



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월02일

(11) 등록번호 10-2172363

(24) 등록일자 2020년10월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/324 (2017.01) H01L 21/67 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
H01L 21/324 (2013.01)  
H01L 21/67098 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0078909

(22) 출원일자 2015년06월04일  
심사청구일자 2020년01월30일

(65) 공개번호 10-2015-0140232

(43) 공개일자 2015년12월15일

(30) 우선권주장  
62/008,404 2014년06월05일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌  
KR1020080096521 A  
W02014007924 A1  
W02013094680 A1  
KR1020120099270 A

(73) 특허권자  
에이에스엠 아이피 홀딩 비.브이.  
네덜란드 에이피 알메르 1322 베르스테르케르스트  
라아트 8

(72) 발명자  
용블루트 베르트  
네덜란드 1322 에이피 알메르 베르스테르케르스트  
라아트 8

피에뤼스 디터트  
네덜란드 1322 에이피 알메르 베르스테르케르스트  
라아트 8  
(뒷면에 계속)

(74) 대리인  
리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 12 항

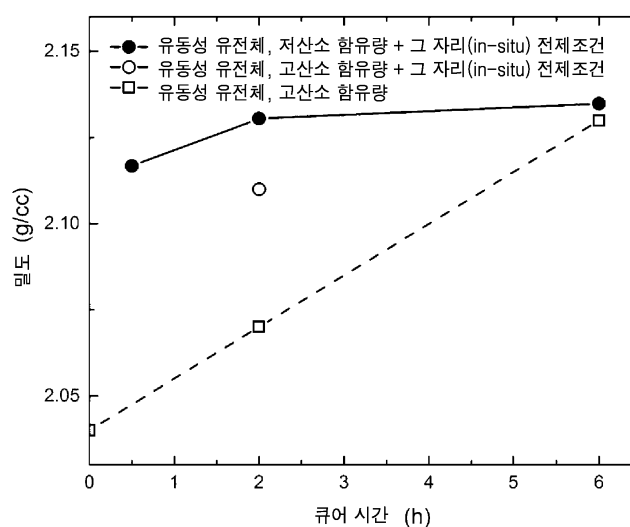
심사관 : 이창용

(54) 발명의 명칭 반도체 기판들에 대한 반응성 큐어링 공정

## (57) 요약

일부 실시 예들에서, 반응성 큐어링(curing) 공정은, 약 300 Torr 이하인 공정 챔버 내 압력에 대해, 과산화수소를 포함하는 환경(ambient)에 상기 공정 챔버 내의 반도체 기판을 노출시킴으로써 수행될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 과산화수소 분자들의 상기 공정 챔버 내에서의 체류 시간(residence)은 약 5분 이하이다. 상기 큐어링 공정 온도는 약 500℃ 이하로 설정될 수 있다. 상기 큐어링 공정은 유동성 유전체 물질들을 큐어링하기 위해 적용될 수 있으며, 배치(batch) 공정 챔버에서 큐어링된 반도체 기판들의 배치(batch) 전체에 걸친 것과 같이, 매우 균일한 큐어링 결과들을 제공할 수 있다.

## 대표도 - 도5



(72) 발명자

**판 데르 예흐트 코르넬리우스 아.**

네덜란드 1322 에이피 알메르 베르스테르케르스트  
라아트 8

**테르호르스트 헤르버르트**

네덜란드 1322 에이피 알메르 베르스테르케르스트  
라아트 8

**이디라 뤼시안**

네덜란드 1322 에이피 알메르 베르스테르케르스트  
라아트 8

**방크라스 랫코 쥐.**

네덜란드 1322 에이피 알메르 베르스테르케르스트  
라아트 8

**오스테를라컨 테오도뤼스 쥐.엠.**

네덜란드 1322 에이피 알메르 베르스테르케르스트  
라아트 8

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

수직 가열로의 열벽의 배치 공정 챔버(hot wall, batch process chamber) 내에 다수의 반도체 기판들을 제공하는 단계로서, 상기 반도체 기판들은 웨이퍼 보트에 고정되는, 단계;

상기 공정 챔버 내에서, 상기 반도체 기판을  $H_2O_2$ 를 포함하는 환경(ambient)에 노출시키는 단계; 및

상기 기판을 노출시키면서, 공정 챔버 내에서 300 Torr 이하의 압력을 제공하는 단계를 포함하는, 반도체 공정 방법.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 압력은 150 Torr 이하인, 반도체 공정 방법.

#### 청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 공정 챔버 내에서  $H_2O_2$ 의 부분 압력은 1 Torr 내지 100 Torr인, 반도체 공정 방법.

#### 청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 반도체 기판을 노출시키는 동안에, 상기 공정 챔버는 50℃ 내지 500℃의 공정 온도에 있는, 반도체 공정 방법.

#### 청구항 5

제 1항에 있어서,

$H_2O_2$ 의 상기 공정 챔버 내에서의 체류 시간(residence time)은 5분 이하인, 반도체 공정 방법.

#### 청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 방법은 :

공정 챔버의 업스트림(upstream)에서  $H_2O_2$ 를 액체로서 계량하는 단계;

증발기에서 상기 액체를 증발시키는 단계; 및

상기 증발된  $H_2O_2$ 를 상기 공정 챔버로 유입시키는 단계로서, 상기 액체를 증발시키는 동안, 상기 증발기는 120℃ 이하의 온도를 유지하는, 유입 단계를 더 포함하는, 반도체 공정 방법.

#### 청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 환경은  $H_2O_2$ 와 다른, 하나 이상의 추가적 산화 종들(species)을 더 포함하며,

상기 추가적 산화 종들은 오존, 산소 및  $H_2O$ 로 구성된 군으로부터 선택되는, 반도체 공정 방법.

## 청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 방법은, 상기 공정 챔버 내의 압력을 큐어링(curing) 압력으로 감소시키기 위해, 상기 공정 챔버를 배기하는 단계를 더 포함하며,

상기 공정 챔버는, 상기 반도체 기판을 노출시키는 단계를 개시하기 전에, 50 Torr 미만으로 배기되지 않는, 반도체 공정 방법.

## 청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 방법은, 상기 반도체 기판을 상기 공정 챔버로 로딩하는 동안, 그리고/또는 상기 반도체 기판을 가열하는 동안, 상기 반도체 기판을  $O_2$ 에 노출시키는 단계를 더 포함하며,

상기 반도체 기판을 로딩하는 것은 상대적으로 낮은 공정 챔버 온도에서 수행되며,

상기 반도체 기판을 노출시키는 단계를 시작한 후에, 상기 공정 챔버 온도가 증가하는, 반도체 공정 방법.

## 청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 방법은, 상기 반도체 기판을 노출시키는 동안, 주기적으로 상기 공정 챔버 내의 산화 기체들을 대체함을 제공하는 단계를 더 포함하며,

상기 주기적으로 산화 기체들을 대체함을 제공하는 단계는, 다수의 사이클(cycle)들을 수행하는 것을 포함하며,

상기 사이클들 각각은 :

상기 반도체 기판을, 과산화수소를 포함하는 제 1 산화 기체, 그리고 수증기, 오존 및 산소로 구성된 군으로부터 선택된 하나 이상의 기체들을 포함하는 제 2 산화 기체에, 순차적으로 노출시키는 단계를 포함하는, 반도체 공정 방법.

