(800)은 스텝 805에서 시작되어, 기관(20) 위에 광학적 적층부(16)를 형성한다. 도 9a는 기관(20) 위에 형성된 이러한 광학적 적층부(16)를 도시 하고 있다. 기관(20)은 유리 혹은 플라스틱 등의 투명 기관일 수 있고, 사전 준비 단계(들), 예를 들어, 세정 단계를 실시하여, 광학적 적층부(16)의 유효한 형성을 용이하게 할 수 있다. 전술한 바와 같이, 광학적 적층부 (16)는 몇몇 실시형태에서는 전기 전도성이고, 부분적으로 투명하며, 부분적으로 반사성이고, 예를 들어, 투명한 기관(20) 상에 하나 이상의 층을 증착시킴으로써 제작될 수 있다. 특히, 도 9a의 광학적 적층부는 서브층 (sublayer)(60a), (60b), (60c)을 포함하는 다층 구조를 포함하는 것을 알 수 있지만, 다른 실시형태에서는 그 보다 많거나 적은 서브층을 포함할 수도 있다. 몇몇 실시형태에 있어서, 서브층들 중 하나는 그의 광학적 특성을 위해 선택된 부분 반사층 혹은 흡수재층을 포함하며, 다른 서브층은 그의 전도성을 위해 선택된 층을 포함한다. 다른 실시형태에서는, 적절한 광학적 특성과 전기적 특성을 지닌 단일의 서브층이 이용될 수 있다. 몇몇 실시형태에 있어서, 하나 이상의 서브층이 평행한 스트립으로 패터닝되고, 표시장치에서 행방향 전극을 형성할 수 있다. 이러한 패터닝은 몇몇 실시예에서는 마스크 및 에칭 공정에 의해 행해질 수 있지만, 대안적인 패터닝 방법은 이하에 더욱 상세히 설명된다. 몇몇 실시형태에 있어서, 광학적 적층부(16)는 하나 이상의 금속층(예를

들어, 서브층(60a) 또는 (60b) 등의 반사층 및/또는 전도층) 위에 증착된 도 9a의 서브층(60c) 등과 같은 절연성 혹은 유전체 층을 포함한다.

[0053] 도 8에 도시된 방법(800)은 스텝 810에서 계속되어, 광학적 적층부(16) 위에 희생층을 형성한다. 희생층은 나중에 제거되어(예를 들어, 스텝 825에서), 후술하는 바와 같은 공동부(19)를 형성하고, 이에 따라 희생층은 도 1에 도시된 결과적으로 얻어지는 간섭계 변조기(12)에는 도시되어 있지 않다. 도 9b는 광학적 적층부(16) 위에 형성된 희생층(62)을 포함하는 반제품상태의 장치를 포함한다. 광학적 적층부(16) 위에 희생층(62)을 형성하는 단계는, 후속의 제거 후, 소정 크기를 지닌 공동부(19)(도 1 및 도 9e 참조)를 제공하도록 선택된 두께로 물리브텐 혹은 비정질 실리콘 등의  $XeF_2$ -에칭가능한 재료의 증착을 포함할 수 있다. 희생 재료의 증착은 물리적 기상 증착법(PVD: physical vapor deposition, 예를 들어, 스피터링), 플라즈마-증강 화학적 기상 증착법(PECVD: plasma-enhanced chemical vapor deposition), 열화학 기상증착법(thermal chemical vapor deposition 혹은 thermal CVD), 혹은 스핀 코팅 등의 증착 수법을 이용해서 수행될 수 있다.

[0054] 도 8에 도시된 상기 방법(800)은 스텝 815에서 계속되어, 지지 구조체, 예컨대, 도 1, 도 7 및 도 9c에 도시된 바와 같은 기둥부(18)를 형성한다. 기둥부(18)의 형성은 희생층을 패터닝하여 지지 구조체 개구부를 형성하는 단계, 이어서, PECVD, 열 CVD 혹은 스핀-코팅 등의 증착법을 이용해서, 해당 개구부 속에 소정의 재료(예컨대, 폴리머 혹은 실리콘 산화물)를 증착시켜 기둥부(18)를 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시형태에 있어서, 희생층 내에 형성된 지지 구조체 개구부는 희생층 및 광학적 적층부(16)의 양쪽 모두를 통해서 하부에 있는 기판(20)까지 연장되므로, 기둥부(18)의 하단부는 도 7a에 도시된 바와 같이 기판(20)과 접촉한다. 도 9c에 도시된 실시형태 등과 같은 다른 실시형태에서는, 희생층 내에 형성된 개구부가 희생층을 통해 연장되지만, 광학적 적층부(16)를 통해 연장되지는 않는다. 예를 들어, 도 7d는 광학적 적층부(16)와 접촉하고 있는 지지 기둥 플러그(support post plug)(42)를 예시하고 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 기둥부(18) 혹은 기타 지지 구조체는 희생층 위에 있는 지지 구조체 재료의 층 및 희생층 내의 개구부로부터 멀리 떨어져서 위치한 지지 구조체 재료의 패터닝 부분을 증착함으로써 형성될 수도 있다. 몇몇 실시형태에 있어서, 도 9c에 도시된 바와 같이, 지지 구조체가 개구부 내에 위치될 수 있지만, 다른 실시형태에서는, 지지 구조체의 적어도 일부분이 희생층의 일부 위에 연장될 수 있다. 전술한 바와 같이, 희생층 및/또는 지지 기둥부의 패터닝은 패터닝 및 에칭 공정에 의해 수행될 수 있지만, 후술하는 대안적인 에칭 방법에 의해서도 수행될 수 있다.

[0055] 도 8에 도시된 방법(800)은 스텝 820에서 계속되어, 도 1, 도 7 및 도 9d에 도시된 이동식 반사층(14) 등과 같은 이동식 반사층 혹은 막을 형성한다. 이동식 반사층(14)은 하나 이상의 패터닝, 마스크 및/또는 에칭 스텝과 함께, 하나 이상의 증착 스텝, 예컨대, 반사층(예를 들어, 알루미늄, 알루미늄 합금) 증착을 이용함으로써 형성될 수 있다. 위에서 설명된 바와 같이, 이동식 반사층(14)은 전형적으로 전기 전도성이며, 따라서, 여기서는 전기전도층으로 지칭될 수도 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 이동식 반사층(14)은 도 9d에 도시된 바와 같이 복수개의 서브층을 포함할 수 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 서브층(64a)들 중 하나는 그의 광학적 특성을 위해 선택된 고도로 반사성인 서브층을 포함할 수 있고, 다른 서브층(64b)은 그의 기계적 특성을 위해 선택된 기계적 서브층을 포함할 수 있다. 희생층은 상기 방법(800)의 스텝 820에서 형성된 반제품상태의 간섭계 변조기에 여전히 존재하므로, 이동식 반사층(14)은 전형적으로 이 단계에서 이동가능하지 않다. 희생층을 포함하는 반제품상태의 간섭계 변조기를 본 명세서에서는 "미해방된"(unreleased) 간섭계 변조기라 칭할 수 있다.

[0056] 도 8에 예시된 방법(800)은 스텝 825에서 계속되어, 공동부, 예컨대, 도 1, 도 7 및 도 9e에 도시된 바와 같은 공동부(19)를 형성한다. 공동부(19)는 에칭제에 희생 재료(즉, 희생층)(62)(스텝 810에서 증착됨)를 노출시킴으로써 형성될 수 있다. 예를 들어, 물리브텐 혹은 비정질 실리콘과 같은 에칭가능한 희생 재료는 건식 화학적 에칭에 의해, 예컨대, 전형적으로 공동부(19) 둘레의 구조체에 대해서 선택적으로 원하는 양의 재료를 제거하는데 효과적인 시간의 기간 동안 고체 이불화제( $XeF_2$ )으로부터 유래된 증기 등과 같은 가스상태(gaseous) 혹은 증기상태의 에칭제에 희생층을 노출시킴으로써 제거될 수 있다. 습식 에칭 및/또는 플라즈마 에칭 등과 같은 다른 에칭 방법도 이용될 수 있고, 소정의 대안적인 에칭 방법에 대해 이하에 더욱 상세히 설명한다. 희생층은 상기 방법(800)의 스텝 825 동안 제거되므로, 이동식 반사층(14)은 전형적으로 이 단계 후에 이동가능하다. 희생 재료의 제거 후, 얻어지는 완제품 상태 혹은 반제품상태의 간섭계 변조기를 본 명세서에서는 "해방된"(released) 간섭계 변조기라 칭할 수 있다.

[0057] 이해할 수 있는 바와 같이, 에칭 공정을 통한 희생층의 제거 공정은 인접한 구성 요소 사이에 간극 혹은 기타 공간을 포함하는 다른 MEMS 장치에도 적용될 수 있고, 본 명세서에 개시된 예시적인 간섭계 변조기에의 이용으로 제한되는 것은 아니다. 위에서 설명된 바와 같이, 이 제거는, 이들로 제한되지는 않지만, 습식 에칭, 건식

에칭 및 플라즈마 에칭 등을 비롯한 각종 상이한 방식을 통해 수행될 수 있다. 전술한 XeF<sub>2</sub> 건식 에칭은, 예를 들어, 몰리브덴, 게르마늄 및 실리콘 등의 희생층과 관련하여 이용될 수 있다. 이 공정은 주된 에칭제로서 XeF<sub>2</sub>를 함유하고, 임의선택적으로 기타 에칭제(예컨대, 산소 등) 및/또는 불활성 캐리어 가스(inert carrier gas)를 함유하는 에칭 공정 가스의 사용을 포함한다. 이하에 보다 상세히 설명되는 바와 같이, 이하에 수개의 방법은 주된 에칭제로서 XeF<sub>2</sub>의 이용에 대해서 설명되어 있지만, 이들 방법은 XeF<sub>2</sub> 대신에 KrF<sub>2</sub> 등의 기타 희가스 불화물을 이용하는데도 적합화될 수 있다.

[0058] 소정의 실시형태에 있어서, XeF<sub>2</sub> 희생 에칭을 이용해서 MEMS 장치를 제조하는데 이용되는 제조방법 및 장비는 XeF<sub>2</sub>를 회수하고/하거나 해당 XeF<sub>2</sub>의 제논(Xe) 성분을 회수하도록 변형될 수 있다. 회수된 XeF<sub>2</sub>는 추가의 에칭 공정에 이용하기 위하여 재활용될 수 있다. 회수된 Xe는 XeF<sub>2</sub>를 생성하는데 이용되는 F<sub>2</sub>와 반응될 수 있고, XeF<sub>2</sub>는 또한 추가의 에칭 공정에 이용하기 위하여 재활용될 수도 있다. 에칭 공정 동안 혹은 에칭 공정 후, 공정 가스는 에칭실로부터 회수되고, 이어서, 원하는 바와 같이 처리될 수 있다. 공정 가스는 존재할 수도 있는 미사용 XeF<sub>2</sub>(혹은 기타 에칭제), 에칭 반응의 부산물, 불순물 및 기타 캐리어 가스를 포함할 수 있다. 기타 희가스 불화물이 사용될 경우, 미사용 희가스 불화물 및 대응하는 희가스 성분 중 어느 한쪽 혹은 양쪽 모두가 회수될 수 있다.

[0059] 반응 부산물은 XeF<sub>2</sub> 에칭제와 희생층과의 에칭 반응의 생성물이며, 해당 부산물은 적어도 사용된 에칭제 및 희생층의 성질에 따라 상이할 것이다. 희생층이 몰리브덴을 포함하는 실시형태에 대해서, 부산물은 전형적으로 MoF<sub>x</sub>(여기서, x는 2 내지 6의 범위의 정수임)를 포함할 것이고, 실리콘이 희생층으로서 이용되는 실시형태에 대해서, 부산물은 전형적으로 Si<sub>x</sub>F<sub>y</sub>(여기서, x는 1 내지 2의 범위의 정수이고, y는 2 내지 6의 범위의 정수임)를 포함할 것이다. 추가의 에칭제(예컨대, 산소)가 XeF<sub>2</sub> 에칭제와 함께 이용될 경우, 부산물은 희생 요소의 착체 불화물(예컨대, MoO<sub>x</sub>F<sub>y</sub>)을 포함할 수 있다.

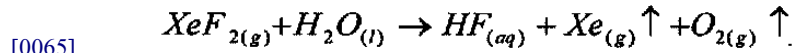
[0060] 에칭 공정 가스에 존재할 수 있는 통상의 불순물로는 H<sub>2</sub>O, HF, CF<sub>x</sub>, CHF<sub>x</sub>, COF<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, 퍼지 가스의 잔사 및 흔적량의 금속 형식을 들 수 있다. 또, 에칭 공정 가스는 XeF 혹은 F 등과 같은 반응 중간체를 포함할 수 있지만, 이들 반응 중간체는 이들이 더욱 반응하여 반응 부산물을 형성하기 때문에 비교적 짧은 수명을 지니므로, 이들은 이하에서 별도로 논의되지 않음을 이해할 수 있을 것이다.

[0061] 제논을 회수하고/하거나 재활용하기 위하여, 비교적 낮은 비점 및 비활성 등과 같은 제논의 균일한 물성이 이용될 수 있다. 이들 물성 및 화학적 성질은 에칭 공정 동안 회수될 수 있는 기타 공정 가스 및 기타 물질로부터 제논의 분리를 용이하게 하는데 이용될 수 있다.

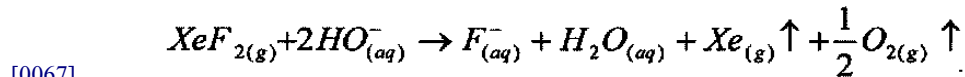
[0062] 도 10은 공정 가스로부터 Xe를 추출하고 회수된 Xe를 이용해서 에칭 공정에서 사용하기 위한 XeF<sub>2</sub>를 생성하는데 이용될 수 있는 일반화된 공정 흐름(100)을 예시하고 있다. 그러나, 이 공정은 스텝의 추가 혹은 제거 등을 비롯하여 각종 방식으로 변경될 수 있고, 또한 각 스텝이 다른 순서로 수행될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 해당 공정은 에칭 처리 스텝(110)에서 시작하여, 제작될 MEMS 장치 혹은 기타 장치가 XeF<sub>2</sub> 가스에 노출된다. 스텝 120에서, 에칭반응실로부터 공정 배기(process exhaust)의 회수 등을 통해서 공정 가스가 회수된다. 스텝 130에서, 이 시스템은 공정 흐름을 구동하기 위하여 퍼지 가스(purge gas)에 노출될 수 있다. 스텝 140에서, Xe 변환기(converter)를 이용해서 회수된 공정 가스로부터 Xe를 생성한다. 스텝 150에서, 생성된 Xe는 공정 가스의 나머지에서 분리되어 저온 트랩의 이용을 통하는 등의 방식으로 정제된다. 이 분리된 Xe는 스텝 160에서 가압되거나 응축될 수 있다. 불소(F<sub>2</sub>)는 스텝 170에서 첨가되어, XeF<sub>2</sub>가 스텝 180에서 생성된다. XeF<sub>2</sub>는 에칭 처리로 되돌아가기 전에 스텝 190에서 정제될 수 있다.

[0063] 각종 방법 및 장치가 회수된 Xe-함유 종을 원소 Xe로 변환하는데 이용될 수 있다. 예를 들어, 제논 변환기는 액체 배스 변환기(liquid bath converter), 고체 베드 변환기(solid bed converter) 또는 기체 배스 변환기(gas bath converter)를 포함할 수 있고, 이들 각각은 이하에 논의될 것이다. 변환된 Xe-함유 종은, XeF<sub>2</sub>에 부가해서 공-에칭제(co-etchant)가 이용될 경우, 착체 불화물뿐만 아니라 기타 불순물 혹은 중간체 제논 불화물에 부가하여 주로 미사용 XeF<sub>2</sub>를 포함할 수 있다.

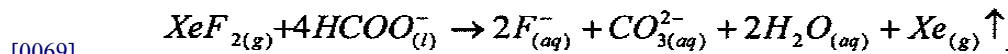
[0064] XeF<sub>2</sub>는 가수분해 반응에서 물과 반응해서 원소 Xe 및 O<sub>2</sub>를 생성할 수 있다. 그러나, XeF<sub>2</sub>의 Xe로의 변환을 가속시키기 위하여, 중성의 수성 용액 대신에 산성 혹은 염기성 용액이 이용될 수 있다. XeF<sub>2</sub>는, 이하의 반응식에 따라 불화수소산, 원자 제논 및 분자 산소를 유리시키기 위하여 298° K에서 산성 용액 중 약 4.2×10<sup>-4</sup>/sec의 1차 속도 상수에서 가수분해된다:



[0066] 예를 들어 NaOH 혹은 KOH를 비롯한 염기성 용액도 액체 배쓰 용액(liquid bath solution)으로서 이용될 수 있고, 특정 염기성 용액의 선택은 특정 실시형태를 위해 원하는 부산물의 생성을 허용한다. 일 실시형태에 있어서, NaOH 혹은 KOH 등과 같은 염기성 용액(여기서, 수산화물 이온(OH<sup>-</sup>)이 환원제로서 역할함)의 이용 결과, 이하의 반응식에 따라, 물, 원소 제논 및 분자 산소가 생성된다:



[0068] 다른 실시형태에 있어서, 대안적인 환원제의 이용은 상이한 부산물을 수득할 수 있고, 이 부산물은 유리된 Xe와 혼합되는 가스라기보다는 오히려 유기산염 등과 같은 가용성 생성물일 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, 메탄산 나트륨(포름산 나트륨이라고도 공지되어 있음) 등과 같은 메탄산염(포름산염이라고도 공지되어 있음)이 이하의 반응식에 따라 이용될 수도 있다:



[0070] 또한, 희생 재료가 Mo 및 W 등과 같은 금속일 경우, 그들의 가스 상태의 예칭 부산물(MoF<sub>x</sub> 등)은 전형적으로 염기성 용액 중에서 가수분해될 것이다. 이와 같이 액체 배쓰 Xe 변환기로부터 나오는 가스는 이용된 소정의 퍼지 가스와 수증기 이외에도 원소 Xe을 포함한다. 특정 실시형태에 있어서, 퍼지 가스 및 배쓰 용액은, 다수의 기능을 수행하는 Xe 변환기를 제공하기 위하여, 임의의 예칭 부산물과 함께, 퍼지 가스가 용액에 의해 흡수되도록 선택될 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, CO<sub>2</sub>는 퍼지 가스로서 이용될 수 있고, 메탄산 나트륨과 수산화 나트륨을 함유하는 수성 용액이 변환 배쓰에 이용되며, XeF<sub>2</sub>가 원소 Xe로 변환될 것이고, 예칭 공정의 부산물과 퍼지 가스가 흡수될 것이다.