## 청구항 11

수직 가열로의 열벽의 배치 공정 챔버 내에 다수의 반도체 기판들을 제공하는 단계로서, 상기 반도체 기판들은 웨이퍼 보트에 고정되는, 단계;

상기 반도체 기판을  $H_2O_2$  환경에 노출시키기 위해,  $H_2O_2$  종들(species)을 상기 공정 챔버 내로 유입시키는 단계;

상기 공정 챔버로부터 기체들을 배기하는 단계를 포함하며,

흐름(flow), 챔버 압력 및 챔버 온도의 조건(condition)들은, 상기  $H_2O_2$  종들의 상기 공정 챔버 내에서의 평균 체류(residence) 시간이 5분 미만이 되도록 하는 것인, 반도체 공정 방법.

## 청구항 12

반도체 기판 상에서 반도체 장치를 제조하는 방법에 있어서,

상기 방법은 :

산소의 추가 없이, 무-탄소(carbon-free) 실리콘 소스 및 원격  $NH_3$  플라즈마(plasma)를 사용하여, 상기 기판 상에 유동성 유전체 필름을 증착시키는 단계;

상기 유동성 유전체 필름을 가진 상기 기판을 공정 챔버 내로 로드하는 단계; 및

상기 기판을 과산화수소에 노출시킴으로써 상기 유동성 유전체 필름을 큐어링하는 단계를 포함하는, 반도체 공정 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

## 청구항 29

삭제

## 청구항 30

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 반도체 공정에 관한 것이며, 더욱 상세하게는, 반응성 큐어링 공정에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 산화 환경(oxidizing ambient)는 반도체 공정에서 흔히 사용된다. 예를 들어, 반도체 기판 상의 물질들을 큐어하기(cure) 위해 산소를 제공하도록 산화 환경이 사용될 수 있다. 이러한 산화 환경들은 일반적으로 산소, 수증기(steam) 또는 오존을 포함한다. 공정 파라미터들 및 물질들이 변화함에 따라, 변화하는 파라미터들 및 물질들에 의해 생긴 도전들(challenges)을 충족시키는 산화 환경을 갖는 공정들의 개발에 대해 지속적인 요구가 존재한다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

#### 과제의 해결 수단

[0003] 일부 실시 예들에서, 반도체 공정 방법이 제공된다. 공정 챔버 내의 반도체 기판은  $H_2O_2$ 를 포함하는 환경에 노출된다. 상기 노출 중에, 상기 공정 챔버 내의 압력은 약 300 Torr 이하이다. 일부 실시 예들에서, 상기 압력은 약 150 Torr 이하이다.

[0004] 일부 실시 예들에서, 공정 챔버 내에 반도체 기판이 제공되는, 반도체 공정 방법이 제공된다.  $H_2O_2$  종(species)들은 상기 공정 챔버 내로 유입되어, 상기 반도체 기판을  $H_2O_2$  환경에 노출시킨다.  $H_2O_2$  종(species)들이 상기 공정 챔버 내로 유입됨과 동시에, 기체들은 상기 공정 챔버로부터 배출(배기)된다. 흐름(flow)의 조건(condition)들인 챔버 압력 및 챔버 온도는, 상기 반응 챔버 내  $H_2O_2$  종의 평균 체류 시간(residence time)이 약 5분 미만이거나, 2분 미만하도록 하는 것이다.

[0005] 일부 실시 예들에서, 반도체 기판 상에서 반도체 장치를 제조하는 방법이 제공된다. 상기 방법은 저산소 함유 필름(low oxygen content film)을 형성하기 위해 산소의 추가 없이, 무-탄소(carbon-free) 실리콘 소스 및 원격  $NH_3$  플라즈마(plasma)를 사용하여, 상기 기판 상에 유동성 유전체 필름(flowable dielectric film)을 증착시키는 단계를 포함한다. 상기 저산소 함유 필름을 가진 기판은 공정 챔버 내로 로드된다. 상기 기판은 상기 저산소 함유 필름을 큐어하기 위해, 과산화수소에 노출된다. 일부 실시 예들에서, 상기 기판을 과산화수소에 노출시키는 단계는, 기판 로딩을 완료한 후 약 25분 내 또는 약 6분 내에 수행된다. 일부 실시 예들에서, 상기 저산소 함유 필름은 약 10% 이하, 약 3% 이하 또는 약 1% 이하의 산소를 함유할 수 있다.

[0006] 상기 과산화수소 환경으로의 노출은 상기 반도체 기판들 상의 물질들에 산소를 추가하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 유동성 유전체 물질들의 반응성 큐어를 제공한다.

#### 도면의 간단한 설명

[0007] 도 1은 300℃에서 각각 과산화수소 및 수증기로 큐어링된 유동성 유전체 필름들의 FTIR 스캔들을 도시한다.

도 2는 400℃에서 각각 과산화수소 및 수증기로 큐어링된 유동성 유전체 필름들의 FTIR 스캔들을 도시한다.

도 3은 500℃에서 각각 과산화수소 및 수증기로 큐어링된 유동성 유전체 필름들의 FTIR 스캔들을 도시한다.

도 4는 과산화수소 및 수증기 큐어링을 위한 큐어링 온도에 따른, 유동성 유전체 물질 필름의 밀도 그래프를 도시한다.

도 5는 큐어링 온도에 따른 유동성 유전체 물질들의 3개의 상이한 유형들의 밀도 그래프를 도시한다.

도 6은 탈-기체(out-gassing)에 의해 발생한 중합 결합들을 가진, 유동성 유전체 물질의 주사 전자 현미경 사진(scanning electron micrograph(SEM))을 도시한다.

도 7은 열처리 온도(anneal temperature)에 따른, Si-H 결합들 및 단글링 결합(dangling bond)들의 밀도 그래프를 도시한다.

도 8은 열처리되지 않은 필름들 및 열처리된 필름들에 대한 습식 에칭률 비(Wet etch rate ratios(WERRs))를 비교하는 그래프를 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0008] 반도체 장치들의 제작은 반도체 기판 상의 또는 웨이퍼 상의 물질들의 큐어링을 포함할 수 있다. 반응성 큐어링 공정에서, 화학종들은 상기 물질들로부터 제거될 수 있으며, 또한 일부 화학종들은 상기 물질들에 첨가될 수 있다. 일부 큐어링 공정은 대기압에서 상기 반도체 기판들을 공정 챔버 내의 산화 환경에 노출시킴으로써 수행될 수 있다. 반도체 기판들 상의 물질들에 대한 손상에 대한 예방(guarding) 및 호환 가능성과 같은 다양한 요인들로 인해, 물질들을 큐어링하기 위해 약 500℃ 미만 또는 약 400℃ 미만, 심지어는 300℃ 미만과 같이, 낮은 온도를 이용하는 것이 바람직 할 수 있다. 그러나 큐어링 공정을 위한 온도가 낮아짐에 따라, 산화 환경 내의 산화 종들의 반응성도 또한 감소하며, 산소, 오존 및/또는 물과 같은 종래의 산화제들은 충분히 반응을 보이지 않을 수 있다는 것으로 밝혀졌다.
- [0009] 과산화수소( $H_2O_2$ )는, 큐어링 공정들(특히, 저온의 산화 환경을 이용한 큐어링 공정들)에 사용하기 위해 산소, 수증기 또는 오존보다 높은 유효 반응성을 제공한다. 과산화수소를 사용한 큐어링은 약 500℃ 이하의 온도에서 반응을 보일 수 있다. 그러나 산화 환경을 조성하기 위해 과산화수소를 사용하는 것은, 받아들일 수 없는 불-균일한 큐어링 결과들을 유발하는 것으로 밝혀졌다.
- [0010] 통상적으로, 공정의 용이성을 위해, 큐어링 공정들은 대기압에서 수행되어왔다. 이론에 의해 제한되지 않는다면, 실제로 이러한 압력들은 불-균일 큐어링 결과들을 유발하는 것으로 밝혀졌다. 이는, 일부 종래의 산화제들에 비교할 때,  $H_2O_2$  분자의 상대적으로 제한된 수명(life time)과 함께, 과산화수소의 상대적으로 높은 반응성 때문이라 여겨진다.
- [0011] 유리하게는, 일부 실시 예들에서, 과산화수소를 사용하여 매우 균일한 큐어링 결과들이 달성될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 약 100 Torr를 포함한, 약 300 Torr 이하, 약 150 Torr 이하, 또는 약 125 Torr 이하의 공정 챔버 내 압력에서, 공정 챔버 내의 반도체 기판을 과산화수소를 포함한 환경에 노출시킴으로써 큐어링이 수행될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 공정 챔버 내의 특정 과산화수소 분자들의 체류 시간 또는 평균 지속시간(상기 공정 챔버 내로 도입되고 그 후 상기 공정 챔버로부터 제거된 분자들 간의 지속시간)은 약 5분 이하, 약 2분 이하, 약 1분 이하이다. 일부 실시 예에서, 상기 기판은 저산소 함유량, 유동성 유전체 필름을 포함할 수 있다. 이 때, 상기 기판을 상기 공정 챔버 내로 로딩하고, 상기 시스템을 큐어링 압력까지 펌프-다운(pump down)하는 것을 완료하자마자(예를 들어, 상기 로딩 완료 후 약 25분 이내, 약 15분 이내, 또는 약 8분 이내), 과산화수소를 포함한 환경으로의 노출이 수행된다. 일부 실시 예들에서, 상술된 압력들 및/또는 체류 시간들에 대해, 큐어링 공정 온도는, 약 50℃ 이상, 약 100℃ 이상 또는 약 150℃ 이상이면서, 약 500℃ 이하, 약 400℃ 이하 또는 약 300℃ 이하로 설정될 수 있다. 유리하게는, 일부 실시 예들에서, 상기 과산화수소 환경은, 5% 1 시그마(sigma) 이하, 2% 1 시그마 이하, 또는 더 바람직하게는 1% 1 시그마 이하의 불-균일도를 가진 굴절률(refractive index) 및 에칭율과 같은 필름 속성들을 가진, 상기 웨이퍼 상에 고도의 균일도(uniformity)를 제공하는 큐어링 결과들을 제공한다.
- [0012] 상기 큐어링 공정들은 다양한 유형의 공정 챔버들 내에서 수행될 수 있으며, 대량의 배치(batch) 공정 챔버들에서 특히 이점들을 가질 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 배치(batch) 공정 챔버들은 20개 이상, 50개 이상, 100개 이상의 반도체 기판들을 수용하도록 구성될 수 있다.
- [0013] 이론에 의해 제한되지 않는다면, 개시된 바와 같이, 저압(low pressure) 및/또는 적은 체류 시간은 다양한 이점

들을 제공할 수 있다고 여겨진다. 예를 들어, 저압의 제 1 이점은, 상기 과산화수소 종들의 체류 시간이 더 짧아질 수 있으며, 상기 저압은 과산화수소 종들이 상기 공정 챔버를 통해 더 빨리 그리고 더 자유롭게 이동할 수 있도록 한다는 것이다. 그 결과로, 상기 공정 챔버 내 과산화수소의 부분 압력에 대한 상기 과산화물 종들의 분해 영향이 감소되며, 과산화수소의 더 높은 농도 및 더 균일한 분포(distribution)가 상기 공정 챔버의 전체 전체에 조성될 수 있다.

[0014] 상기 낮은 공정 압력 및 상기 공정 챔버를 통한 과산화수소 종들의 빠른 움직임의 제 2 이점은, 기체상(gas phase)의 모든 화학종들 또한 빨리 이동될 수 있다는 것이다. 반응성 과산화수소의 확산 이동뿐만 아니라, 큐어링될 물질들로부터 빠져나오는 (질소-함유 종들과 같은) 화학종들의 이동 또한 높은 수준에 있다. 따라서 상기 물질에 직접적으로 인접한 대기압에서, 상기 빠져나오는 종들의 유효 부분 압력은 더 낮으며, 그 결과 더 효과적인 큐어링과 상기 종들의 제거가 나타난다. 상기 개선된 확산 이동으로 인해, 배치 공정 챔버들에서, 더 작은 기관 피치(pitch)(상기 공정 챔버 내에 고정된 기관들 간의 거리)가 적용될 수 있으며, 그 결과 상기 공정 챔버들 내의 배치 크기가 더 커지며, 그렇게 함으로써 큐어링 결과의 균일성에 영향을 주지 않으면서, 제조 효율을 향상시킬 수 있다.

[0015] 낮은 큐어링 압력의 제 3 이점은, 과산화수소의 유효 압력은 더 높은 공정 챔버 압력을 가진 큐어들 내의 압력보다 더 높게 설정될 수 있다는 것이다. 과산화수소의 열분해는 발열반응이며 그리고, 폭주 분해 반응(run-away decomposition reaction)의 경우,  $H_2O_2$ 의 분해는 기체 분자들의 수를 50% 증가시킬 수 있고( $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ ), 상기 반응에 의해 방출되는 열량으로 인해 기체가 열팽창되기 때문에, 반응기 내의 압력은 상당히 증가할 것이다. 따라서 일부 실시 예들에 의해 제공되는 더 낮은 공정 압력들은 종래 압력들에서 수행되는 큐어링 공정들보다 더 안전할 수 있다.

[0016] 일부 실시 예들에서, 상기 과산화수소 큐어 다음으로 더 높은 온도에서의 열처리가 이루어질 수 있다. 예를 들어, 노출된 필름은 과산화수소로 큐어링된 후, 열처리가 된다. 바람직하게는, 상기 기관들이 비활성 기체 환경 내에서 제공되도록(accommodated), 상기 열처리는 비활성 기체에서 수행된다. 일부 실시 예들에서, 상기 과산화수소 큐어는 약 500℃ 이하에서 수행되며, 상기 열처리는 더 높은 온도(예를 들면, 500℃ 이상)에서 수행된다. 더 바람직하게는, 상기 과산화수소 큐어는 약 300℃ 이하에서 수행되며, 상기 열처리는 더 높은 온도인 약 400-800℃에서 수행된다. 일부 실시 예들에서는, 상기 노출된 필름이 열처리 후에 과산화수소로 큐어링되도록, 상기 열처리 다음으로 또 다른 과산화수소 큐어링이 이루어질 수 있다. 이론에 의해 제한되지 않는다면, 유리하게는, 상기 열처리는 상기 필름으로부터 수소를 제거하며, 또한 하부 기관을 산화시키지 않으면서, 상기 과산화수소 큐어링된 필름의 밀도를 개선시키는 것으로 여겨진다. 또한 이론에 의해 제한되지 않는다면, 상기 필름은 열처리 후에, 산화에 대한 증가된 민감성(susceptibility)을 보여줄 수 있으며, 상기 열처리 후 과산화수소 큐어를 수행하는 것은, 그러한 증가된 민감성의 관점에서 이로울 수 있다는 것이 알려져 있다.