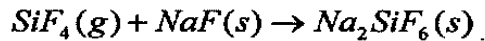
[0071] 다른 실시형태에 있어서, 고체 베드 변환기 혹은 기체 배쓰 변환기가 Xe 변환기로서 이용될 수 있다. 고체 베드 변환기는 제논 불화물을 원소 Xe로 환원시키는 환원제이면 어느 것이라도 포함할 수 있다. 니켈, 구리 및 철 등의 특정 이들 환원제에 대해서, XeF<sub>2</sub>가 반응하여 흡착 혹은 흡수 반응을 통해서 재료의 표면 상에 고체 불화물을 형성할 것이다. 기타 환원제로서는, 고체 불화물 혹은 서브불화물(sub-fluoride), 서브산화물, 서브할로젠 화합물 혹은 유기 염을 형성하는 물질을 들 수 있지만, 이들로 제한되는 것은 아니다. 다른 실시형태에 있어서, 실리콘, 몰리브덴 혹은 게르마늄 등의 물질이 환원제로서 이용될 수 있고, 고체 불화물보다는 오히려 (예컨대, 압력에 따라) 기체 혹은 액체 불화물의 형성을 가져올 수 있다. 기타 유사한 환원제로는 가스 상태의 불화물 혹은 서브불화물, 서브산화물, 서브할로젠 화합물 혹은 유기 염을 형성하는 물질을 들 수 있다. 마찬가지로, 가스 상태의 환원제가 기체 배쓰 변환기에서 이용될 수 있고, 예를 들어, 에테인(ethane), 에틸렌 및 포름알데하이드 등의 유기물, 또는 암모니아, 하이드라진 및 포스핀 등의 무기물 등을 포함할 수 있다.

[0072] 일단 원소 제논이 공정 가스 내에 얻어지면, 제논은 다른 공정 가스로부터 분리되어 정제될 수 있다. 다른 재료로부터 원소 제논을 분리하는 공정의 선택은 재순환 공정에서의 이 시점에서 제논과 함께 존재하는 기타 가스 혹은 기타 재료 상에 많은 부분 의존할 것이며, 이어서 이것은 Xe 변환기의 존재 및 특성뿐만 아니라 예칭제(들)와 희생 재료의 조합에 의존한다.

[0073] 원소 제논을 분리·정제하는 하나의 방법은 극저온 트랩(cryogenic trap)이며, 이것은 저온 트랩으로도 지칭될 수 있다. 회가스가 낮은 비점(제논의 비점은 165 ° K이고, 아르곤의 비점은 87 ° K이며, He의 비점은 4.2° K임)을 지니므로, 공정 가스는, 회가스의 비점보다 높지만 공정 가스의 나머지 성분이 응축되어, 단지 흔적량의 다른 재료와 함께, 회가스로 주로 이루어진 혼합물을 남기도록 충분히 낮은 온도에서, 저온 트랩을 통해 구동될 수 있다. XeF<sub>2</sub>가 예칭제로서 이용되고, Mo가 희생층으로서 이용될 경우, 예를 들어, CO<sub>2</sub>의 승화점보다

낮은 온도로 고체 CO<sub>2</sub>(건조 아이스, 전형적으로는 아세톤과 함께 이용됨)에 의해서 냉각되는 트랩은, MoF<sub>x</sub> 등의 에칭 부산물을 비롯한 기타 가스의 비점이 충분히 높기 때문에, 이들의 응축을 유발하는 데 이용될 수 있다. 공정 가스 내의 수분의 대부분은 전형적으로 응축될 것이며(CO<sub>2</sub> 트랩을 통과한 후의 가스 중의 나머지량의 수분이 0.2 mTorr의 차수의 분압을 지닐 수 있음), 또한 CaO 건조제의 이용과 같은 후속의 공정이 수분을 더욱 제거하기 위하여 이용될 수 있다.

[0074] 다른 실시형태에 있어서, 공정 가스는 원소 제논의 비점과 유사한 비점을 지니는 재료를 포함할 수 있다. 예를 들어, Si가 희생 재료로서 이용될 경우, 에칭 공정의 주된 부산물 중 하나는 SiF<sub>4</sub>이며, 이것의 비점은 Xe의 비점에 가까운 187 ° K이다. 도 11은 Xe 및 SiF<sub>4</sub>의 증기압을 온도의 함수로서 도시하고 있다. SiF<sub>4</sub>의 증기압은 Xe의 비점에서 대략 189 Torr이고, 저온 트랩이 165° K(Xe의 비점)인 경우, SiF<sub>4</sub>의 증기압은 또한 189 Torr이며, 따라서 상당한 양의 SiF<sub>4</sub>가 마찬가지로 저온 트랩을 통해 통과할 것임을 알 수 있을 것이다. 또한, 보다 낮은 온도에서, Xe의 증기압과 SiF<sub>4</sub>의 증기압 간의 차이가 증가하는 것도 도 11에서 알 수 있다. 이와 같이 해서, 125 ° K에서, Xe의 증기압은 19.5 Torr이고, SiF<sub>4</sub>의 증기압은 0.75 Torr이며, 120° K에서, 이들 값은 각각 11.1 Torr 및 0.4 Torr 이하로 감소된다. NaF 등과 같은 활성 약제를 첨가함으로써, SiF<sub>4</sub>는 더욱 제거될 수 있다. 일 실시형태에 있어서, NaF의 존재 하에, SiF<sub>4</sub> 평형 증기압은, NaF가 다음 반응식에 따라 SiF<sub>4</sub>와 반응할 것이므로, 실온에서 10<sup>-47</sup> Torr까지 저감될 수 있다:



[0075] 기타 알칼리성 및 알칼리토류 불화물도 SiF<sub>4</sub>의 존재를 저감시키는데 이용될 수 있다.

[0077] 이러한 저온에서의 저온 트랩은 각종 방식으로 제공될 수 있다. 몇몇 실시형태에 있어서, 저온 트랩은 클로로에테인의 사용을 통하는 등과 같이, 고체-액체 용융을 통하여 냉각된다. 다른 실시형태에 있어서, 저온 트랩은 크립톤의 사용을 통하는 등과 같이, 액체-기체 용해를 통하여 냉각된다. 또 다른 실시형태에 있어서, 프로페인 중의 고체 CF<sub>4</sub> 등과 같이, 저압에서의 고체-액체 기화가 이용될 수 있다. 용융 및 용해 시스템이 장기간의 시간에 걸쳐서 정확한 온도를 유지하는데 적합하다. 고체-액체 기화 시스템이 냉각조에서의 온도에 따른 부가의 제어를 제공할 수 있다.

[0078] 특정 실시형태에 있어서, 프로페인 중의 고체 CF<sub>4</sub>가, 5 Torr에서 760 Torr까지 압력을 변화시킴으로써, 100° K 내지 140° K의 범위 내의 온도를 지닌 냉각조를 제공하는데 이용될 수 있다. 소정의 실시형태에 있어서, N<sub>2</sub> 혹은 He 등의 퍼지 가스(제논보다 낮은 비점을 지닐 수 있거나 분리·정제 중인 다른 가스)는, 이들이 Xe가 가스 형태로 남을 때 가스 형태로 남음에 따라, 초기 저온 트랩에 의해 분리될 수 없다. 액체 N<sub>2</sub> 저온 트랩 등과 같은 후속의 저온 트랩이 Xe를 응축시키는데 이용될 수 있고, 퍼지 가스가 이 기상(gas phase)에 남을 것이다.

[0079] 이 재활용 방법은 다른 회가스계 에칭제를 재활용하는 방법에 이용하기 위하여 전술한 바와 같이 변경될 수 있다. 예를 들어, 이 방법은 제논 불화물(XeF<sub>4</sub>, XeF<sub>6</sub>, XeF<sub>8</sub>, XeF<sub>2</sub>·XeF<sub>4</sub> 등), 제논 할로젠 불화물(XeCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, XeClF<sub>5</sub> 등), 제논 옥시불화물(XeOF<sub>2</sub>, XeOF<sub>4</sub>, XeO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, XeOF<sub>6</sub> 등), 기타 제논 화합물(XeO<sub>3</sub>, XeO<sub>4</sub> 등) 및 기타 회가스 화합물(KrF<sub>2</sub> 등)로부터 회가스를 재활용하는데 이용될 수 있다. 전술한 방법 중 특정의 것은 상이한 화학을 위해 더욱 효과적일 수 있다. 여기에서 제공된 개시 내용에 의해 안내되는 일상적인 실험은 특정 상황을 위해 적절한 조건을 확인하는데 이용될 수 있다.

[0080] 상이한 방법이 Xe를 분리하는데 이용되는 것보다는 공정 가스로부터 XeF<sub>2</sub>를 분리하는데 이용될 수 있다는 것도 이해될 수 있을 것이다. XeF<sub>2</sub>의 분리는 또한 이하에 더욱 상세히 설명되는 바와 같이, 에칭 공정의 효율을 증대시키기 위하여 에칭 공정 동안 수행될 수 있다. XeF<sub>2</sub> 혹은 Xe의 분리는 여기에 기재된 방법들 중 어느 하나를 통해서 수행될 수 있고, 그들의 물성 혹은 화학적 특성을 이용함으로써 수행될 수 있다. 예를 들어, 증기압의 차이는 진공 증류 혹은 응축 과정 동안 이용될 수 있거나, 비점 혹은 융점 등의 상 변화 온도의 차이는 증류 및 여과 공정에서 이용될 수 있거나, 용해도 차이는 추출 과정에서 이용될 수 있거나, 또는 결정 구조의 차이는 재결정 과정에서 이용될 수 있다. 이온화 에너지, 분자량, 확산성, 밀도, 흡수성, 흡착도 및 크로마토그래피



특성 등의 기타 특성도 재료를 분리하는데 이용될 수 있다.

- [0081] 하나의 특별한 실시형태에 있어서,  $XeF_2$ 는 공정 가스 중의 다른 분자에 비해서 비교적 큰 분자일 수 있다. 크기-선별막 혹은 분자체를 이용해서,  $XeF_2$ 는 기타 분자로부터 분리될 수 있고, 때로는 추가의 정제 후 상기 공정으로 되돌아갈 수 있다.
- [0082] 도 12는 이러한 방법(200)의 실시형태를 도시하고 있고, 이 방법은 스텝 210에서 시작하여,  $XeF_2$  에칭제가 에칭 공정 동안 이용된다. 스텝 220에서, 공정 가스는 에칭실로부터 배기될 수 있다. 스텝 230에서,  $XeF_2$ 는, 예컨대, 크기 선별막 혹은 분자체 등의 크기 선별기의 이용을 통해서, 또는  $XeF_2$ 를 분리하는 다른 적절한 방법을 통해서 기타 분자(원소 Xe를 포함함)로부터 분리된다. 분리된  $XeF_2$ 는 스텝 240에서 에칭 공정으로 되돌아갈 수 있고, 원소 Xe는 몇몇 방식으로 그 자체로 스텝 250에서 재활용될 수 있다.
- [0083] 저온 트랩은 또한 전술한 원소 Xe의 분리와 마찬가지로  $XeF_2$ 를 분리하는데도 이용될 수 있다.  $XeF_2$ 가 에칭제로서 이용되고, Mo가 희생층으로서 이용될 경우, 주된 에칭 부산물은  $MoF_6$ 이다. 저온 트랩을 위한 적절한 온도는 약  $230^\circ K$ 이지만,  $230^\circ K$ 보다 높은 온도와 낮은 온도의 양쪽 모두의 온도가 이용될 수도 있다.  $230^\circ K$ 에서,  $MoF_6$ 의 증기압은 수 Torr인 한편,  $XeF_2$ 의 증기압은 0.1 Torr 이하이다. 이 온도는, 1기압에서 대략  $230.8^\circ K$ 의 온도를 유지하는 고체-액체 테트라클로로에테인을 이용하는 방법이나, 1기압에서 약  $232.5^\circ K$ 의 온도를 유지하는 액체-기체 클로로다이플루오로아이오도메테인을 이용하는 방법을 통하는 등의 각종 방식으로 유지될 수 있다.
- [0084] 도 13은 저온 트랩을 이용하여  $XeF_2$ 를 분리 및 회수하기 위한 예시적인 방법(300)을 도시하고 있다. 스텝 310에서는, 공정 배기가 회수된다. 스텝 320에서, 건조제의 이용을 통해서 공정 가스로부터 수증기가 제거될 수 있다. 이 방법은 이어서 스텝 330으로 이동될 수 있고, 이 스텝 330에서  $XeF_2$ 가 저온 트랩을 이용해서 다른 공정 가스로부터 제거된다. 이 방법은 또한 저온 트랩 내에서  $XeF_2$ 로부터 분리된 원소 Xe가 재활용되는 스텝 370을 포함할 수 있다.  $XeF_2$ 가 스텝 330에서 저온 트랩을 개재해서 분리된 후,  $XeF_2$ 는 더욱 스텝 340 및 스텝 350에서 정제되고, 이때 스텝 340에서는  $XeF_2$ 가 증류 혹은 여과 처리되며, 스텝 350에서는  $XeF_2$ 가 재결정된다. 특히,  $XeF_2$ 는 하나의 장소에서 기화될 수 있고, 이어서 다른 장소에서 재결정될 수 있다. 몇몇 실시형태에 있어서, 스텝 340 및 스텝 350은 필요에 따라 소정 수준의 순도를 얻기 위하여 반복될 수 있다. 최종적으로, 스텝 360에서, 충분히 순수한  $XeF_2$ 가 얻어질 수 있고, 이것은 재결정 스텝 350이 수행될 경우 고체 형태일 수 있다.
- [0085] 위에서 언급된 바와 같이,  $XeF_2$ 를 분리하는데 많은 다른 방법이 이용될 수 있고, 특정 방법의 적합성은 다른 재료에 많은 부분 의존할 것이며, 이 다른 재료로부터  $XeF_2$ 가 분리된다.  $XeF_2$ 가 에칭제로서 이용되고 Mo가 희생층으로서 이용되는 실시형태에서는, 위에서 언급된 바와 같이 주된 부산물이 전형적으로  $MoF_6$ 일 것이다. 약  $290^\circ K$  내지  $307^\circ K$  범위의 온도 및 1기압에서,  $MoF_6$ 가 액체이고  $XeF_2$ 가 고체이다. 이와 같이 해서, 실온에서의 여과는 고체와 액체를 분리하는데 이용될 수 있다.
- [0086] 회수된 원소 Xe는 위에서 언급된 바와 같이  $XeF_2$ 를 생성하는데 이용될 수 있다. 일 실시형태에 있어서, Xe는 고압에서  $F_2$ 에 노출되어 니켈을 촉매로서 이용해서  $XeF_2$ 를 형성할 수 있다. 다른 실시형태에 있어서, Xe는 열, UV 광 혹은 방전으로부터의 조사에 노출될 경우 대략 화학량론적으로 동일한 2배의 양의  $F_2$ 와 직접 반응할 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, Xe와  $F_2$ 는 약 250nm 내지 350nm의 파장에서 UV 광으로 조사되어, 실질적으로 순수한  $XeF_2$ 를 발생시킬 수도 있다.
- [0087] 이와 같이 해서, 전술한 각종 방법은 각종 방식으로 조합될 수 있고, 또한 소정의 스텝은 전적으로 변경되거나 대체되거나 혹은 삭제될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 소정의 실시형태에 있어서, 원소 Xe는 공정 배기로부터 추출될 수 있고, 나중의 재활용 동안 보존될 수 있거나, 혹은 전술한 공정을 통해서 또는 다른 적절한 공정을 통해서  $XeF_2$ 를 생성하는데 이용될 수 있다. 다른 실시형태에 있어서, 미사용  $XeF_2$ 는 분리되고 정제될 수 있다. 추가의 실시형태에 있어서, 생성되거나 분리된  $XeF_2$ 는 이하에 더욱 상세히 설명될 에칭 공정으로 되돌

려보낼 수도 있다.