[0017] 일부 실시 예들에서, 상기 열처리는 비활성기체 및 산소를 포함하는 환경(예를 들어, 적은 비율의 또는 미량의 산소) 내에서 수행될 수 있다. 상기 비활성기체 열처리의 온도 및 지속시간에 따라, 이러한 온도 및 지속시간에서 산소의 제한된 반응성으로 인해, 하부 기관의 상당한 산화 없이, 산소가 용인될 수 있다.

[0018] 일부 실시 예들에서, 약 10분에서 약 10시간의, 약 20분에서 약 6시간의 또는 약 30분에서 약 3시간의 공정 시간동안의 과산화수소 큐어링 중에, 기관은  $H_2O_2$ 에 노출된다.

[0019]  $H_2O_2$  소스 컨테이너(container)들로부터 전달된  $H_2O_2$ 의 농도는 시간이 지남에 따라 변할 수 있다는 것이 인식될 것이다. 일부 실시 예들에서,  $H_2O_2$ 는 본 출원인의 관련 출원에 기술된 공급 시스템을 사용하여 상기 공정 챔버에 제공된다: 상기 관련 출원은 2014년 3월 5일자 미국 임시특허출원 No. 61/972,005, '반도체 처리 챔버에 과산화수소를 전달하는 방법 및 시스템(method and system for delivering hydrogen peroxide to a semiconductor processing chamber)'이며, 그 임시특허출원의 전체 내용이 본원에 참고로 편입된다. 상기 임시특허출원에 기술된 바와 같이, 과산화수소는 공정 챔버의 업스트림(upstream)에서 액체로서 계량될(metered) 수 있으며, 그 후 상기 액체는 증발기에서 증발되며, 상기 공정 챔버로 유입된다. 상기 증발은  $H_2O_2$ 를 증발시키기 충분한, 그리고  $H_2O_2$ 의 끓는점 미만인(예를 들어, 약 120℃ 이하, 또는 약 120℃에서 약 40℃, 또는 약 100℃에서 약 50℃), 온도에서 일어난다. 이러한 증발 온도는 상기 공정 챔버로 전달되는  $H_2O_2$ 의 농도의 높은 수준의 일관성을 제공한다는 것이 발견되었다. 일부 실시 예들에서, 상기 증발기 및 상기 공정 챔버 사이의 증기 공급 라인은, 히터가 비치되어, (예를 들어 상기 증발기 온도보다 높거나 같은 온도까지) 가열될 수 있다. 일

부 실시 예들에서, 상기 증기 공급 라인은 필터가 비치될 수 있으며, 상기 필터 또한 (예를 들어 상기 증발기보다 높거나 같은 온도까지) 가열될 수 있다. 상기 필터는 30 nm 보다 큰 제거 등급(removal rating)을 가질 수 있으며, 이것은 입자 크기와 관련한 필터의 효율성의 측정치이다. 이러한 필터는 큐어링된 반도체 기관 상에서의 입자들의 발생을 감소시킬 수 있음이 밝혀졌다.

[0020] 상기 과산화수소-기반 큐어링 공정은 유동성 유전체 물질들의 큐어링에 대해 특별한 이점들을 가질 수 있다는 것이 인식될 것이다. 일부 적용들에서, 이러한 유동성 유전체 물질들은 필름들로서 증착될 수 있으며, 또한 반도체 장치들 내에서 구조들의 매끄러운(seamless) 갭 충전(gap fill)을 위해 사용될 수 있다. 예로서, 증착된 유동성 유전체 필름들은 실리콘, 질소, 수소 및/또는 산소를 포함할 수 있으며, 사용된 전구체들에 따라 탄소 또한 포함할 수 있다. 일부의 경우, 상기 필름들은,  $\text{NH}_3$ 의 플라즈마(예를 들어, 원격 플라즈마)와 함께, 실리콘 및 질소를 포함하는 전구체를 사용하여, 화학적 증기 증착 또는 원자층 증착에 의해 형성될 수 있다. 실리콘 및 질소를 포함하는 전구체의 예는 무-탄소 전구체인 트리실릴라민(tri-silyl amine(TSA))이다. 이러한 무-탄소 전구체로, 결과물인 필름은 탄소를 전혀 포함하지 않거나, 또는 오직 채류하는 미량의 탄소들만을 포함할 것이다. 또한 다른 실릴라민(silyl-amine)들 또는 아미노실란(amino-silane)이 사용될 수 있다. 상기 유동성 유전체 필름의 증착 중에, 산소가 첨가되어, 산소가 증착되었을 때(as-deposited) 상대적으로 높은 산소 함량을 갖는 필름을 형성할 수 있다. 또한 산소가 증착되었을 때 상대적으로 높은 산소 함량을 갖는 필름은, 상기 증착 공정에 얹혀있고(clustered) 증착 후 즉시 수행될 수 있는, 오존 큐어링에 의해 형성될 수 있다. 대안적으로, 상기 필름들은 증착 중에 상기 공정 챔버 내로 산소를 공급하지 않으면서 증착되어, 산소가 증착되었을 때 상대적으로 낮은 산소 함량을 가진 필름을 형성할 수 있다. 이러한 대안에서, 낮은 산소 함량을 가진 필름은 상기 공정 챔버 내에 존재하는 채류 산소의 포함(incorporation)으로 인해 얻어질 수 있으며, 그리고/또는 상기 증착 중에 사용된 기체들 내의 채류 산소로서 얻어질 수 있다. 상기 저산소 함유 필름은 약 10% 미만, 약 3% 미만 또는 약 1% 미만의 산소를 가질 수 있다. 상기 필름들이 상대적으로 낮은 산소 함유량을 가지던, 상대적으로 높은 산소 함유량을 가지던지 관계없이, 증착 후에, 상기 필름들은 더 높은 밀도와 질이 좋은 필름을 얻기 위해, 산소를 포함하는 환경에서, 일부 실시 예들에서는 과산화수소를 포함하는 환경에서 큐어링될 필요가 있을 수 있다.

[0021] 일부 실시 예들에서, 본원에 개시된 바와 같은 반응성 큐어링을 수행함으로써, 상기 유동성 유전체 물질은 이산화규소를 생성하도록 변형될 수 있다. 상기 반응성 큐어링 중에, 탄소, 수소 및 질소는 상기 물질에서 빠져나오며(leave), 산소(상기 유전체 물질이 이미 산소를 포함한 경우, 추가적 산소)가 상기 물질에 공급된다. 바람직하게는, 상기 반도체 기관들 상에서 전자 장치들의 온도 제한 및 온도 민감도로 인해, 상기 반응성 큐어링은 약 500°C 미만, 또는 약 400°C 미만, 또는 심지어 300°C 미만의 온도에서 수행된다.

#### [0022] 실험들(experiments)

[0023] 아래에 기술된 바와 같이, 여러 도면들은 각각 과산화수소 및 다른 산화제들을 사용하는, 큐어링 공정들에 대한 실험들을 뒷받침한다. 상기 큐어링 공정들은 네덜란드 알메르(Almere)의 ASM International N.V.에서 구할 수 있는 A412™ 수직가열로에서 수행되었다. 상기 가열로는 300nm의 직경을 가진, 150개의 반도체 기관들, 또는 웨이퍼들의 로드를 수용할 수 있는 공정 챔버를 가지며, 상기 기관들은 웨이퍼 보트(wafer boat)내에 고정된다. 본원에 언급된, 미국 임시특허출원 No. 61/972,005에 기술된, 과산화수소 공급 시스템을 이용하여,  $\text{H}_2\text{O}_2$ 가 상기 공정 챔버에 제공된다.