[0088] 도 14는 전형적인 화학반응의 반응물 조성을 나타내고 있다. 초기(t=0)에서의 압력에 대한 평형 상태(t=∞)에서의 압력의 비는 이론적인 효율(즉, 가능한 최대치)을 결정하는데 이용될 수 있다. 이 결정치는, 당업자에 의해 이해될 수 있는 바와 같이, 반응물과 생성물의 표준 깁스 자유 에너지(Gibbs free energy)를 이용해서 산출될 수 있다. 1 Torr에서의 XeF<sub>2</sub>가 Mo 희생층을 에칭하는데 이용되는 에칭 공정에 있어서, XeF<sub>2</sub>에 대한 Mo의 몰 비는 1:3이고, 실온에서의 XeF<sub>2</sub>의 평형 압력은 대략 1×10<sup>-58</sup> Torr이며, 이것은 이론적인 효율이 거의 100%에 가깝다는 것을 의미한다. 실제의 에칭 공정의 효율의 현재의 추정치는, 대략 50%에 대해, 유의하게 100% 이하이다. 실제 효율과 이론적 효율 간의 상위의 예상되는 원인으로는, 모든 희생 재료의 제거를 확보하기 위하여, 과잉 에칭을 위해 설계된 에칭 공정과 평형이 아닌 공정 조건을 포함한다. 이들 인자는 이론적인 최대 효율의 도달을 방지할 수 있는 한편, 그 효율은 그럼에도 불구하고 적어도 반응 배위를 전방으로 이행시켜 에칭 공정 흐름을 변경시킴으로써 향상될 수 있다. 따라서, XeF<sub>2</sub> 에칭 공정의 효율은 향상될 수 있다.

[0089] 소정의 실시형태에 있어서, 에칭 공정은 방출 속도(release rate)를 증가시키도록 변경될 수 있다. 일반적으로, 방출 속도는 이하의 관계식에 의해 표현될 수 있다:

$$\text{속도} = k \cdot A_{\text{sac}} \cdot P_{\text{XeF}_2}^n \cdot P_{\text{product1}}^m \cdot P_{\text{product2}}^l \dots$$

[0091] 상기 식 중, k는 속도 상수이고, A<sub>sac</sub>은 희생 재료의 노출된 표면적이며, P는 각각의 생성물에 대한 분압이다. 각종 반응물과 생성물에 대한 반응 차수는 n, m, l 등으로 부여되며, n은 양수인 한편, m 및 l은 영(0)이거나 음수이다.

[0092] 희생 재료의 노출된 표면적 A<sub>sac</sub>의 증가는 에칭 공정의 방출 속도를 증가시키는 것을 알 수 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 이것은 위에 있는 층을 통해 연장되어 희생층에의 접근을 허용하는 에칭 구멍의 내포나 부가를 통해 증가될 수 있다. 추가의 실시형태에 있어서, 이들 에칭 구멍은 XeF<sub>2</sub>의 통과를 허용하는 나노-크기의 구멍일 수 있다. 예를 들어, 비교적 적고 비교적 큰 에칭 구멍이 제공되고 에칭 가스와 부산물이 형성되고 있는 공동부 내의 반응 영역을 빠져나가기 위하여 충분히 멀리 주행할 필요가 있는 전형적인 실시형태에 비해서, 비교적 작은 나노-크기의 구멍이 비교적 다수 제공되어 에칭 가스와 부산물에 의해 횡단되는 공동부 내의 거리가 감소되고, 보다 신속한 방출 속도를 제공할 수 있다. 추가의 실시형태에 있어서, 다공성 희생 재료는 에칭 공정에서 주어진 지점에서 상기 노출된 표면적을 증가시키기 위하여 이용될 수 있다.

[0093] 다른 실시형태에 있어서, 부산물의 분압은 저감될 수 있고, 에칭제의 분압은 유지되거나 그 감소가 최소화될 수 있다. 도 15는 앞에서 설명된 소정의 수법을 이용해서 이 결과를 얻도록 구성된 시스템(400)을 도시하고 있다. 이 시스템은 에칭실(410) 내로의 XeF<sub>2</sub>의 흐름 속도를 제어하는 밸브(412)를 개재해서 XeF<sub>2</sub> 공급기(420)로부터 분리된(즉, 독립된) 에칭실(410)을 포함한다. 에칭실(410)의 상태를 모니터링하는 하나 이상의 센서가 설치되어 있을 수 있다. 예시된 실시형태에 있어서, 상기 시스템(400)은 총 압력을 모니터링하도록 구성된 센서(432)와, XeF<sub>2</sub> 압력을 모니터링하도록 구성된 센서(434)를 포함하여, 에칭 공정 동안 임의의 주어진 지점에서 XeF<sub>2</sub>의 분압의 결정을 허용한다. 순환 펌프(440)는 밸브(414)를 개재해서 에칭실로부터 분리되어 있고, 부산물 제거기(450)(소정의 실시형태에서는 XeF<sub>2</sub> 분자의 크기에 의거해서 재료의 나머지로부터 XeF<sub>2</sub>를 분리할 수 있는 크기 선별기)를 향하여 밸브(416)를 통해서 공정 가스를 밀어내도록 구성되어 있다. 이와 같이 해서, 부산물 제거기(450)는, 예를 들어, 투과막, 혹은 크기-선택적 흡수제 혹은 흡착제를 포함할 수 있다. Xe 분리장치(460)는, 에칭 부산물로부터 원소 Xe를 생성하기 위하여 제공될 수 있다. 필요한 경우, 밸브(419)는 개방될 수 있고, 진공 펌프(470)는 에칭실로부터 공정 가스를 제거하는데 이용될 수 있다. 분리된 XeF<sub>2</sub>는 이어서 에칭실 내로 도로 흘러들어갈 수 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 밸브는 2방향 밸브(two-way valve)일 수 있다.

[0094] 이와 같이 해서, 일 실시형태에 있어서, 순환 펌프(440)는 에칭 공정 동안 부산물 제거기(450)를 향하여 공정 가스를 구동한다. 에칭 부산물은 해당 부산물의 분압을 감소시키기 위하여, 부산물 제거기(450)를 개재해서 에칭 동안 제거된다. 에칭실(410) 내로 되돌아온 분리된 XeF<sub>2</sub>를 순환시킴으로써, XeF<sub>2</sub> 분압의 감소 속도는 느려질 수 있다. 필요한 경우 혹은 원하는 경우, XeF<sub>2</sub> 분압을 모니터링하는 센서(432), (434)는, 원하는 지점에서 XeF<sub>2</sub>의 분압을 유지하기 위하여, 밸브(412)가 추가의 XeF<sub>2</sub>를 방출시키기 위해서 얼마나 오래 개방되어야만 하는

지를 나타내는 지표를 제공하는데 이용될 수 있다.

[0095] 다른 실시형태에 있어서, 밸브(418)는 맥동 에칭 모드(pulse etching mode)로 작동을 허용하기 위하여 부산물 제거기(450)와 에칭실(410) 사이에 설치될 수 있고, 이때, 밸브(414), (416)는 부산물 제거기(450)를 향해서 공정 가스의 흐름을 허용하도록 주기적으로 개방되고, 이어서, 밸브(418)는 에칭실(410) 내로의 정제된 XeF<sub>2</sub>의 흐름을 허용하도록 개방된다. 순환 펌프(440)는 가스 흐름을 용이하게 하도록 이들 두 스텝에서 이용될 수도 있다.

[0096] 다른 실시형태에서는, 가변 용적실이 에칭 공정의 속도 상수를 증가시키기 위하여 맥동 에칭 공정에 이용될 수 있다. XeF<sub>2</sub>를 이용한 폴리브덴층의 에칭은 1차 반응인 것으로 표시되어 있다. 즉, 주어진 가공부품에 대해서 주어진 온도에서의 에칭 반응 속도(노출된 Mo 표면적이 일정한 것으로 가정함)는 다음과 같다:

[0097] 
$$\text{속도} = k \cdot P_{\text{XeF}_2}^n$$

[0098] 식 중, k는 반응 속도 상수이고, P<sub>XeF<sub>2</sub></sub>는 처리실 내에서의 XeF<sub>2</sub>의 분압이다. 에칭이 폐쇄된 용기 내에서 일어날 경우, Mo의 에칭으로 인한 XeF<sub>2</sub>의 상대 소비 속도는 처리실 내의 XeF<sub>2</sub>의 초기 분압과 무관하다. 이 상대적 소비 속도는 상기 처리실 내의 XeF<sub>2</sub>의 반감기(처리실 내의 총 XeF<sub>2</sub>의 50%가 소비될 때까지의 시간)로 환산해서 표현될 수 있으며, 이때의 반감기는 이하의 식으로 부여된다:

[0099] 
$$t_{1/2} = \ln(2/k).$$

[0100] 이와 같이 해서 에칭제의 반감기는 에칭 공정의 이용 효율을 결정한다. 주어진 과정을 위해서, 2t<sub>1/2</sub>의 지속 시간은 75%의 이용 효율을 가져올 것이고, 4t<sub>1/2</sub>의 지속 시간은 94%의 이용 효율을 가져올 것이다. 따라서, 지속 시간을 반감기의 4배까지 배가시킴으로써, XeF<sub>2</sub>의 이용 효율은 거의 20%만큼 증가되지만, 처리량의 저감이라고 하는 희생이 뒤따른다.

[0101] 맥동 에칭 공정에 이용되는 보다 짧은 일련의 지속 시간은 XeF<sub>2</sub> 에칭제에 대한 보다 낮은 이용 효율이라고 하는 희생을 치르고 보다 큰 에칭을 제공한다. 따라서, 일 실시형태에 있어서, 일련의 3개의 XeF<sub>2</sub> 맥동 에칭 사이클이 사용될 수 있고, 이때 1 Torr 분압에서의 XeF<sub>2</sub>는 30초 에칭의 지속 기간 동안 에칭실 내로 도입되고 나서 사이클 사이에 펌프-아웃 퍼지(pump-out purge)가 이어진다.

[0102] 이 에칭 공정 동안 XeF<sub>2</sub>의 반감기가 약 15초인 실시형태에 있어서, 총 에칭 지속 시간의 함수로서의 처리실 내의 초기 XeF<sub>2</sub>에 대한 미사용 XeF<sub>2</sub>의 비는 도 16에 도시되어 있다. 이 공정 동안 초기 XeF<sub>2</sub>에 대한 미사용 XeF<sub>2</sub>의 비(554)는 각 사이클의 말기에 약 0.25로 저감되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 해서 총 XeF<sub>2</sub>의 75%는 이 공정에서 이용된다. 나머지는 위에서 논의된 바와 같이 회수되고/되거나 재활용될 수 있다.

[0103] 위에서 언급된 바와 같이, XeF<sub>2</sub> 소비의 상대속도는 XeF<sub>2</sub>의 초기 분압과는 무관하다. XeF<sub>2</sub>의 초기 분압을 증가시킴으로써, 반감기는 일정하게 유지될 것이고, Mo의 에칭 속도는 증가될 것이다. 다른 실시형태에 있어서, 위에서 설명된 3가지 사이클 에칭은 단일 사이클로 대체될 수 있고, 이때 초기 분압은 3 Torr이고 지속시간은 약 90초이다. 에칭제의 상대 소비 속도는 초기 분압과 무관하므로, 시간의 함수로서의 초기 XeF<sub>2</sub>에 대한 미사용 XeF<sub>2</sub>의 비율의 플롯(556)은 지속 시간의 처음 30초에 대해서 앞서 설명된 맥동 에칭 공정으로부터 동일한 비율의 플롯(564)과 평행하고, 이어서, 계속 하향하여, XeF<sub>2</sub>의 대략 99%가 90초 지속 시간의 말기까지 사용되게 된다.

[0104] 동일 총량의XeF<sub>2</sub>가 1 Torr에서 3가지 에칭 사이클의 조합에 의해 도입되었지만 3 Torr에서 단일 에칭 사이클에 의해 도입됨에 따라, 보다 높은 분압에서의 XeF<sub>2</sub>의 도입에 의해 그 효율이 상당히 증가된 것을 알 수 있다. 이상 단일의 확장된 에칭 사이클에 대해서 설명되었지만, 보다 높은 XeF<sub>2</sub> 분압에서의 다수의 사이클이 에칭 효율의 희생을 통해서 처리량의 증가가 바람직할 수도 있는 에칭 공정에서 연속해서 이용될 수도 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

[0105] 도 17은 증가된 분압에서 처리실(480) 내로 에칭제를 도입하도록 구성된 시스템(470)의 일 실시형태를 도시하고

있다. 해당 시스템(470)은 도 15의 시스템(400)과 유사하지만, 2가지 관점에서 상당한 차이가 있다. 상기 시스템(470)은 처리실(480) 내의 에칭제의 분압을 항상 유지할 필요가 없기 때문에, 시스템(400)의 센서(432), (434)는 시스템(470)에 포함될 필요는 없지만, 시스템(470)의 분압을 모니터링하기 위한 센서는 필요에 따라 포함하고 있어도 된다. 상기 시스템(470)은 또한 XeF<sub>2</sub> 공급원(420)과 처리실(480) 사이에 위치된 팽창실(482)을 포함한다. 상기 팽창실(482)은 XeF<sub>2</sub>의 압력을 증가시키기 위하여 해당 팽창실(482)의 용적을 변화시키는 기구를 포함할 수 있다. 다른 실시형태에 있어서, 처리실(480)은 해당 처리실(480)의 용적을 변화시키는 기구도 포함할 수 있고, 특정 실시형태에서는, 해당 처리실(480)이 가변 용적을 지닐 경우 팽창실(482)은 필요하지 않을 수 있다.

[0106] 시스템(470)이 가변 용적을 지닌 팽창실(482)을 포함하는 실시형태에 있어서, 에칭 공정은 다음과 같이 진행될 수 있다. 밸브(411)가 개방되어 XeF<sub>2</sub>가 XeF<sub>2</sub> 보존실(420)로부터 팽창실(482) 내로 유입되도록 할 수 있다. 이어서, 팽창실(482) 내의 XeF<sub>2</sub>는 팽창실(482) 내의 XeF<sub>2</sub>의 압력을 증가시키도록 압축될 수 있다. 밸브(412)가 이어서 개방되어, 가압된 XeF<sub>2</sub>가 팽창실(482)로부터 처리실(480) 내로 유입되는 것을 허용할 수 있다. 가압된 XeF<sub>2</sub>는 처리실(480) 내로 유입되고 있기 때문에, 처리실(480) 내의 XeF<sub>2</sub>의 분압은 증가할 것이고, 해당 소비의 상대 속도는 상기 처리실 내의 에칭제의 초기량이 많을수록 일정하게 유지될 것이므로, 단위 시간당 소비된 희생 재료의 양은 이에 따라서 증가될 것이다.

[0107] 다수의 사이클이 이용될 필요가 있다면, 순환 펌프(440)를 이용해서, 전술한 바와 같이 사이클 간에 처리실(480)로부터 공정 가스를 유출시켜도 된다. 크기 선별기(450) 및 Xe 재활용기(recycler)(460)를 이용해서, 각 에칭 사이클의 말기에 처리실(480) 내에 남아 있는 Xe를 재활용할 수 있다. 또한, 다수의 사이클이 이용될 경우, 사이클 간의 시간은 이전의 사이클의 지속 시간 동안 팽창실(482) 내로 추가의 XeF<sub>2</sub>를 도입함으로써 저장될 수 있다. 이 시간에 혹은 이 시간 동안 팽창실(482) 내의 XeF<sub>2</sub>를 압축시킴으로써, 가압된 XeF<sub>2</sub>는 이전의 에칭 사이클의 말기에 펌프-아웃 과정의 완료 즉시 처리실 내로 방출될 준비가 될 수 있다.

[0108] 다른 실시형태에 있어서, 일단 XeF<sub>2</sub>가 에칭제의 분압을 증가시키기 위해 도입되면 처리실(480)의 용적은 저장될 수 있다. 이것은 팽창실(482) 내의 에칭제의 압축 대신에 혹은 해당 압축에 이어서 행해질 수 있다.

[0109] 추가의 실시형태에 있어서, XeF<sub>2</sub>는 처리실(480) 내로 도입되기 전에 보다 고온에서 유지될 수 있는 한편, 팽창실(482)은 정상의 처리 온도에서 유지된다. 처리실(480) 내의 압력은 팽창실(482)의 용적 및 팽창실(482)과 처리실(480) 간의 용적비에 의존한다. 팽창실(482) 내의 압력은 XeF<sub>2</sub> 보존실(420), 팽창실(482) 및 가스 매니폴드(gas manifold)에서 최소 온도를 제어함으로써 제어될 수 있다. 이 최소 온도가 높을수록, 팽창실(482) 내의 가능한 압력은 높게 된다. 처리실(480) 내의 압력이 이 처리 온도에서 XeF<sub>2</sub> 증기압 이하로 유지되는 한, XeF<sub>2</sub> 에칭제의 응축은 회피될 수 있다.

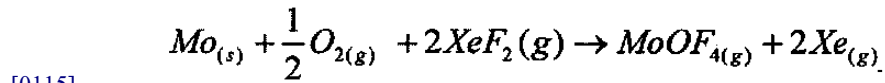
[0110] 예를 들어, 처리실(480)과 팽창실(482) 간의 가스 방출 지점에서의 용적비가 1:1인 특정 실시형태에 있어서, 50 °C의 온도 및 23 Torr의 압력에서의 XeF<sub>2</sub>는 30 °C에서 유지된 처리실(480) 내로 방출될 수 있고, 그 결과, 처리실(480) 내는 약 8 Torr의 XeF<sub>2</sub> 증기압으로 될 것이다. 이용되는 특정 온도 및 압력은 각종 설계 고려사항에 의존할 수 있고, 이러한 고려사항으로는 제조 공정을 위한 소망의 처리속도, 소망의 공정 온도, 에칭될 구조 등을 들 수 있지만, 이들로 제한되는 것은 아니다.

[0111] 다른 실시형태에 있어서, 속도 상수  $k$ 는 에칭 속도를 증가시키기 위하여 증가될 수 있다. 일반적으로, 속도 상수  $k$ 는 다음과 같이 아레니우스 식(Arrhenius equation)에 의해 규정된다:

$$k = f \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

[0112] 식 중,  $k$ 는 속도 상수이고,  $f$ 는 지수 앞자리 인자(pre-exponential factor)이며,  $E_a$ 는 활성화 에너지이고,  $R$ 은 보편 기체 상수(universal gas constant)이며,  $T$ 는 절대 온도이다. 특정 반응을 위해서,  $f$  및  $E_a$ 는 일정하다. 에칭 공정이 수행되는 온도를 증가시키면, 에칭 속도가 증가할 것이다. 그러나, 온도를 증가시키는 유효성은 활성화 에너지에 커다란 부분 의존한다. 제작 중인 장치는 에칭 공정이 수행될 수 있는 온도를 제한할 수도 있다.

[0114] 또, 속도 상수는 에칭 공정을 변화시킴으로써 변경될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 이것은 에칭제 혹은 희생 재료를 변화시킴으로써 혹은 공-에칭제의 첨가에 의해 행해질 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 물리 브덴 희생층을 에칭하기 위하여 XeF<sub>2</sub>에 부가해서 산소가 이용되며, 이때의 반응은 이하의 반응식에 의해 부여된다:



[0116] XeF<sub>2</sub>는 또한 Mo와 직접 반응하여 MoF<sub>6</sub>를 형성할 수 있다. MoF<sub>6</sub>가 이어서 산소와 반응하여 추가의 MoOF<sub>4</sub>를 형성하므로, 이 MoOF<sub>4</sub>는 궁극적인 주된 부산물일 수 있다. MoOF<sub>4</sub>는 XeF<sub>2</sub>보다 낮은 증기압을 지니므로, 상기 공정 가스는 저온 트랩을 통과해서 MoOF<sub>4</sub>를 응축시키고 에칭실 내로 분리된 XeF<sub>2</sub>를 도로 재활용할 수 있다.

[0117] 도 18은 전술한 XeF<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 에칭 공정과 함께 이용하기 위해 구성될 수 있는 예시적인 시스템(500)을 도시하고 있다. 이 시스템은 해당 시스템을 통하여 위치된 밸브(506)를 포함한다(특정 밸브는 여기서는 특정 접미사에 의해 식별된다). 상기 시스템은 또한 예시된 실시형태에서 각각 100 Torr 압력계 및 1000 Torr 압력계를 포함하는 압력 센서(502), (504)를 포함하지만, 다른 압력 센서도 이용될 수 있다. XeF<sub>2</sub> 보존실(512) 및 O<sub>2</sub> 보존실(514)은 에칭제를 보존하는데 이용되며, 퍼지 가스실(516)도 또한 구비되어, 예를 들어 질소를 수용할 수 있다. XeF<sub>2</sub> 흐름의 제어는 밸브(506a)를 개재해서 제공될 수 있고, O<sub>2</sub> 흐름의 제어는 그 중에서 밸브(506b)를 개재해서 제공될 수 있다. 질량 흐름 제어기(mass flow controller)(508)는 또한 가스 흐름에 대한 추가의 제어를 제공하기 위해 이용될 수 있다.

[0118] 가스의 어느 것이라도 밸브(506k)를 개재해서 에칭실(510) 내로 직접 분배될 수 있지만, XeF<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>는 혼합되어 별도의 에칭제 혼합실(518)에서 보존될 수 있고, 이때, 해당 혼합물의 조성은 제어될 수 있고, 압력은 상기 혼합실과 관련하여 압력 센서를 통해 모니터링될 수 있다. 밸브(506d)는 에칭실(510) 내로 에칭제 혼합물을 분배하는데 이용될 수 있다. 필요한 경우, 밸브(506e)가 개방될 수 있고, 공정 가스는 에칭실(510)로부터 순환 펌프(520)를 통해서 방출될 수 있다. 원하는 경우, 바이패스 밸브(506f)가 폐쇄될 수 있고, 저온 트랩 입구 밸브(506a)와 출구 밸브(506h)가 개방되어 해당 저온 트랩(530)을 통해 유체 흐름이 안내될 수 있다. 이와 같이 해서, 저온 트랩(530)은 해당 저온 트랩을 통해서 공정 가스가 흐름에 따라 응축된 MoOF<sub>4</sub>를 회수할 것이다. 이어서, 미사용 XeF<sub>2</sub>는 에칭실 내로 도로 들어갈 수 있다. 저온 트랩 이외의 시스템의 구성요소는, 몇몇 실시형태에서, 잔사의 회수를 방지하기 위하여 상승된 온도에서 유지될 수 있다.

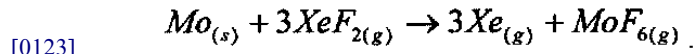
[0119] 장기의 동작 후 저온 트랩(530)으로부터 과잉의 MoOF<sub>4</sub>를 제거할 필요가 있을 수 있다. 이러한 경우에, 저온 트랩의 입구 밸브(506g)와 출구 밸브(506h)는 폐쇄될 수 있어, 저온 트랩은 MoOF<sub>4</sub>의 증기화를 허용하는데 충분한 온도까지 가온되고, 밸브(506i)는 개방될 수 있어, 증기화된 MoOF<sub>4</sub>가 배기 펌프(540)를 통해 배출될 수 있다. 크기 선별기(550)는 배기 펌프의 하류에 설치되어 있을 수 있고, 원하는 종들을 단리 혹은 제거하기 위하여 제논 재활용 공정과 관련하여 이용될 수 있다. 예컨대, 퍼지 가스의 방출과 관련하여, 에칭실로부터 가스를 제거하기 위하여, 밸브(506j)가 개방될 경우, 배기 펌프가 또한 이용될 수 있다.

[0120] 이와 같이 해서, 시스템(500)은 MoOF<sub>4</sub> 등의 부산물의 분압을 저감시킬 수 있는 한편, 에칭제의 소망의 분압을 유지시키기 위하여 XeF<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>의 혼합물이 에칭실(510) 내로 연속적으로 펌핑된다(또한 미사용 에칭제가 에칭실(510) 내로 재순환된다). 또, 시스템(500)의 일부분이 본 명세서에 개시된 기타 장치 및 공정들과 관련하여 이용될 수 있고, 시스템(500)의 일부분이 필요에 따라 전체적으로 대체, 재배열 혹은 제거될 수 있다는 것도 이해할 수 있을 것이다.

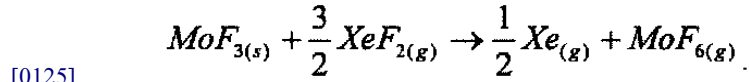
[0121] 다른 실시형태에 있어서, 대안적인 희생 재료 혹은 구조체가 이용될 수 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 에칭 속도는 Mo, Si 혹은 Ge 이외의 희생층을 이용함으로써 증가될 수 있다. 특히, 보다 높은 몰부피(예를 들어, 보다 가벼운 재료)를 지닌 재료의 이용은 주어진 용적 내를 채우는데 요구되는 재료의 양을 저감시키고, 주어진 용적의 희생 재료를 제거하는데 이용되는 에칭제의 양을 저감시킬 것이다. 또한, 다단계 반응이 희생 재료를 에칭하는데 이용될 경우, 희생 재료로서 이들 반응의 중간 생성물의 이용이 희생 재료를 에칭하는데 이용되는

에칭제의 양을 저감시킬 수 있고, 또한 에칭 공정의 속도를 증가시킬 수도 있다.

[0122] 위에서 언급된 바와 같이, XeF<sub>2</sub>가 희생 재료로서 Mo를 에칭하는데 이용될 경우, 화학량론적 화학은 다음과 같다:



[0124] 대신에, 몰리브덴 서브플루오라이드(molybdenum subfluoride) 등과 같은 상기 반응의 중간체가 출발 희생 재료로서 이용될 경우, 이 방출, 즉, 유리 공정을 위한 화학량론적 화학은 이제 다음과 같다:



[0126] 이와 같이 해서, 주어진 몰부피의 몰리브덴만을 유리시키는데 이용되는 양과 비교하면, 50% 이하의 XeF<sub>2</sub> 에칭제가 주어진 몰부피의 MoF<sub>3</sub>를 유리시키는데 이용될 수 있는 것을 알 수 있다. 그러나, 보다 높은 부피의 MoF<sub>3</sub>(Mo에 대해서 9.53 cm<sup>3</sup>/몰인 것에 비해서 32.96 cm<sup>3</sup>/몰)가 주어진 공간을 채우기 위해 증착되는 MoF<sub>3</sub>의 양을 저감시키는 것도 이해할 수 있다. 예를 들어, Mo에 대해서 1cm<sup>3</sup>의 공간을 채우는데 0.105몰이 필요한데 대해서, 1cm<sup>3</sup>의 공간을 채우는데 MoF<sub>3</sub>는 0.03몰이 필요하다. 1cm<sup>3</sup>의 MoF<sub>3</sub>를 제거하는데 이용되는 XeF<sub>2</sub>의 양은 동일 부피의 Mo를 제거하는데 이용되는 0.315몰에 비해서, 0.045몰이다. 이와 같이 해서, Mo 대신에 MoF<sub>3</sub>를 이용함으로써, 희생층을 에칭하는데 이용되는 XeF<sub>2</sub>의 양은 Mo를 에칭하는데 이용되는 것의 대략 14%까지 저감될 수 있다.

[0127] 부분적으로 불소화된 MoF<sub>3</sub> 등과 같은 희생층의 에칭은 단지 Mo의 에칭보다 빠르게 일어날 수 있다. 이러한 가속된 에칭은 Mo 층을 노출하는 에칭 구멍 혹은 기타 개구부에 인접한 Mo 희생층의 노출된 부분 등과 같이 부분적으로 산화된 Mo 층에서 관찰되고 있다.

[0128] 희생 재료로서 이용된 광범위한 중간 생성물 및 기타 Mo-, Si-, W- 및/또는 Ge-함유 재료가 이용된 에칭제의 양의 마찬가지로의 저감을 제공할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 표 1은 이러한 재료의 몰부피, XeF<sub>2</sub> 화학량론, 용점, 및 주어진 부피의 재료에 대해서 Mo의 이용에 대한 XeF<sub>2</sub>의 이용의 비율과 함께, 이러한 재료의 예들의 비제한적인 예를 나타내고 있다.

**표 1**

| 재료                             | 몰부피<br>(cm <sup>3</sup> /mol) | XeF <sub>2</sub><br>화학량론 | 용점<br>(°C) | XeF <sub>2</sub> 이용 대<br>Mo 이용 |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------|--------------------------------|
| Mo                             | 9.53                          | 3                        | 2622       | 1                              |
| Si                             | 12.06                         | 2                        | 1414       | 0.527                          |
| W                              | 9.42                          | 3                        | 3414       | 1.01                           |
| Ge                             | 13.63                         | 2                        | 938.25     | 0.486                          |
| MoF <sub>3</sub>               | 32.96                         | 1.5                      | >600       | 0.1451                         |
| MoF <sub>5</sub>               | 54.55                         | 0.5                      | 67         | 0.029                          |
| MoF <sub>4</sub>               | 불명                            | 1                        | 불명         | 불명                             |
| MoN                            | 11.95                         | 3                        | 1750       | 0.797                          |
| MoSi <sub>2</sub>              | 24.53                         | 7                        | 1900       | 0.9067                         |
| *MoO <sub>2</sub>              | 19.77                         | 2                        | 1100       | 0.321                          |
| *MoO <sub>3</sub>              | 30.63                         | 2                        | 860        | 0.207                          |
| MoCl <sub>3</sub>              | 54.09                         | 3                        | 1027       | 0.176                          |
| WN <sub>2</sub>                | 27.51                         | 3                        | 600        | 0.346                          |
| WCl <sub>4</sub>               | 70.49                         | 3                        | 450        | 0.135                          |
| *WO <sub>2</sub>               | 19.99                         | 3                        | 1500       | 0.477                          |
| WF <sub>4</sub>                | 불명                            | 1                        | 800        | 불명                             |
| *SiO                           | 20.22                         | 2                        | >1200      | 0.314                          |
| Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 44.25                         | 6                        | 1900       | 0.431                          |
| GeF <sub>2</sub>               | 30.39                         | 1                        | 110        | 0.105                          |

[0129]

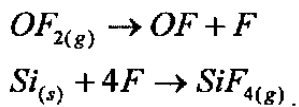
- [0130] 표 1에 표시된  $XeF_2$  화학량론학은, 최종 부산물이 열거된 서브불화물에 대해서는 완전한 불화물이고, 서브산화물에 대해서는 완전한 불화물과 옥시불화물이며, 서브질화물에 대해서는 완전한 불화물과 분자 질소이고, 서브염화물에 대해서는 완전한 불화물과 분자 염소인 것을 가정하고 있다. 각종 실시형태 및 공정 조건에서, 실제의 에칭 반응이 다양할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 또한, 상기 부피는 벨트 재료 데이터의 기초하여 수록되어 있고, 박막 및 다공성 재료의 물 값은 유의하게 변화될 수 있다.  $MoO_2$ ,  $MoO_3$ ,  $WO_2$  및  $SiO$ 에 대해서, 상기 표에 부여된 화학량론적 화학은 임의의 가정에 기초한다. 표에 언급되어 있지는 않지만, 비-화학량론적 재료(non-stoichiometric material)도 이용될 수 있다.
- [0131] 당업자라면, 본 명세서에 기재된 각종 물성(비점 등)은 조건(압력 등)을 변경함으로써 조정될 수 있고, 이 조건 하에 결정되는 것임을 것을 이해할 수 있을 것이다. 이와 같이 해서, 여기서 제공된 지침에 비추어, 본원에서의 특정 물성(예컨대, 주어진 압력에서 비점 및 분리 조건 등)의 설명은 다른 조건 하에서 대응하는 물성(다른 압력에서 대응하는 비점 등)의 설명으로서 이해될 수 있을 것이다.
- [0132] 본 명세서에 개시된 어떠한 방법에 있어서도 특정 에칭 공정으로부터 회수된 Xe 및  $XeF_2$ 는 예를 들어 후속의 에칭 공정에서와 같은 기타 공정에서 재순환 및 재사용하기 위하여 이용할 수 있도록 하기 위하여 절대적으로 정제될 필요는 없다는 것을 알 수 있다(예컨대, 재사용 에칭 가스는 상당한 농도의 불순물을 포함할 수 있고 여전히 에칭에 유용할 수 있다). 예를 들어, Si 회생층을 해제하기 위하여,  $XeF_2$ 의 4부피%와 같은 적은 양의 재활용은 또한 상업적으로 실용적인 에칭체로서 역할할 수 있다. 일 실시형태는 본 명세서에 기재된 방법에 의해 충분히 정제되어 있는 회수된 Xe 생성물을 제공하며, 이것은  $F_2$ 와의 후속의 반응을 위해 이용가능하게 부여되어, 후속의 에칭 공정이 예를 들어 본 명세서에 기재된 바와 같은 MEMS 장치를 제조하는데 유용하도록 유해한 불순물이 충분히 없는  $XeF_2$ -함유 에칭 가스를 형성한다. 다른 실시형태는, 예를 들어, 본 명세서에 기재된 바와 같은 MEMS 장치를 제조하는 후속의 에칭 공정을 위해 이용가능하도록 충분히 유해한 불순물이 없도록 본 명세서에 기재된 방법에 의해 충분히 정제되어 있는 회수된  $XeF_2$  생성물을 제공한다.
- [0133]  $XeF_2$  이외에도, 회생층을 에칭하는데 광범위한 기타 에칭체가 이용될 수 있다. 실시형태에 따라서, 소정의 응용에 있어서, 이들 에칭체의 일부는 유의한 속도로 회생층과 반응할 수 없어, 후술하는 바와 같이 화학적 혹은 물리적 여기 과정과 함께 이용될 수 있다. 또한, 사용된 특정 재료와 구조에 따라서, 이들 에칭체의 일부는, 그렇지 않을 경우 해당 에칭체에 의해 손상될 수도 있었을 층을 보호하기 위한 에칭 장벽층과 함께 이용될 수도 있다.
- [0134] 몇몇 적절한 대안적인 에칭체는 불소계이다. 예를 들어, 적절한 몇몇 산소 불화물 및 그의 유도체로는  $F_2O$ ,  $F_2O_2$ ,  $F_2O_4$ , FONO 및  $FONO_2$  등을 들 수 있지만, 이들로 제한되는 것은 아니다. 적절한 할로겐 불화물 및 그의 유도체로는 ClF, BrF,  $ClF_3$ ,  $ClF_5$ ,  $ClO_2$ , OCIF,  $O_2ClF$ ,  $O_3ClF$ ,  $BrF_3$ ,  $BrF_5$ ,  $IF_3$ ,  $IF_7$ ,  $ClIF_4$ , NCF 등을 들 수 있지만, 이들로 제한되는 것은 아니다. 소정의 할로겐 불화물을 이형(혹은 해제) 에칭체로서 이용할 경우, 특히 알루미늄 층을 보호하기 위해 에칭 장벽층이 전술한 바와 같이 이용될 수 있다. 또,  $BrF_3$ 는, 필요한 경우, 전술한 소정의 방법과 마찬가지로, 불소와 재불소화되어 재이용을 위해 재순환될 수 있다. 적절한 몇몇 질소불화물 및 유도체로는  $NF_3$ ,  $N_2F_4$ , ONF,  $O_3NF$ ,  $C(NF_2)_4$ ,  $(CH_3)_2C(NF_2)_2$ , 1,1-다이-다이플루오로아미노, 불소화 사이클로헥세인, 1,1,4,4-테트라다이플루오로아미노,  $F_2C(NF_2)_2$ ,  $FC(NF_2)_3$  등을 들 수 있지만, 이들로 제한되는 것은 아니다. 또한, 적절한 기타 재료로는  $SF_6$ , FOOF,  $NF_3$ ,  $NH_3$  등을 들 수 있지만, 이들로 제한되는 것은 아니다.
- [0135] 소정의 실시형태에 있어서,  $XeF_2$ 의 화학적 특성과 유사한 화학적 특성을 지닌 에칭체가 에칭 공정에 이용될 수 있다. 특정 실시형태에 있어서,  $OF_2$  및 그의 유도체(FOOF,  $CF_3OF$ ,  $C_2F_5OF$ ,  $SF_5OF$  등을 포함하지만 이들로 제한되지 않음)가 등방성 에칭체로서 이용될 수 있고, 구체적인 실시형태에 있어서, Si 및 Mo 등의 회생층을 에칭하는데 이용될 수 있지만, Ge, W 및 V 등의 기타 재료도 에칭될 수 있다. 에칭될 재료는 휘발성 물질을 형성하도록  $OF_2$  및 그의 유도체와 반응될 수 있다. 이하에 더욱 상세히 설명하는 바와 같이, 에칭체는 에칭 공정을 유발 혹은 가속시키는 각종 방법으로 여기될 수 있다.