[0024] 달리 명시되지 않은 한, 증착 중에 산소의 추가 없이, 유동성 유전체 필름들이 증착된다. 상기 필름들은  $\text{NH}_3$  원격 플라즈마와 함께 트리실릴라민(tri-silyl amine(TSA))을 사용하여 CVD에 의해 증착되었다.

[0025] 증착된(as-deposited) 필름들은 수증기 또는 과산화수소를 포함하는 환경에서 큐어링 공정이 이루어졌으며, 기관들의 서로 다른 배치들(batches)은 각각 6시간동안, 각각 300°C, 400°C 및 500°C의 온도에서 큐어링 공정이 이루어졌다. 웨이퍼 보트는 웨이퍼들을 탑재하였으며, 상기 웨이퍼 보트는 상기 공정 챔버 내부로 로드되었다. 상기 공정 챔버는 300°C로 가열되었으며, 상기 웨이퍼 보트의 로딩 중에 상기 공정 챔버를 통해 산소 유입이 이루어졌다. 큐어링을 위한 수증기 또는 과산화수소 유입이 시작될 때, 상기 산소 유입은 중단되었다. 본원에 기술된 바와 같이, 일부 큐어링에 대해, 상기 공정 챔버는 300°C보다 높은 온도로 가열되었으며, 산화 기체가 상기 반응기로 공급되는 동안, 온도 안정화가 일어났다. 수증기 큐어링에 대한 공정 챔버 압력은 대기압이었으며, 이는  $\text{H}_2\text{O}_2$ 에 대해 100 Torr였다.

- [0026] 도 1, 도 2 및 도 3은, 과산화수소 및 산화제를 가진 수증기를 사용하여, 각각 300℃, 400℃ 및 500℃에서 수행된 큐어링 공정들 후에, 상기 유동성 유전체 필름들의 FTIR 스펙트럼들을 도시한다. 300℃, 400℃에서 (도 1 및 도 2), 수증기 열처리되는 960cm<sup>-1</sup>에서의 Si-N 결합의 피크를 제거하는데 효과적이었음에도 불구하고, 상기 수증기 열처리되는 약 890cm<sup>-1</sup>에서의 SiO-H 결합의 피크를 감소시키는데 효과적이지 않았다. 500℃에서, 수증기 및 과산화수소에서 열처리된 필름들의 FTIR 스펙트럼들은 서로 유사하다.
- [0027] 도 1 내지 도 3의 필름들의 밀도들은 도 4에 도시된다. 상기 과산화수소 큐어링에 대해, 300℃만큼 낮은 큐어링 온도에서 이미 상대적으로 높은 필름 밀도가 얻어졌다. 500℃로 온도를 높이는 것은 밀도 또한 증가시킨다. 한편, 300℃에서의 수증기 큐어는, 동일한 온도에서의 과산화수소 큐어보다 상당히 낮은 밀도(약 17% 더 낮음)를 초래한다. 오직 상기 큐어 온도를 500℃로 증가시키기만 한 후, 수증기 및 과산화수소 큐어링 후의 상기 필름들의 밀도는 서로 비슷해졌다.
- [0028] 도 5에서, 과산화수소 내 300℃에서의 큐어링 시간에 따른 필름 밀도 그래프가, 3개의 상이한 샘플들의 세트들에 대해 도시된다. 제 1 샘플 세트는, 산소가 증착되었을 때 상대적으로 낮은 산소 함량을 가진 유동성 유전체이며, 이는 도 1 내지 도 4에 도시된 실험 결과들에 사용된 샘플들과 동일한 조건들 하에 증착되었다. 제 2 및 제 3 샘플 세트들은 제 1 샘플 세트와 동일한 조건들 하에 증착된 유동성 유전체였다. 그러나 제 2 및 제 3 세트들은 증착 직후에, 그리고 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 큐어 전에 O<sub>3</sub> 큐어를 수신하여, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 큐어전에 상대적으로 높은 산소 함유량을 가졌다. 또한, 도 5에 표시된 바와 같이, 제 1 및 제 2 세트들에 대해, 그 자리(in-situ) 전제조건(pre-condition)이 적용되었으며, 이는, 상기 보트를 상기 챔버 내로 로드하는 동안, 그리고 가능하다면, 상기 큐어링 온도가 상기 로딩 온도보다 높다면 상기 큐어링 온도까지 가열하는 동안, 산소 흐름이 상기 공정 챔버를 통해 이루어졌다는 것을 의미한다. 두 개의 상이한 유형들의 필름들 간의 큐어링 동작에는 현저한 차이가 관찰되었다: 낮은 산소 함량을 갖는 유동성 유전체 필름들은 원하는 최대 밀도를 거의 다 얻은 것으로 보이며, 300℃에서 오직 2시간의 큐어링 후에, 상기 큐어링 공정을 완료한 것으로 보인다. 반면에, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 큐어 전에 O<sub>3</sub> 큐어를 수신한 유동성 유전체 필름에 대해서는, 상기 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 큐어는 2시간 후에 완료되지 않았으며(즉, 유사한 밀도에 도달하지 못함), 동일한 밀도를 얻기 위해 6시간의 큐어링 시간이 필요하였다. 또한 상기 보트를 로드하는 동안의 산소의 존재 또는 부존재는, 상기 필름 밀도에 상당한 영향을 미치는 것으로 보인다: 높은 산소 함량을 갖는 필름들에 대해, 상기 보트가 산소를 추가하면서 로드될 때와 비교하면, 상기 보트가 산소를 추가하지 않고 상기 가열로(furnace) 내로 로드될 때, 상기 필름 밀도가 더 낮다.
- [0029] 어떠한 열처리가 없었다면 낮은 산소 함량을 가진 증착된 유동성 유전체 필름들의 밀도는, 측정될 수 없을 것이다. 하지만 또 다른 실험에서, 수증기 내 큐어링의 6시간 후 밀도는 도 4에 도시되며, 상기 밀도는 1.83 g/cm<sup>3</sup>로 낮은 것으로 나타났다. 증착된 저산소 함유 필름의 밀도는 훨씬 더 낮을 수 있다고 여겨진다. 높은 증착된 산소 함량을 가진 유동성 유전체의 밀도(환경 공기로의 몇 시간 노출 후, 약 2.04 g/cm<sup>3</sup>)는 낮은 증착된 산소 함량 물질의 유동성 유전체 밀도보다 처음에 더 높은데도 불구하고, 높은 증착된 산소 함량 물질은, 상기 낮은 증착된 산소 함량 물질과 비교하여 볼 때, 최대 밀도를 얻기 위해 더 긴 큐어링 시간을 여전히 필요로 한다. 따라서 필름 증착 및 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 큐어 사이에 다른 큐어(O<sub>3</sub> 큐어와 같은 큐어)를 수행하지 않으면서, 상기 유동성 유전체 필름이 증착될 때 낮은 산소 농도로 증착되었다면, 그 후 상기 산소 함량을 증가시키기 위해, 그리고 상기 필름의 밀도 및 품질을 높이기 위해, 상기 유동성 유전체 필름이 과산화수소에 노출되었다면, 이로울 수 있으며 더 짧은 큐어링 시간을 제공할 수 있다는 것이 발견되었다. 또한 상기 샘플들을 가열로 내로 로드하는 동안 산소 흐름을 제공하는 것은, 유익한 것으로 보였다.
- [0030] 300℃에서 또는 더 높은 큐어링 온도에서, 질소 흐름 하에, 또는 질소 및 산소 흐름의 혼합하에, 30분과 같이 긴 안정화 시간은, 이러한 지연 시간 없이 과산화수소 흐름이 시작된 공정과 비교할 때, 더 낮은 필름 밀도 그리고/또는 더 긴 큐어링 시간을 야기하였다. 그 결과, 일부 실시 예들에서, 상기 공정 챔버 내에서 기관의 로딩이 완료되자마자 불필요한 지연 시간 없이, 상기 과산화수소 흐름이 시작된다. 일부 실시 예들에서, 상기 공정 챔버 내로의 기관 로딩 완료 시간 후 약 25분 내에, 약 15분 내에 또는 약 8분 내에, 상기 과산화수소가 상기 공정 챔버 내로 유입된다.
- [0031] 도 6은 조건들 하에서 낮은 증착된 산소 함량을 가진 유동성 유전체 필름의 표면에 형성된 결합들의 주사 전자 현미경 사진이다. 상기 조건들은, 상기 가열로 내로의 샘플들의 로딩 및 400℃ 큐어링 온도까지의 온도 증가는, 산소 기체의 의도적 첨가 없이, N<sub>2</sub> 환경에서 수행되는 것이다. 일부 실시 예들에 따르면, 이러한 결합들