[0136] XeF<sub>2</sub>는 500℃와 같이 높은 온도에서 열적으로 안정한 선형 분자이다. 이것은 대략 160 kJ/몰의 F<sub>2</sub> 해리 에너지보다 상당히 높은 대략 250 kJ/몰의 제1해리 에너지를 지닌다. XeF 라디칼로부터 원소 Xe와 F 라디칼로의 XeF<sub>2</sub>의 제2해리 에너지는 대략 15 kJ/몰이다. 마찬가지로, OF<sub>2</sub>로부터 OF와 F 라디칼로의 OF<sub>2</sub>의 제1해리 에너지는 XeF<sub>2</sub>의 것과 근사한 대략 250 kJ/몰이다. OF 자유 라디칼을 O와 F로 분할시키는 OF<sub>2</sub>의 제2해리 에너지는 그의 제1해리 에너지보다 작으며 대략 160 kJ/몰이다.

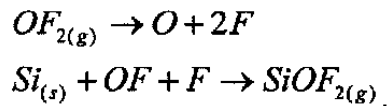
[0137] OF<sub>2</sub> 분자 중의 F 원자들 중 하나를 치환체로 치환함으로써, 해당 분자의 성질은 소정의 특성을 가진 분자를 제공하도록 개질될 수 있다. 예를 들어, XeF<sub>2</sub>는 170 amu의 분자량을 지닌다. F 원자들 중 하나를 SF<sub>5</sub>로 치환하여 SF<sub>5</sub>OF를 형성함으로써, XeF<sub>2</sub>의 분자량에 가까운 162 amu의 분자량을 지니는 분자로 된다. 보다 낮은 제1해리 에너지를 지니는 분자가 필요한 경우, F 원자들 중 하나를 CF<sub>3</sub>로 치환해서 CF<sub>3</sub>OF를 형성하고, 이것은 OF<sub>2</sub>의 제1해리 에너지보다 낮은 대략 180 kJ/몰의 제1해리 에너지를 지닌다.

[0138] 소정의 실시형태에 있어서, C<sub>2</sub>F<sub>5</sub>OF, FOC<sub>2</sub>F<sub>4</sub>OF 등의 OF<sub>2</sub> 유도체는 OF기와 플루오르화 탄소기의 양쪽 모두를 포함할 수 있다. 이러한 분자는 희생 에칭제로서뿐만 아니라, 플루오르화 탄소 증착 전구체로서도 기능할 수 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 에칭 중인 전자장치가 간섭계 변조기 등과 같은 MEMS 장치를 포함할 경우, 에칭제로서 이들 재료의 이용으로부터 기인되는 증착된 플루오르화 탄소는 MEMS 장치 내의 인접한 두 층 사이의 바람직하지 않은 혹은 영구적인 접착을 방지하는 부착방지층(anti-stiction layer)으로서 역할할 수도 있다. 탄소 사슬 길이는 또한 다이아이오도메테인 등과 같은 사슬 성장 반응물의 이용을 통해 증가될 수도 있다.

[0139] Si를 에칭하는데 OF<sub>2</sub>가 이용되는 예시적인 실시형태에 있어서, OF<sub>2</sub> 분자는 해리 조건에 따라 Si 층과 각종 화학 반응할 수 있다. 가능한 반응은 다음과 같이 진행된다:



[0140] Si 층과 OF<sub>2</sub>와의 다른 가능한 반응은 다음과 같이 진행된다:



[0141] 일반적으로, 많은 화학 물질이 해리를 일으켜 화학적 활성 종을 생성하기 위하여 물리적으로 여기될 수 있거나, 또는 비활성 상태에 있는 화학 물질을 화학적으로 활성인 여기 상태로 여기시키기 위하여 물리적으로 여기될 수 있다. 이러한 화학 물질은 에칭제 전구체라 지칭될 수도 있다.

[0142] 전술한 F<sub>2</sub>의 UV 활성화는 UV 해리 재료의 이러한 하나의 예이다. 다른 예에서, SF<sub>6</sub>는 Si 희생층을 등방적으로 에칭하기 위하여 하류 플라즈마 에칭 공정에 이용될 수 있다. 이러한 활성종의 다수는 불안정(혹은 준안정)할 수 있기 때문에, 화학적 활성종은 소정의 실시형태에서는 에칭될 희생 재료에 밀접하여 생성될 수 있다. 다른 실시형태에 있어서, 원하는 용도를 위해 충분히 긴 수명을 지닌 활성종이 선택될 수 있다.

[0143] 플라즈마(RP 혹은 방전), UV 광 및 기타 X-선이나 감마방사선 등의 고에너지 방사선에의 노광, 레이저 활성화, 고온, 마이크로파 가열 및 고에너지 이온 투사 등과 같은 각종 물리적 여기 방법이 이용될 수 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 에칭제 전구체는 열 에너지를 통해서만 활성화될 수 있다. OF<sub>2</sub>는 250 내지 270℃의 온도에서 분해되기 시작할 것이다. 그러나, OF<sub>2</sub>의 에칭 속도를 증가시키기 위하여, F 원자는 CF<sub>3</sub> 분자로 대체되어 CF<sub>3</sub>OF를 형성할 수 있다. 이와 같이 해서, 제1해리 에너지는 대략 250 kJ/몰에서 대략 180 kJ/몰까지 저감된다. 55℃의 온도에서, 해리속도는 OF<sub>2</sub>의 해리속도보다 훨씬 빠르다(대략 10<sup>11</sup>배 빠르다).

[0144] XeF<sub>2</sub>의 특성과 유사한 특성을 지닌 다른 OF<sub>2</sub> 유도체는 FO-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-OF, 1,1,2,2-테트라플루오로에틸 1,2-다이하이포플루오라이트이다. 이 화합물은 XeF<sub>2</sub>와 마찬가지로 170 amu의 분자량을 지니며, FOC<sub>2</sub>F<sub>4</sub>OF로부터 F 라디칼과

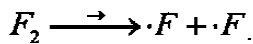


FOC<sub>2</sub>F<sub>4</sub>O로의 유사한 제1해리 에너지(대략 180 kJ/몰)를 지니는 것으로 예상된다. 마찬가지로, FOC<sub>2</sub>F<sub>4</sub>O로부터 F 자유 라디칼과 OC<sub>2</sub>F<sub>4</sub>O로의 제2해리 에너지는, 해당 자유 라디칼이 고도로 강력하므로, XeF<sub>2</sub>의 제2해리 에너지와 유사한 것으로 예상된다.

[0147] 이러한 에칭제 혹은 에칭제 전구체를 해리를 일으키는데 충분한 수준까지 가열함으로써, 에칭 속도는 소망의 수준까지 증가될 수 있다. 증가된 온도는 에칭제의 에칭 선택성을 변경할 수 있으므로, 특정 온도 이하의 온도를 유지할 필요가 있을 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 에칭제 혹은 에칭제 전구체는 300℃ 이하의 온도까지 가열된다. 일 실시형태에 있어서, 에칭제 혹은 에칭제 전구체는 250℃ 이상의 온도까지 가열된다. 이용된 특정 온도는 특정 에칭제 혹은 에칭제 전구체, 에칭될 전자장치에 이용되는 다른 재료, 및 바람직한 해리속도 및/또는 에칭 시간에 적어도 부분적으로 의거할 수 있다.

[0148] 희생층의 밑에 있는 층이 적어도 부분적으로 광투과성인 MEMS 장치에 대해서, UV 혹은 기타 방사선에의 노광은 이들 광투과층을 통한 노출에 의해 수행된다. 소정의 실시형태에 있어서, 희생층 혹은 기타 에칭될 층은 그 자체로 Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub>(예컨대, PECVD에 의해 증착됨) 등과 같은 광투과성 재료를 포함할 수 있다.

[0149] 소정의 실시형태에 있어서, F<sub>2</sub>는, 광분해 혹은 광해리로도 지칭되는 이하의 반응식에 따라 F 자유 라디칼의 형태로 활성화된 에칭층을 형성하도록 UV 방사선에 의해 여기될 경우 Si를 에칭하는데 이용될 수 있다:



[0150]

[0151] 이들 F 자유 라디칼은 사파이어 관 내에서의 마이크로파 가열, UV 광에의 노광, 레이저 활성화를 이용함으로써, 또는 300 내지 600℃ 등과 같은 충분히 높은 온도에서 노 속에 배치함으로써, 저압에서, 예컨대, 20 Torr Ar 중 1 내지 2 Torr까지에서 F<sub>2</sub>로부터 생성될 수 있다. 일 실시형태에 있어서, F<sub>2</sub>는 약 290nm의 파장을 지닌 UV 광에 의해 광해리될 수 있지만, 다른 파장의 UV 광도 이용될 수 있다.

[0152] 그의 낮은 해리 에너지로 인해, F<sub>2</sub>는 수 분의 수명을 지닌 F 자유 라디칼로 해리될 수 있지만, 그 수명은 불활성 가스 중에서 F 자유 라디칼의 분압에 적어도 부분적으로 의존할 것이다. 이들 F 자유 라디칼은 대부분 합금에 대해서 고도로 부식되지 않으므로, 구리 혹은 스테인레스강관을 개재해서 인도될 수 있다.

[0153] 이들 F 자유 라디칼은 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 재료에 대해서 실질적으로 비반응성이므로, 인접한 SiO<sub>2</sub>층 혹은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>층에 대해서 Si 혹은 Mo 등과 같은 희생층을 선택적으로 에칭하는데 이용될 수 있다. 또한, F 자유 라디칼과 Mo(MoF<sub>6</sub>를 형성하기 위한) 혹은 Si(SiF<sub>4</sub>를 형성하기 위한) 가스 간의 반응 속도는 상대적으로 높으므로, 대부분의 실시형태에서, F<sub>2</sub>의 광분해 속도는 에칭 속도를 제어할 것이다. 광분해 속도는 광 강도, F<sub>2</sub>의 광자 횡단면 및 해리반응의 양자수율에 의존할 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, 에칭제는 5 W/cm<sup>2</sup>의 강도에서 파장 290nm의 UV 광에 노광된 400 Torr 및 55℃의 온도에서의 F<sub>2</sub>를 포함한다. 이러한 실시형태에 있어서, Mo는 약 130 nm/sec(8 μm/sec)의 속도에서 F 자유 라디칼에 의해 에칭될 것이다.

[0154] 도 19에 도시된 실시형태에 있어서, 희생층(710)은 적어도 부분적으로 광에 대해서 투과성이고, 특히 UV 광에 대해서 적어도 부분적으로 투과성일 수 있는 기관(700) 위에 증착되어 있다. 예시된 실시형태 등과 같은 소정의 실시형태에 있어서, 희생층(710)은 기관 위에 위치된 광학적 적층부(720) 위에 증착되어 있고, 이때의 광학적 적층부도 UV 광에 대해서 적어도 부분적으로 투과성이다. 상기 희생층 위에 기계적 층(730)이 증착되어 있고, 해당 기계적 층에는, 상기 희생층의 일부를 노출시키기 위한 에칭 구멍(732)이 형성되어 있다. 희생 재료의 일부(712)를 제거하여 밑에 있는 광학적 적층부(720)를 노출시키기 위하여 초기 에칭이 수행된다. 가스 상태의 화학 물질 등과 같은 물리적으로 여기가능한 화학 물질이 이어서 에칭실 내로 도입되고, 여기서 이 과정이 수행된다. 이 여기가능한 화학 물질은 희생층의 제거된 부분(712)에 도입될 것이다.

[0155] 이어서, 상기 여기가능한 화학 물질은 광투과성층을 통해서 UV 방사선에 노광되어, 해당 화학 물질을 여기시켜, 희생 재료를 에칭하도록 해당 희생 재료와 상호작용하는 활성종을 생성한다. 상기 여기가능한 화학 물질은 제거된 희생층에 의해 규정된 공동부에 침투할 것이므로, UV 광은 희생층이 에칭됨에 따라 해당 희생층의 에지부에 인접하여 활성종을 계속 생성할 것이다. 이와 같이 해서 이 과정은 활성종의 이용을 허용하며, 해당 활성종은 짧은 수명을 지닐 수 있고, 그렇지 않을 경우에는 공동부의 길이를 따라 아래쪽으로 등방적으로 확산되어 희생층의 일부분에 도달하는 것이 불가능할 것이다.

[0156] 특정 실시형태에 있어서, 초기 에칭은 이동식 층의 반대쪽으로부터 UV 방사선에 대해서 상기 노출된 희생층을 노광시킴으로써 수행될 수 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 단일의 UV 광원이 이용될 수 있고, 일단 초기 에칭이 기판을 통해 에칭되면 기판이 회전되거나 해당 기판에 대해서 광원이 이동한다. 다른 실시형태에 있어서, 양면상의 UV 광원이 이용될 수 있다. 희생층이 광투과성 재료를 포함하는 실시형태에서는, 기판의 한쪽면상의 UV 광원만이 필요할 수도 있다. 다른 실시형태에 있어서, 초기 에칭은 다른 에칭 방법, 예컨대, 이동식 층에의 에칭 구멍의 형성에 이은 에칭 등에 의해서 수행될 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, 이 에칭은 에칭 구멍을 형성하는데 이용되는 것과 동일한 마스크를 이용해서, 또는 패턴화된 이동식 층 자체를 마스크로서 이용함으로써 수행될 수도 있다.

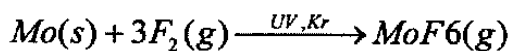
[0157] 전술한 조건(400 Torr F<sub>2</sub>, 55°C, 5 W/cm<sup>2</sup> 강도에서의 290nm UV 광) 하에, 0.2 μm 간극으로 추가의 10μm 언더컷(undercut)을 가정하여, Mo의 해당 언더컷 에칭 속도는 코닝 1737 유리를 통해서 노출될 경우 약 65 μm/sec일 것이다. 다른 실시형태에 있어서, 상기 처리 조건을 변화시킴으로써, 에칭 속도는 증감될 수 있다.

[0158] 이러한 에칭 공정에는 각종 여기가능한 화학 물질이 이용될 수 있다. 예를 들어, F<sub>2</sub>는 전술한 바와 같이 여기될 수 있다. F<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>를 포함하는 혼합물은 UV 광에 노광되어 FOOF 라디칼과 FOO 라디칼을 생성시킬 수 있다. 또, 특정의 여기가능한 화학 물질이 특정 희생 재료와 관련하여 이용될 수 있다는 것도 이해할 수 있을 것이다. 예를 들어, SF<sub>6</sub> 및 NF<sub>3</sub>는 여기되어 Si를 에칭하는데 이용될 수 있다. NH<sub>3</sub>는 여기되어 SiO<sub>2</sub>를 에칭하는데 이용될 수 있다. 이 여기는, 플라즈마를 통해서, 혹은 플라즈마와 마찬가지로 기능하는 전술한 방식으로 UV 방사선을 통해서 수행될 수 있다. 파장 248nm의 파장을 지닌 UV 방사선은 5 eV의 광자 에너지를 지니며, 이것은 대부분의 단일 결합을 파괴하는데 충분하다. 보다 단파장이 더욱 추가의 에너지를 제공할 수 있다. 몇몇 실시형태에 있어서, 맥동적 IR 및/또는 마이크로파 에너지 온/오프(혹은 진폭 변조)는 희생층이 이형됨에 따라 공동부 내로 및 해당 공동부로부터 반응물을 "펌핑"할 수 있다. 많은 다른 불화물이 전술한 것과 마찬가지로 방법에서 여기될 수 있다는 것도 또한 이해될 수 있을 것이다.