은 (예를 들어, 상기 공정 챔버를 통한 산소 흐름과 함께) 상기 샘플들을 상기 공정 챔버 내로 로딩함으로써, 그리고 산화 환경에서 상기 큐어링 온도까지 온도를 증가시킴으로써, 피할 수 있다.

[0032] 상술한 공정 조건들, 상기 사용된 반응기의 체적(약 160리터)과 함께, 300℃의 공정 온도를 가정하면, 상기 반응기 내의 기체 체류 시간은 약 44초였다. 예시적 공정에서, 다음의 조건들이 사용되었다 :

[0033]  $N_2$  흐름 : 5 slm

[0034]  $H_2O$  흐름 : 7 slm

[0035]  $H_2O_2$  흐름 : 1.6 slm

[0036] 압력 : 100 Torr

[0037] 온도 : 100℃ - 500℃

[0038] 실험들의 다른 세트에서, 상기 필름들을  $H_2O_2$  큐어한 후, 상기 유동성 유전체 필름들의 열처리 효과들의 조사들이 이루어졌다. 특히, 과산화수소 함량 및 단글링 결합들의 밀도에 대한, 그리고 에칭 저항(etch resistance)에 대한, 비활성기체 열처리의 효과가 조사되었다. 도 7은 열처리 온도에 따른, Si-H 결합들 및 단글링 결합들의 밀도 그래프를 도시한다. Si-H 밀도는 수소 함량을 나타낸다는 것이 인식될 것이다.

[0039] 상기 유동성 유전체 필름들은 200℃에서 2시간동안  $H_2O_2$  큐어되었다. 그런 다음, 온도는 열처리 온도까지 증가되었으며, 상기 필름들은 상기 열처리 온도에서 0.5 시간동안  $N_2$  내에서 열처리되었다. 도 7을 참고하면, 상기 수소 함량은 약 400℃부터 감소하기 시작하였으며, 약 650℃ 이상부터 단글링 결합들의 수가 증가하기 시작한 것을 알 수 있다. 약 400℃부터 약 800℃까지의 범위 내의 열처리 온도들은 유용하게 낮은 수소 함량을 제공했다. 상기  $H_2O_2$  큐어와 상기 열처리 중에, 상기 유동성 유전체 필름들은 노출되었으며, 상기  $H_2O_2$  큐어 및 상기 열처리 사이에 (증착들 및 에칭들(etches)) 어떠한 처리들도 수행되지 않았다는 것이 인식될 것이다.

[0040] 도 8은 열처리 되지 않은 필름들 및 열처리된 필름들에 대한 습식 에칭률 비(Wet etch rate ratios(WERRs))를 비교하는 그래프를 도시한다. 상기 열처리는 비활성기체 환경 내에서 550℃에서 수행되었다. 상기 습식 에칭률 비(WERR)가 측정되었다. 상기 WERR은 평가하의 필름(상기 열처리된 유동성 유전체 필름)의 습식 에칭률의 비율이고, 동일한 에칭 조건들 하의 열적 산화 실리콘(thermal silicon oxide)의 습식 에칭률의 비율임이 인식될 것이다. 유익하게도, 40%의 WERR 감소가 얻어졌다.

[0041] 본원에 개시된 실시 예들에 대해 다양한 변형들 및 개선들이 이루어질 수 있음을 인식할 수 있을 것이다. 일부 실시 예들에서, 짧은 체류 시간을 제공함으로써, 상기 공정 챔버 내에서의 분해로 인한  $H_2O_2$  농도의 감소가 상쇄되며,  $H_2O_2$  농도는 상대적으로 높은 수준으로 유지된다. 고온에서, 상기 과산화수소는 더 빠르게 분해하며, 상기 바람직한 체류 시간은 더 짧아질 수 있다는 것을 인식할 수 있을 것이다. 더 짧은 체류 시간은 더 낮은 압력 및/또는 더 높은 기체 및 증기 흐름들에 의해 얻어질 수 있다. 또한 더 낮은 압력은  $H_2O_2$ 의 부분 압력을 감소시킬 것이며, 그 결과 상기 큐어링 공정의 반응성을 감소시킬 것이다. 일부 적용들에서, 상기 반응기에 공급되는 기체 혼합물의 1 Torr 미만의  $H_2O_2$ 의 부분 압력은, 효과적인 큐어링을 위해 불충분할 수 있다는 것이 발견되었다. 바람직하게는, 상기 반응기에 공급되는 기체 혼합물의  $H_2O_2$ 의 부분 압력은 약 1 Torr 이상이며, 더 바람직하게는 약 3 Torr 이상, 더 바람직하게는 약 10 Torr 이상이며, 일부 실시 예에서는 약 60 Torr 까지 올라갈 수 있다. 공정 온도에 따라, 반응기 압력은 상기 반응성 큐어링 공정이 가장 효율적이게 존재할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 약 150℃부터 약 350℃까지의 온도 범위에서, 약 50 Torr 내지 약 200 Torr 사이의 범위의 압력이 특히 효과적임이 발견되었다. 일 실시 예에서, 상기 공정 압력은 약 100 Torr 일 수 있다. 일부 실시 예들에서, 약 50℃내지 150℃을 포함하는, 상기 온도 영역의 가장 낮은 부분에서, 약 300 Torr까지 증가한 공정 압력이 사용될 수 있다.