[0159] 소정의 실시형태에 있어서, 균질 촉매가 UV 혹은 여기의 다른 유형과 관련하여 이용될 수 있다. 일 실시형태에 있어서, KrF<sub>2</sub>(또는 Kr + F<sub>2</sub>)는 에칭제가 화학적 혹은 물리적으로 여기되는 조건 하에 에칭제로서 이용될 수 있다. 결정 형태의 KrF<sub>2</sub>는 213 ° K에서 승화되고, 실온에서 KrF<sub>2</sub>는 기체이다. KrF<sub>2</sub> 가스 압력은 XeF<sub>2</sub> 가스의 크기보다 1차수 혹은 2차수 크게 얻어질 수 있고, 이것은 전술한 바와 같이 희생재료의 에칭 속도를 증가시킬 수 있다. 또한, KrF<sub>2</sub>는 XeF<sub>2</sub>보다 상당히 덜 값비싸다. 또, KrF<sub>2</sub>는 많은 시간의 수명을 지니며, 제조 라인에서 현장에서 생성되어 바로 이웃의 시스템에서 에칭 공정에 이용하도록 실용적일 수 있다. KrF<sub>2</sub>의 운반은 스테인레스강 혹은 구리관을 통해서 수행될 수 있다. KrF<sub>2</sub>는 또한 약 250 내지 약 350nm 범위의 파장을 지닌 UV 광에 Kr과 F<sub>2</sub>의 혼합물을 노광시킴으로써 생성될 수 있다.

[0160] 일단 생성되면, KrF<sub>2</sub>는 추가의 정제 처리로 혹은 추가의 정제 처리없이 에칭 공정에 이용될 수 있다. KrF<sub>2</sub>는 또한, 에칭실로서 사용되는 동일한 실에서 생성될 수 있어, 에칭실에 대해서 관을 통해 인도될 KrF<sub>2</sub>의 필요성을 제거할 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, 에칭될 장치는 상기 실 내로 반입되고, Kr과 F<sub>2</sub>가 이어서 해당 실 내로 방출된다. 다음에, UV 광이 해당 실에 작동가능하게 인접하여 활성화되어, KrF<sub>2</sub>가 생성된다. 특정 조건 하에, F<sub>2</sub>가 생성될 수도 있다. KrF<sub>2</sub>와 F 라디칼은 희생 재료를 에칭하기 시작할 것이다.

[0161] KrF<sub>2</sub> 분자 내의 Kr은 이하의 반응식에 따라 희생재료의 불소화 동안 균질 촉매로서 역할할 것이다:

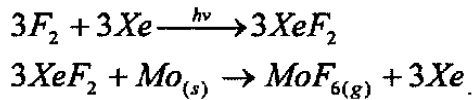


[0162]

[0163] Kr이 이 불소화 과정에 의해 소비되지 않고, 이에 따라 동일량의 Kr이 에칭 반응으로부터 재생될 것임을 알 수 있다. 또한, KrF<sub>2</sub> 분자의 연장된 수명은 간섭계 변조기 내의 것과 같은 고에스펙트비의 희생층의 에칭 시 이용하기에 적합하게 할 수 있고, 여기서 에칭제는 희생 재료의 부분에 도달하기 전에 방출되어 공동부 내의 긴 경로를 따라 아래쪽으로 확산된다.

[0164] 마찬가지로, Xe는 UV-활성화 F<sub>2</sub> 에칭 공정 중에 균질 촉매로서 이용될 수 있고, 그 결과, 이하의 화학 반응(Mo

층의 에칭에 대해서 기술됨)에 따라 인 시투(*in situ*)로 XeF<sub>2</sub>가 생성될 수 있다:



[0165]

[0166]

Xe가 XeF<sub>2</sub> 생성 반응의 제한적인 시약이 아니도록 충분한 Xe가 이용된다면, XeF<sub>2</sub> 생성 반응은 존재하는 F<sub>2</sub>의 양, 재료가 UV광에 노광되는 정도(예컨대, 면적 혹은 용적 노광 속도), 그리고, UV 광원의 파장 및 파워 출력에 의 존할 것이다. 처리실이 400 Torr F<sub>2</sub>와, 10cm×10cm 크기의 면적에 대해 약 290nm의 파장을 지나는 광을 발광하 는 1000 W UV 램프를 포함하는 실시형태에 있어서, 1.2 g/min의 XeF<sub>2</sub>가 생성될 수 있다. 대신에 400 Torr에서 OF<sub>2</sub>가 이용되고, 상기 램프가 248nm의 파장을 지닌 광을 발광하는 경우, XeF<sub>2</sub>는 5.4 g/min의 속도에서 생성될 수 있다.

[0167]

Kr의 이용에 관해서 전술한 바와 같이, Xe는 촉매로서 이용되지만 소비되지 않는다. 에칭 공정의 결과, 에칭 공정에서 이용된 Xe 혹은 Kr의 일부 혹은 전부는 전술한 방법 등과 같은 적절한 방법을 이용해서 회수될 수 있 다.

[0168]

고에스펙트 희생층 혹은 기타 층을 에칭하는데 적합한 에칭제는, 예컨대, 제작 공정 동안 희생층에 의해 분리된 2개의 금속층 혹은 다르거나 불투명층을 포함하는 비광학적(non-optical) MEMS 장치 내 등에서와 같이, 주위 층 이 UV 방사선에 대해서 상당히 투과성이지 않은 경우 이용하기에 특히 적합할 수 있다. 예를 들어, 이러한 에 칭 공정은 희생층에 의해 분리된 2개의 인접한 불투명층을 포함하는 소정의 MEMS 스위치 내에서 희생을 에칭하 는데 적합할 수 있다.

[0169]

다른 실시형태에 있어서, 균질 촉매로서 Kr 혹은 Xe 등의 희가스의 이용은, 초기 에칭제가 XeF<sub>2</sub> 또는 KrF<sub>2</sub> 등의 희가스 불화물을 포함하는 경우의 에칭 공정을 유지하는 데 이용될 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, 에칭 공 정은 처리실 내로 XeF<sub>2</sub>를 방출함으로써 시작된다. F<sub>2</sub>는 XeF<sub>2</sub>와 함께, 또는 XeF<sub>2</sub> 방출에 이어서 등과 같은 다른 시간에 상기 처리실 내로 방출될 수도 있다. 원소 Xe는 XeF<sub>2</sub> 에칭 공정의 부산물들 중 하나일 수 있으므로, 처리실 내의 공정 가스는, 그 형태로 처리실 내로 방출되지 않더라도, 궁극적으로 원소 Xe를 수용할 수 있다.

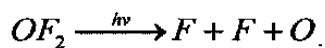
[0170]

처리실 내의 공정 가스는 이어서 UV 방사선에 노광될 수 있고, 이것에 의해 전술한 바와 같이 Xe와 F<sub>2</sub>가 XeF<sub>2</sub>를 형성할 것이다. 다음에, XeF<sub>2</sub>는 에칭 공정을 계속할 것이다. XeF<sub>2</sub> 공정은 추가의 XeF<sub>2</sub>의 도입없이 혹은 필요한 것보다 더 적은 추가의 XeF<sub>2</sub>의 도입을 수반하여 이 방법으로 유지될 수 있다. 추가의 F<sub>2</sub>는 소정의 실시형태에 있어서 연속적으로 혹은 맥동적으로 시간 경과에 따라 방출될 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, XeF<sub>2</sub>는 투과성 기관 및/또는 기타 투과성 층을 통해서 UV 방사선에 공정 가스를 노광시킴으로써 생성될 수 있으므로, 이 XeF<sub>2</sub> 는 에칭 경계에서 직접 생성될 수도 있다. 위에서는 XeF<sub>2</sub>에 대해서 설명하였지만, 이 방법은 이들 에칭제를 이 용해서 에칭 공정을 유지하기 위하여 KrF<sub>2</sub> 등의 기타 희가스 불화물과 함께 이용하는 것도 가능하다.

[0171]

UV 여기는 OF<sub>2</sub> 분자 혹은 그의 유도체에서 O-F 결합이 해리되어 라디칼을 형성하는 에칭 공정의 일 실시형태에 서 이용될 수도 있다. 위에서 언급된 바와 같이, 해리조건은 OF<sub>2</sub> 분자가 해리되는 방식을 결정할 수 있다. 예 를 들어, 약 250nm 이하의 파장을 지닌 광자가 이용될 경우, OF<sub>2</sub> 분자는 이하의 반응식에서 O 라디칼과 F 라디 칼로 완전히 해리될 것이다:

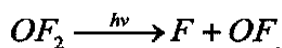
[0172]



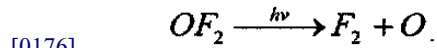
[0173]

약 250nm 내지 495nm의 파장을 지닌 광자가 이용될 경우, OF<sub>2</sub> 분자는 이하의 반응식에 따라 해리될 것이다:

[0174]



[0175] 약 495nm 내지 550nm의 파장을 지닌 광자가 이용될 경우, OF<sub>2</sub> 분자는 이하의 반응식에 따라 해리될 것이다:



[0177] OF<sub>2</sub>의 해리속도는, 예를 들어, OF<sub>2</sub> 분자의 흡수율(absorptivity), UV 광의 강도 및 양자수율에 의존한다. 양자수율이 UV 스펙트럼을 통해 실질적으로 일정한 것으로 가정하면, 해리속도는 UV광에 대한 OF<sub>2</sub>의 흡수율과 임의의 중간에 개재된 매질을 통한 UV 광의 투과율의 곱이다. 희생 재료에 인접한 OF<sub>2</sub>가 광투과성 기판을 통해 UV 광에 대해서 노광되는 실시형태에 있어서, UV 광의 투과율에서의 주된 인자는 기판의 투과율이다. 특정 실시형태에 있어서, 이용되는 기판은 0.7mm 두께의 코닝 1737 유리 기판이다.

[0178] 도 20a는 파장의 함수로서의 UV 광의 OF<sub>2</sub> 흡수율의 도표이다. 도 20b는 코닝 1737 데이터 시트로서 부여되는 바와 같은 0.7mm 코닝 1737 유리의 UV 투과율의 도표이다. 도 20c는 이러한 기판을 통해 투과된 UV 광의 파장의 함수로서의 OF<sub>2</sub>의 해리속도의 도표이다. 약 310nm 내지 약 350nm 범위의 파장을 지닌 UV 광을 이용해서 해리의 최고 속도가 발생하는 것을 알 수 있다. 이 파장에서의 UV 광의 노광은 위에서 언급된 바와 같이 0와 OF로의 해리를 유발할 것이다. Mo 희생층을 에칭하는데 이용될 경우, 에칭 부산물은 MoF<sub>4</sub>일 것이고, 이것은 물에 대해 덜 민감하고 몇몇 다른 에칭 반응의 부산물보다 실리콘에 덜 부식되며, 이것은 인접한 층에 대해서 선택적으로 Mo 층의 에칭을 용이하게 하고 또한 에칭 부산물의 취급을 용이하게 한다.

[0179] UV-여기 혹은 UV-광해리된 에칭제의 상기 실시형태는 UV 노광의 광범위한 면적에 대해서 논의되어 있지만, 더욱 집중된 UV 노광이 에칭을 국소화하는데 이용될 수 있다. 상업적으로 입수가 가능한 UV 레이저는, 0.8μm 스팟 (spot) 크기의 UV 빔을 생성하는 능력을 지닌, ESI 9850UV 툴(tool) 등과 같은 1μm 이하의 폭을 지닌 스팟 빔을 생성하는 능력을 지닌다.

[0180] 스팟 UV 빔에 의해 광해리된 Cl<sub>2</sub> 혹은 F<sub>2</sub> 등의 UV-광해리된 에칭제를 위해서, Cl 혹은 F 라디칼은 실질적으로 빔 경로를 따라서만 형성될 것이다. 적절한 공정 조건을 부여함으로써, 서브마이크론 스팟 크기 UV 빔과 동일한 크기 차수에 대한 평균 자유 경로를 지닌 Cl 또는 F 라디칼이 생성될 수 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 이것은 라디칼의 사슬 전개 및 확산을 방지하기 위한 라디칼 포착제의 내포를 통해서 수행될 수 있다. 예를 들어, Si는 라디칼 포착제로서 400 Torr에서의 O<sub>2</sub>를 이용해서 50℃에서 UV-증강 Cl<sub>2</sub> 에칭에 의해 패터닝될 수 있다. 이러한 조건 하에, Cl<sub>2</sub> 분자의 광해리에 의해 생성된 Cl 라디칼의 평균 자유 경로는 0.5μm 이하일 것이다.

[0181] 이와 같이 해서, 적절한 공정 조건 하에, UV 레이저 혹은 기타 스팟 UV 광원의 이용은 재료의 마스크 없는 에칭을 허용할 수 있다. 전술한 바와 같이, 간접계 변조기 등과 같은 MEMS 장치의 제조는 전형적으로 하나 이상의 마스크의 이용을 포함할 수 있는 다수의 패터닝 스텝을 포함한다. 소정의 실시형태에 있어서, 스팟 UV-증강 패터닝은 MEMS 장치 제조를 위해 바람직한 해상능에서 이러한 층을 정확하게 패터닝하는데 이용될 수 있다.

[0182] 예를 들어, 전술한 간접계 변조기 제조방법은 지지 구조체용의 개구부를 형성하기 위하여 희생층의 패터닝을 포함할 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 이것은 처리실 내에 UV-증강 에칭제와 라디칼 포착제를 도입하여, UV 레이저 등과 같은 UV 스팟 광원을 개재해서 UV 광에 에칭된 희생층의 부분을 노광시킴으로써, 마스크의 이용 없이도 행해진다. 라디칼은 광빔의 경로에서 생성되며, UV 광원에 노광된 희생층의 부분이 상기 생성된 라디칼에 의해 에칭될 것이다. 특정 실시형태에 있어서, UV 조사 하에 해리되는 불소계 화합물은 전술한 바와 같이 Mo 혹은 Si를 포함하는 희생층을 패터닝하는데 이용될 수 있다. 이 방법에서 에칭될 수 있는 기타 희생층으로는, Ge층 및 Ge-Si층 등을 들 수 있지만, 이들로 제한되는 것은 아니다.

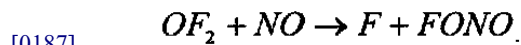
[0183] 기타 적합한 UV-활성화 에칭제도 이용될 수 있고, MEMS 장치 내의 기타 재료 혹은 층도 이 방법으로 패터닝될 수 있다. 예를 들어, 전술한 바와 같이, Mo도 광학적 적층부에 이용될 수 있고, 또한 UV 조사 하에 F<sub>2</sub>에 의해서 에칭될 수 있다. MoCr층은 광학적 적층부에 이용될 수 있고, 또한 UV 조사 하에 F<sub>2</sub>에 의해서 에칭되어 MoF<sub>6</sub>와 CrF<sub>5</sub>를 형성할 수 있다. Al은 이동식 반사 서브층에서 등과 같이 고도의 반사층으로서 이용될 수 있고, UV 조사 하에 Cl<sub>2</sub>에 의해서 에칭되어 Al<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>를 형성할 수 있다.

[0184] UV 레이저가 특히 라디칼 포착제와 조합해서 에칭제를 여기시키는데 이용될 경우, 라디칼이 실질적으로 UV 레이저빔의 경로에만 존재함에 따라 횡방향으로 에칭을 억제하는 마스크 혹은 기타 방법을 필요로 하지 않는다. 그

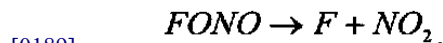
러나, 에칭이 밑에 있는 층을 노출시킴에 따라, 해당 밑에 있는 층이 생성된 라디칼에 의해 에칭되기 쉬울 경우, 에칭 정지층은 에칭될 층 밑에 제공될 수 있다. 소정의 실시형태에 있어서, 에칭 정지층은 적절한 산화물 혹은 질화물을 포함할 수 있다. 예를 들어, 특정 실시형태에 있어서, 에칭될 층 밑에 있는 에칭 정지층으로서 이용될 수 있는 재료로는 SiO<sub>2</sub>, Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등을 들 수 있지만, 이들로 제한되는 것은 아니다.

[0185] 다른 실시형태에 있어서, 화학적 여기가 이용될 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, 추가의 재료가 에칭 반응에서 촉매 혹은 시약으로서 역할하는 희생층과 함께 혹은 해당 희생층에 인접하게 증착될 수 있다. 화학적 여기는 예를 들어 라디칼 생성에 의해 행해질 수 있다. 몇몇 실시형태에 있어서, 아조-나이트릴족으로부터의 라디칼 개시제가 이용될 수 있다. 그 일례는 2,2-아조비스[2-메틸-]-프로페인나이트릴(AZDH)이다. 이 족의 각종 분자가 상이한 온도에서 자유 라디칼을 생성하는데 이용될 수 있고, 이들 라디칼은 수시간 동안 지속될 수 있다. 아조나이트릴 라디칼 개시제는 상업적으로 얻어질 수 있다(예컨대, 듀폰사에서 제조된 Vazo(등록상표) 계열). 자유 라디칼 개시제의 다른 예로는 유기 과산화물(예컨대, 다이-tert-부틸 퍼옥사이드), 하이퍼퍼옥사이드류(예컨대, n-도데실 하이퍼퍼옥사이드) 및 퍼에스터류(peresters)(예컨대, 벤조퍼옥소산 에틸에스터)를 들 수 있다.