[0042] 일부 실시 예들에서, 상기 공정 챔버 내의 압력은 원하는 큐어링 압력으로 감소될 수 있다. 상기 큐어링 단계 중에, 큐어링 압력은 대체로 일정하게 유지되거나, 변할 수 있다. 상기 큐어링 압력에서 과산화수소 흐름을 시작하기 전에, 기본 압력으로 상기 공정 챔버를 배기하는 것은, 큐어링 효율에 유해한 영향을 미친다는 것이 발견되었다. 바람직하게는, 상기 과산화수소 흐름이 시작되기 전에, 상기 유동성 유전체는 10 Torr 미만의 압력에 노출되지 않으며, 더 바람직하게는, 50 Torr 미만의 압력에 노출되지 않는다. 일부 실시 예들에서, 상기 큐

어링 압력은 100 Torr 이며, 상기 유동성 유전체는 과산화수소에 노출되기 전에, 100 Torr 보다 낮은 압력에 노출되지 않는다.

[0043] 일부 실시 예들에서, 큐어의 개시에서, 상기 반응기 온도는 낮은 수준으로 설정될 수 있으며, 반면에 큐어링 압력은 상대적으로 높을 수 있다. 상기 상대적으로 높은 압력은 유동성 유전체 물질로의 반응성 종들의 확산을 촉진하는 것으로 보였으며, 반면에 상대적으로 낮은 온도는 큐어의 초기 단계에서 상단(top) 필름의 상부가 폐쇄되는 것을 막는다. 상기 큐어 과정 중에, 압력은 감소될 수 있는 반면, 온도는 더 완전한 큐어링을 달성하기 위해 증가될 수 있다. 결과적으로, 상기 공정 조건들은 일정하지 않지만, 큐어 중에 동적으로 조절될 수 있다는 것을 인식할 수 있을 것이다.

[0044] 일부 다른 실시 예들에서, 반도체 기판 상에 증착되고 상대적으로 낮은 산소 농도를 가진, 상기 유동성 유전체 물질은, 상기 웨이퍼들을 상기 반응기 내부로 로딩하는 동안, 그리고/또는 제 1 큐링 온도까지 가열하는 동안, 산화 기체에 노출될 수 있다. 상기 산화 기체는 물, 산소, 과산화수소 또는 오존일 수 있다. 이러한 산화 기체는 도 6에 도시된 바와 같은 결함들의 생성을 방지하는 것에 효과적인 것으로 여겨진다. 이론에 의해 제한되지 않는다면, 상기 유동성 유전체 물질들의 구성요소들은 상기 물질로부터 증발하거나 외부-확산(out-diffuse)할 수 있다고 여겨진다. 상기 구성요소들의 중합반응은 기체상에서 일어날 수 있으며, 중합반응은, 상기 웨이퍼 표면상에 재-증착(re-deposited)되고 도 6에 도시된 바와 같은 결함들이 관찰되는, 더 큰 종들을 생성한다. 상기 산화 기체의 추가는, 상기 유전체 물질로부터 상기 기체상으로 빠져나가는 종들의 중합반응을 막는다고 여겨진다. 이는 KLA-Tencor의 SP3 입자 카운터를 이용한 입자 측정에 의해 입증되었다. 이 때, 산소의 고의적 추가 없이  $N_2$  환경 내에 로드되었던, 낮은 증착된 산소 농도를 가진 유동성 유전체 물질들에 대해, 매우 높은 결함 농도를 표시하는 데이터 과부하가 관측되었다. 로딩 및 상기 챔버의 가열 중에, 산소 흐름이 상기 공정 챔버로 공급될 때, 검출된 결함들의 수가 매우 낮은 수준까지 감소됨이 발견되었다.

[0045] 일부 실시 예들에서, 낮은 증착된 산소 농도를 가진 유동성 유전체 물질이 있는 반도체 기판들은, 상대적으로 낮은 로딩 온도에서((실온 이상이면서) 약 300℃미만, 약 200℃미만, 약 100℃미만, 또는 심지어 약 65℃ 미만), 상기 공정 챔버 내로 로드될 수 있다. 상기 과산화수소 큐어는 이러한 낮은 온도에서 시작되며, 일정 시간 후에, 상기 공정 챔버 온도는 필요한 큐링 온도로 증가될 수 있다. 이론에 의해 제한되는 것을 원하지 않는다면, 상기 감소된 로딩 온도는 충분히 낮아서, 상기 유전체 물질로부터의 종들(species)의 상당한 외부-확산 또는 증발이 일어날 수 없고, 따라서 결함이 형성되지 않는다. 상기 산화 큐어링 환경이 상기 공정 챔버 내에 조성되자마자, 상기 공정 챔버 온도는 결함 형성의 위험 없이, 상기 로딩 온도부터 상기 큐링 온도까지 증가될 수 있다.

[0046] 일부 실시 예들에서, 유동성 유전체 물질을 가진 반도체 기판들은, 큐어링 기간 후에, 낮은 압력 진공(약 100 Torr 이하, 또는 약 10 Torr 이하, 또는 약 1 Torr 이하)에 노출될 수 있다. 상기 반도체 기판들은, 더 낮은 압력의 기간들을 가진, 순환(cycling) 모드로 낮은 압력에 노출될 수 있다. 상기 더 낮은 압력의 기간들은, 상기 기판들이 반응성 과산화수소 종들에 노출되는, 더 높은 압력에서의 큐어링의 기간에 의해 교대된다. 상기 낮은 압력 노출들은, 상기 유전체 물질들로부터 제거될 필요가 있는, 상기 종들의 유출(outflow)을 강화시킬 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 낮은 압력들로의 노출 중에, 상기 공정 챔버로의 과산화수소의 흐름이 계속될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0047] 일부 실시 예들에서, 추가적 산화 기체들은 상기 과산화수소 기체에 추가될 수 있다. 이러한 산화 기체들의 비-제한적 예들은 오존, 산소, 물 그리고 이것들의 조합들을 포함한다. 상기 추가적 산화 기체들은 일정한 부분 압력에서 상기 공정 챔버 내에 제공될 수 있거나, 또는 상기 부분 압력은 상기 큐어 중에 동적으로 변화할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 추가적 산화 기체들을 상기 과산화수소 기체에 추가하지 않고, 상기 추가적 산화 기체들은 반도체 기판들에, 연속적으로 그리고 상기 과산화수소 기체 대신에 제공될 수 있다. 예를 들어, 과산화수소와 상기 추가적 산화 기체가 서로 다른 시간에, 하나씩, 상기 반도체 기판들로 유입하는 큐어링 사이클(cycle)이 수행될 수 있으며, 그 후 상기 큐어링 사이클은 반복될 수 있다. 이론에 의해 제한되지 않는다면, 일부 응용들에서, 하나의 산화 기체는 상기 큐어링 공정의 일 양상에 효과적일 수 있으며, 또 다른 산화 기체는 상기 큐어링 공정의 또 다른 양상에 효과적일 수 있다고 여겨진다. 예를 들어, 상기 FTIR 그래프들(도 1 내지 도 3)은, 수증기가 (심지어 낮은 온도에서조차도) 상기 유동성 유전체 물질로부터 질소를 제거하는데 효과적일 수 있으며, 반면에 과산화수소는 상기 물질로부터 SiO-H 결함들을 제거하는데 더 효과적일 수 있다는 것을 나타낸다.