[0186] OF<sub>2</sub> 해리가 특정 물질을 에칭하는 라디칼을 생성하는데 이용되는 실시형태에 있어서, NO가 OF<sub>2</sub>의 해리를 가속시키기 위하여 OF<sub>2</sub>와 함께 도입될 수 있다. NO는 이하의 반응식에 따라 OF<sub>2</sub>의 해리를 일으킬 수 있는 비쌍(unpaired) 전자를 지닌 분자상태의 자유 라디칼이다:



[0188] FONO는 이어서 이하의 반응식에 따라 더욱 분해될 수 있다:



[0190] F 자유 라디칼은 NO와의 이 반응에 의해 생성되고, 이어서 F 자유 라디칼은 에칭될 재료와 반응할 수 있다.

[0191] 개별의 시스템이나 방법에 관한 구체적으로 개시되어 있지는 않지만, 상기 실시형태를 수행하는데 적합한 에칭 시스템이 컴퓨터 혹은 기타 제어 시스템을 포함할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 이러한 컴퓨터 혹은 기타 제어 시스템은 해당 시스템의 하나 이상의 구성요소에 작동가능하게 접속될 수 있고, 또한, 도시하지 않은 시스템 구성요소, 예컨대, 압력 시스템 혹은 기타 모니터링 장비와 접속될 수도 있다. 또, 본 명세서에 개시된 각종 방법의 스텝들의 적어도 일부가 컴퓨터에 의해 수행될 수 있고, 이러한 컴퓨터는 본 명세서에 개시된 각종 방법의 스텝들의 일부를 수행하기 위한 명령을 포함하는 컴퓨터 판독가능한 매체를 이용할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

[0192] 상기 실시형태의 각종 조합이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 예를 들어, 위에서 언급된 바와 같이, 상기 실시형태에 있어서 XeF<sub>2</sub> 대신에 다른 희가스 불화물이 이용될 수 있다. 또한, 실시형태에 따라서, 본문에 특별히 명백하게 달리 언급되지 않은 한, 본 명세서에 개시된 임의의 방법들의 작용 혹은 이벤트가 다른 순서로 수행될 수 있거나, 추가, 병합 혹은 함께 삭제될 수 있다(예컨대, 상기 모든 작용 혹은 이벤트가 방법의 실시를 위해 필요한 것은 아니다).

[0193] 이상의 상세한 설명은 다양한 실시예에 적용되는 본 발명의 새로운 특징들을 도시하고, 묘사하며, 지적하고 있지만, 예시된 장치 또는 방법의 형태나 상세한 설명에 있어서 다양한 생략, 대체 및 변화들이 본 발명의 정신으로부터 벗어나는 일 없이 당업자에 의해 이루어질 수 있다는 것을 알 수 있을 것이다. 또, 인식하고 있는 바와 같이, 몇몇 특징들은 다른 것들과 분리되어 사용되거나 실행될 수도 있으므로, 본 발명은 여기에서 설명된 모든 특징들과 장점들을 제공하지 않는 형태 내에서 구현될 수도 있다.

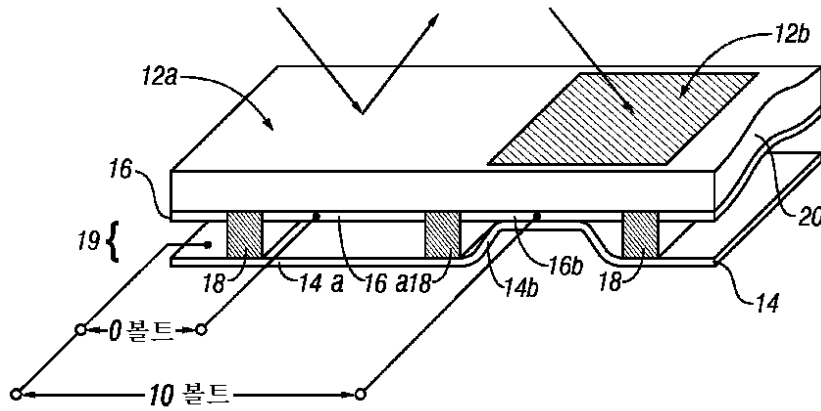
**부호의 설명**

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| [0194] 12: 간접계 변조기 | 14: 이동식 반사층    |
| 16: 광학적 적층부        | 18: 기둥부 혹은 지지부 |
| 19: 공동부            | 62: 희생층        |

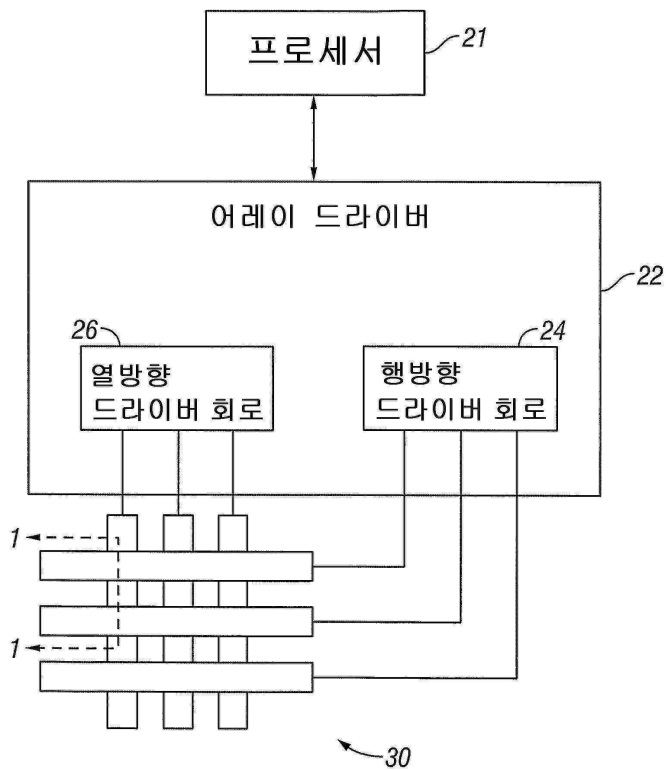
- 410: 에칭실
- 420: XeF<sub>2</sub> 공급기 혹은 XeF<sub>2</sub> 보존실
- 432, 434: 센서
- 440: 순환 펌프
- 450: 부산물 제거기 혹은 크기 선별기
- 480: 처리실
- 482: 팽창실

도면

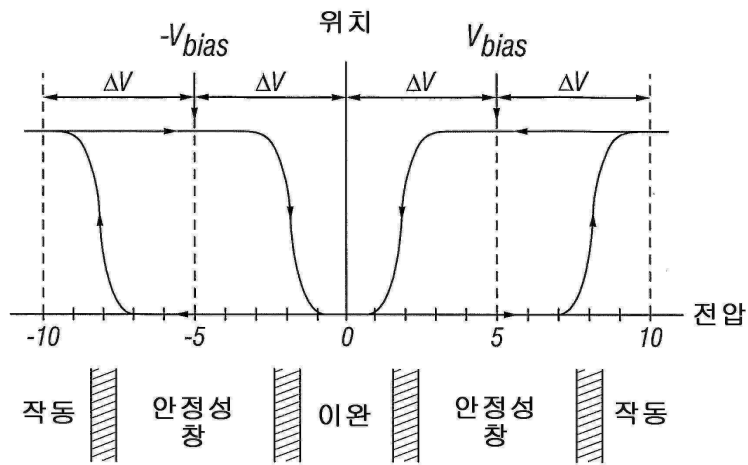
도면1



도면2



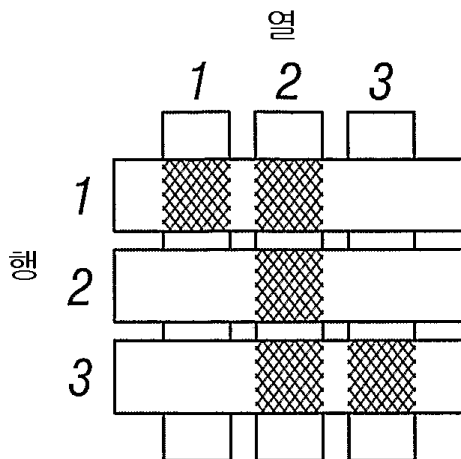
도면3



도면4

|                 |             | 열방향<br>출력<br>신호 |             |
|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|                 |             | $+V_{bias}$     | $-V_{bias}$ |
| 행방향<br>출력<br>신호 | 0           | 안정              | 안정          |
|                 | $+\Delta V$ | 이완              | 작동          |
|                 | $-\Delta V$ | 작동              | 이완          |

도면5a

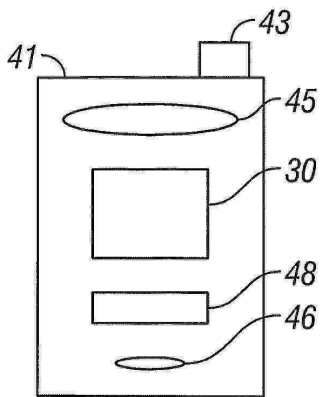


도면5b



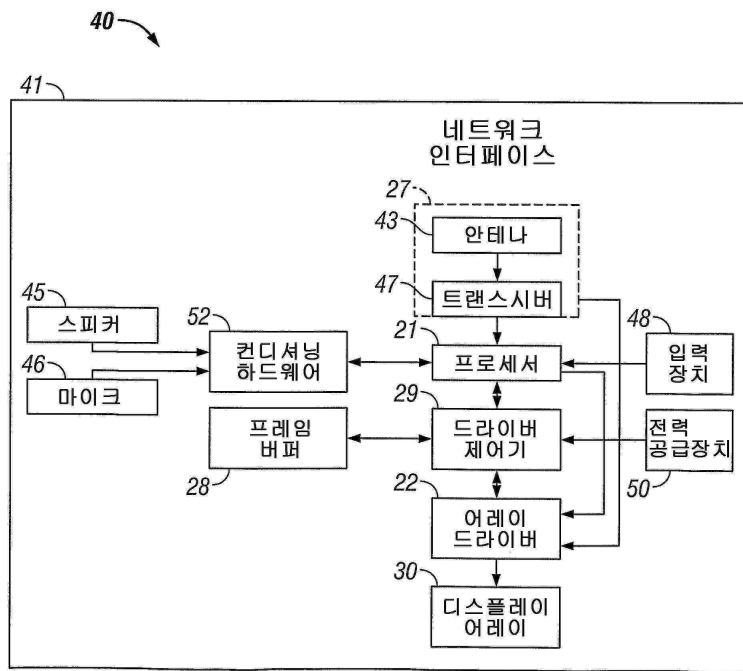
도면6a

40

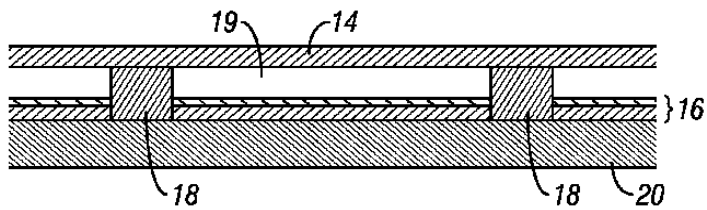




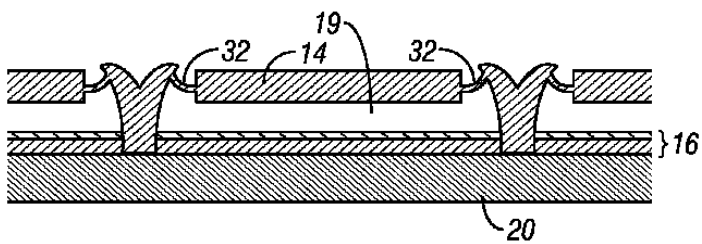
도면6b



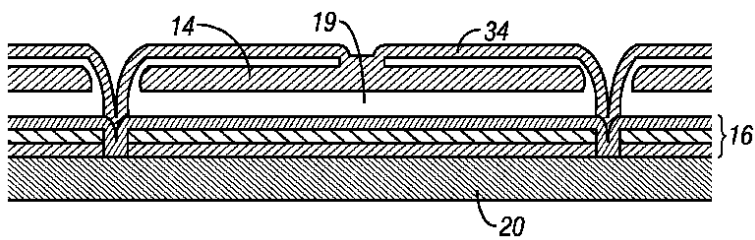
도면7a



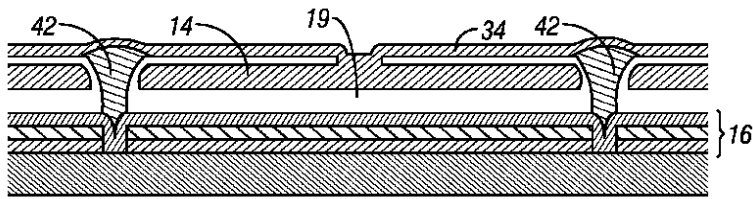
도면7b



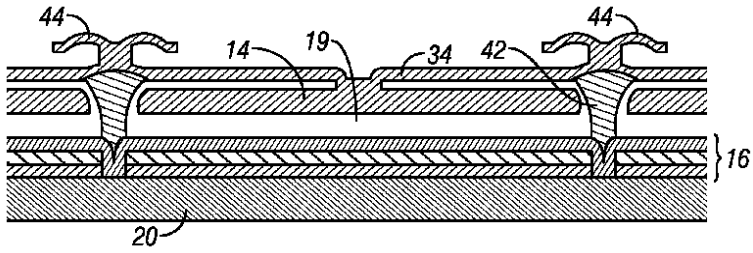
도면7c



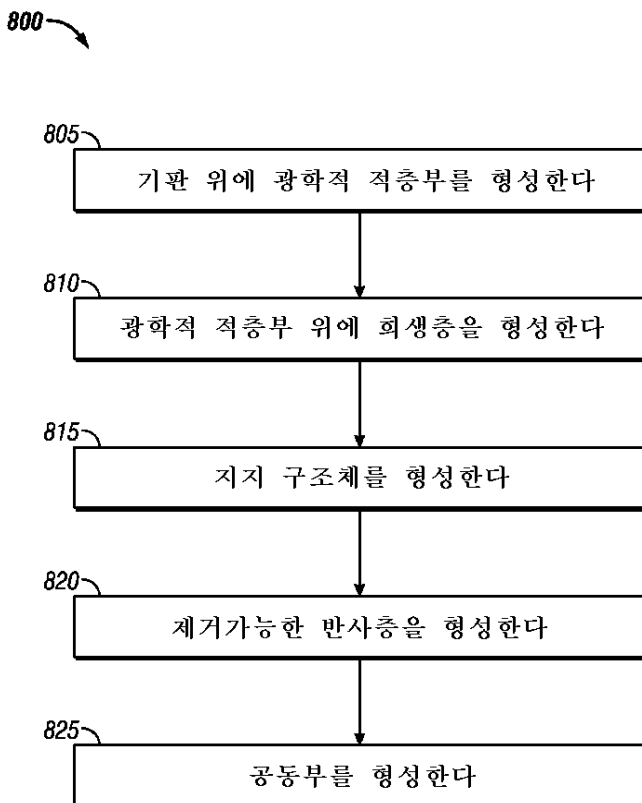
도면7d



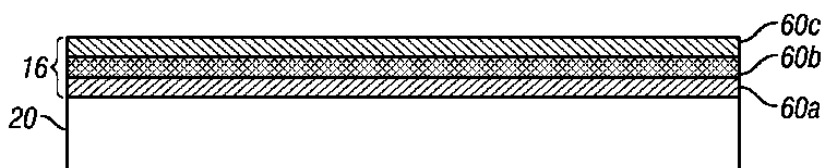
도면7e



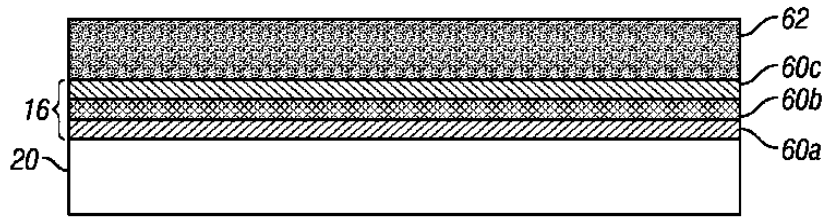
도면8



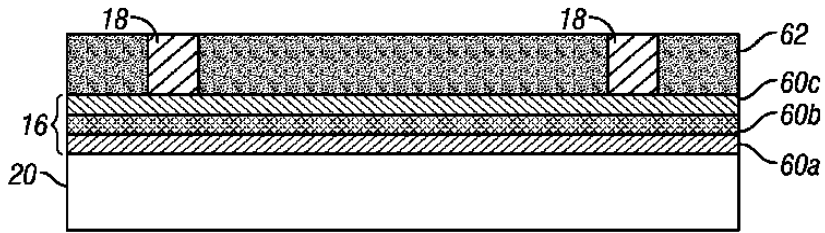
도면9a



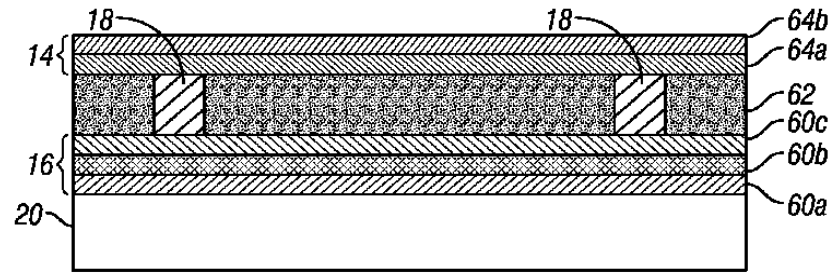
도면9b



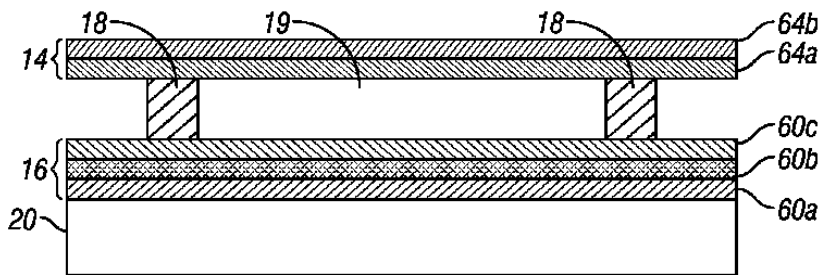
도면9c



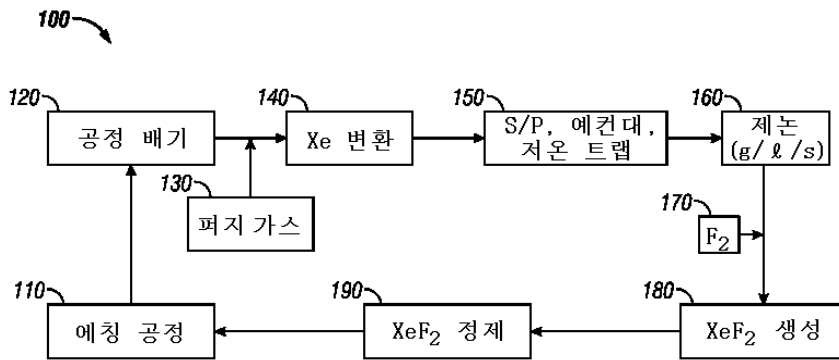
도면9d



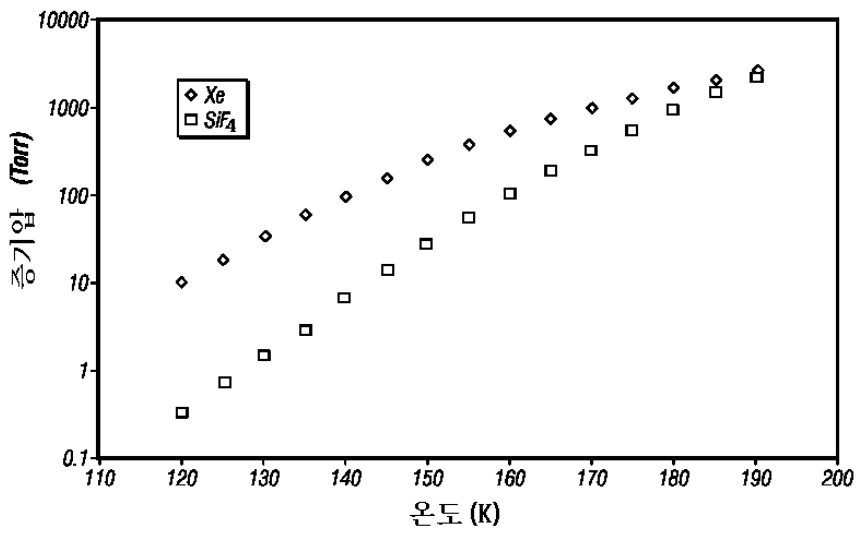
도면9e



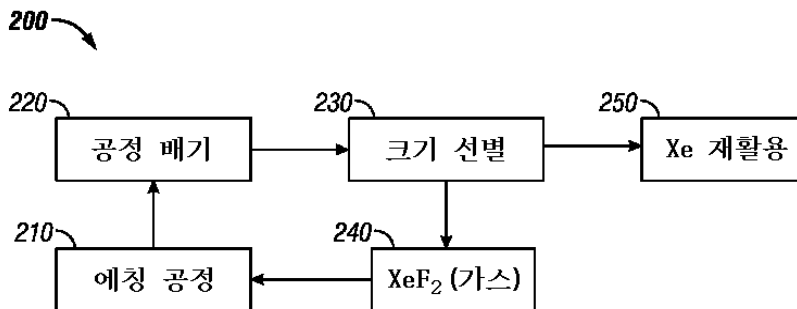
도면10



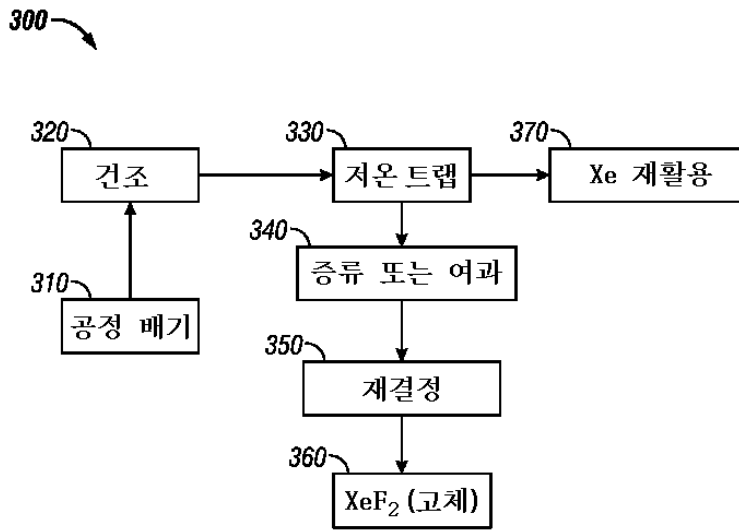
도면11



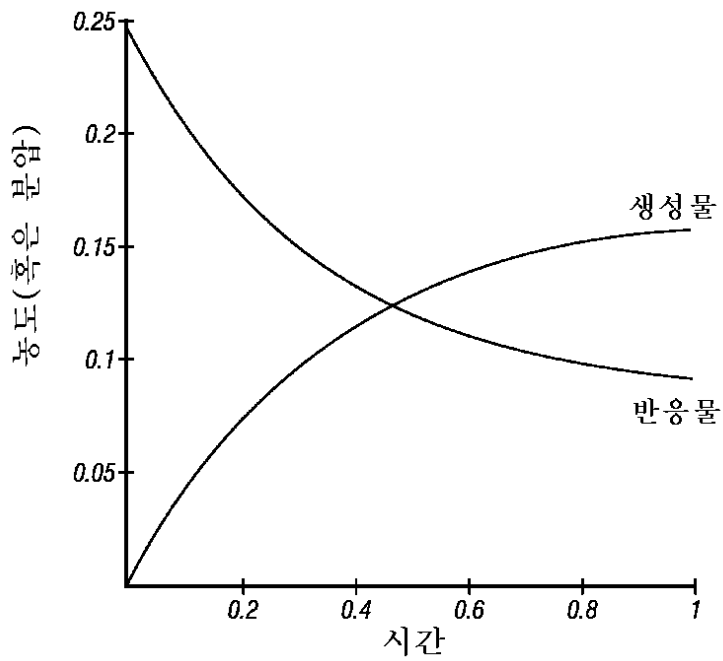
도면12



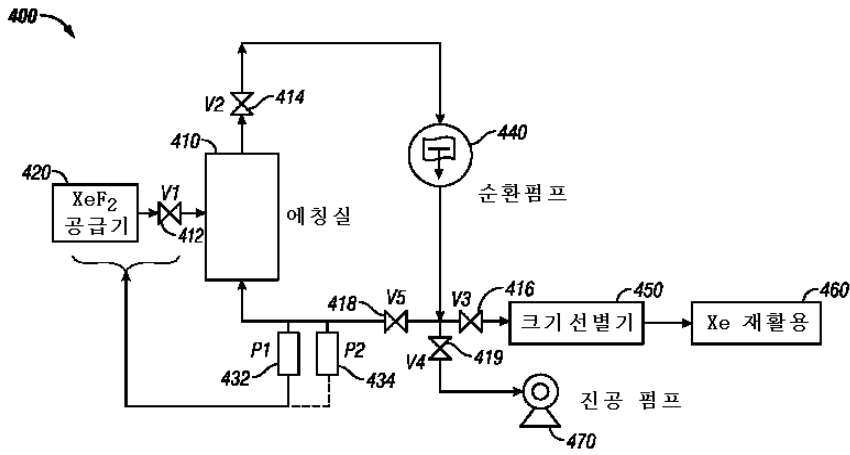
도면13



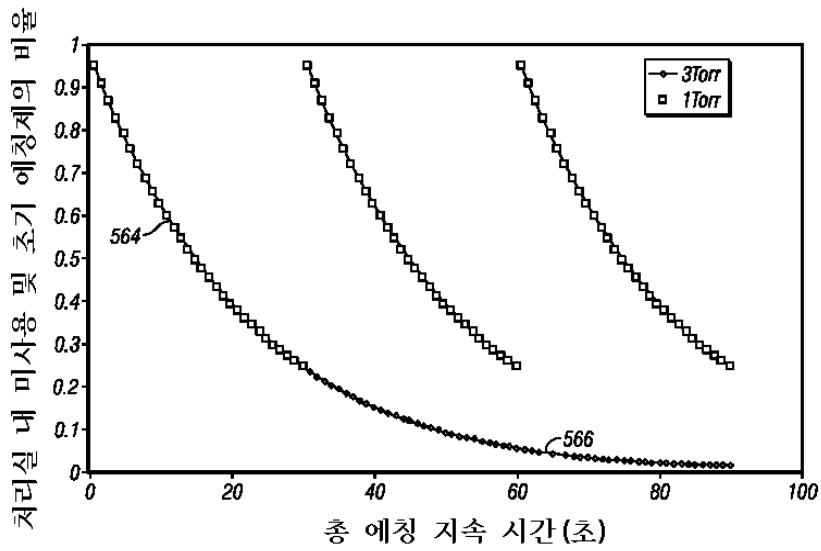
도면14



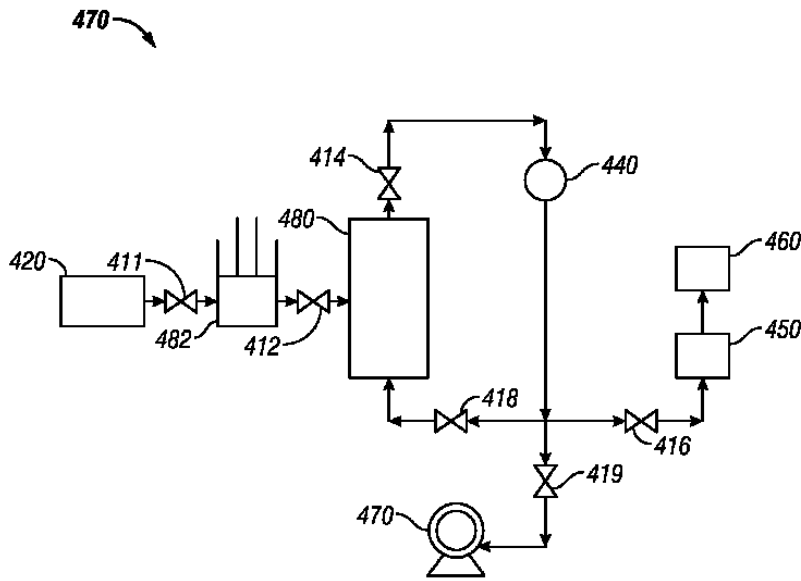
도면15



도면16



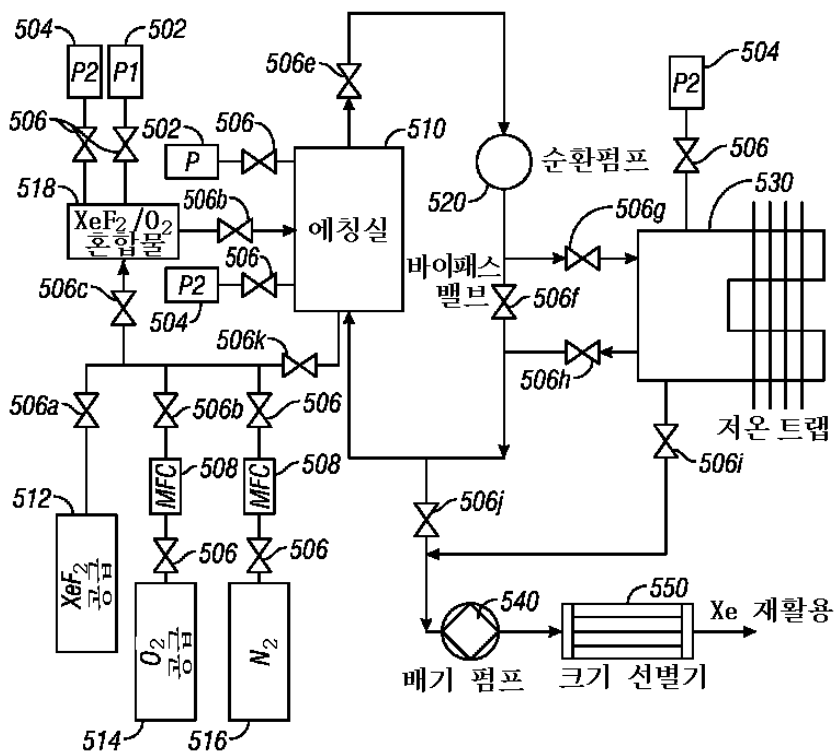
도면17



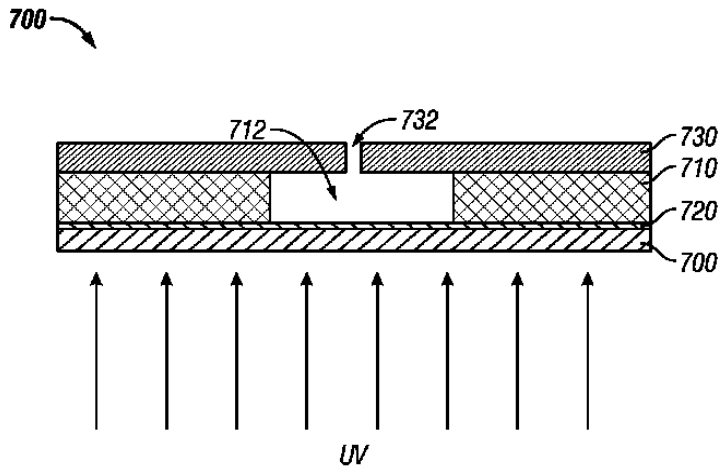
도면18

500

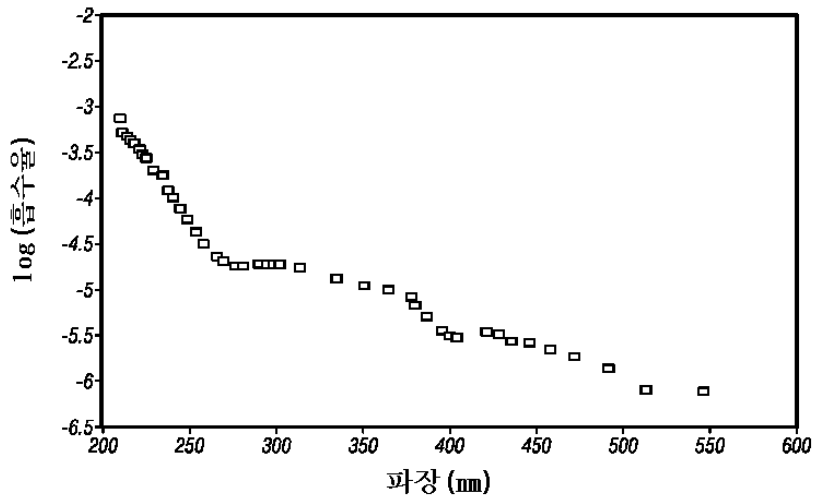
**P1** 100 Torr 압력계  
**P2** 1000 Torr 압력계



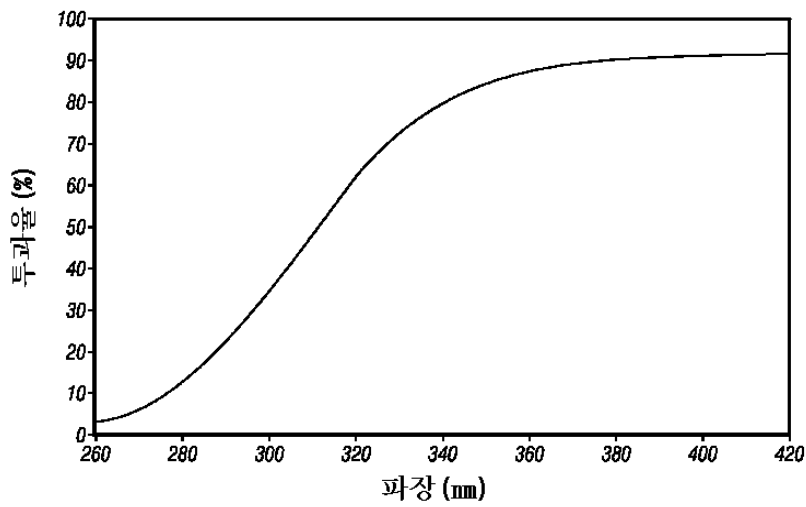
도면19



도면20a



도면20b





도면20c