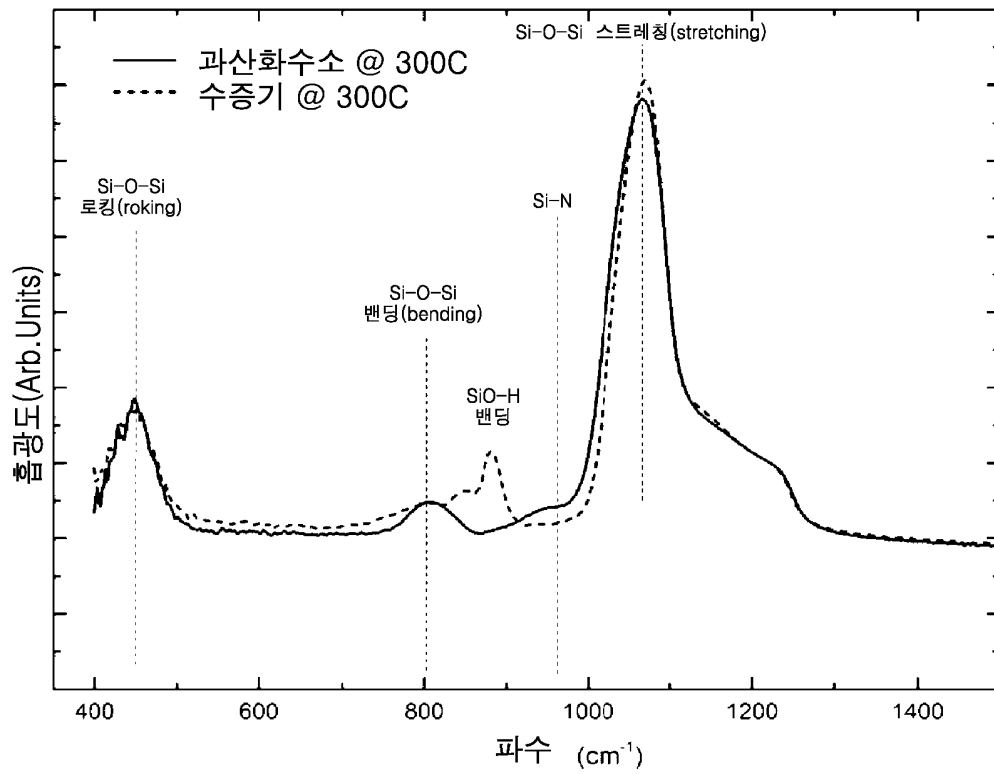
[0048] 일부 다른 실시 예들에서, 낮은 증착된 산소 농도를 가진 유동성 유전체 필름들을 사용함으로써, 그리고/또는

상기 유동성 유전체 필름들을 포함하는 반도체 기판들을 상기 공정 챔버 내로 로딩하는 동안, 그리고 가열하는 동안 산소를 제공함으로써, 그리고/또는 상기 큐어링 압력 미만의 압력에 상기 반도체 기판들을 노출시키는 것을 방지함으로써, 고품질의 필름을 제공하면서, 상기 과산화수소 큐어링 시간이 감소될 수 있다. 일부 실시 예들에서, 상기 큐어링 시간은 약 4시간, 약 3시간 이하 또는 약 2 시간 이하일 수 있다. 일부 실시 예들에서, 이러한 큐어링 시간들은 약  $2.075 \text{ g/cm}^3$  이상 또는 약  $2.10 \text{ g/cm}^3$  이상의 필름 밀도를 제공할 수 있다.

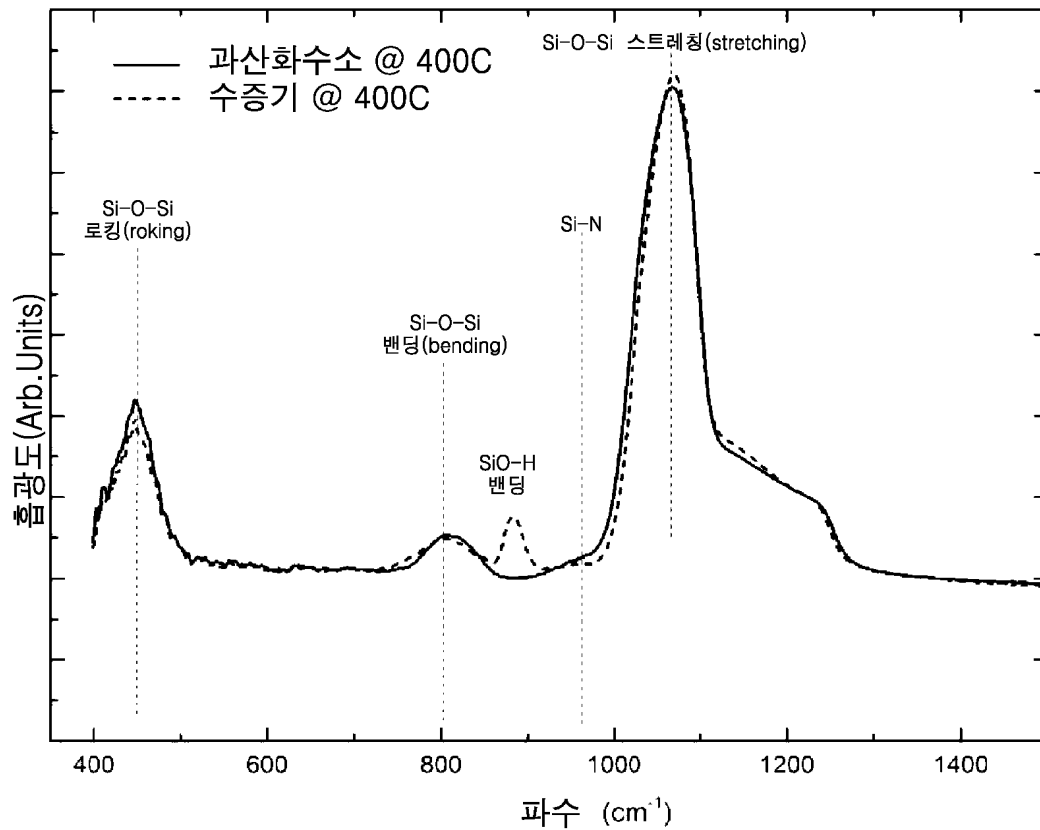
- [0049] 일부 실시 예들에서, 수소는 상기 큐어에 추가되어, 상기 유동성 유전체 물질로부터 상기 탄소 및 질소를 제거하는 것을 개선할 수 있다.
- [0050] 일부 실시 예들에서, 질소는, 과산화수소로의 노출 중에, 상기 공정 챔버에 추가되지 않거나, 일부의 경우에, 질소는 상기 큐어링 공정 중 임의의 부분에서 존재하지 않는다. 질소 기체는 아르곤과 같은 다른 비활성 기체에 의해, 또는 산소, 수증기 또는 오존과 같은 산화 기체에 의해 대체될 수 있다. 질소 기체가 산화 기체에 의해 대체되는 실시 예에서, 과산화수소를 위한 운반 기체(carrier gas)는 상기 산화 기체에 의해 대체된다.
- [0051] 유리하게는, 본원에 개시된 실시 예들은 유동성 유전체 물질들을 큐어하는 것에 적용될 수 있지만, 또한 본원에 개시된 상기 큐어링 공정은, 다른 다양한 물질들에 산소를 공급하는 것에 적용될 수도 있다. 예를 들어, 상기 큐어링 공정은 실리콘, 게르마늄 또는 III-V 반도체의 산화를 위해 적용될 수 있으며, 또는 저-품질 이산화규소 필름들과 같은 저-품질 필름들의 큐어링을 위해 적용될 수 있다.
- [0052] 일부 실시 예들에서, 상기 큐어링 공정은 실리콘 물질, 게르마늄 물질 또는 III-V 반도체 물질을 증착하기 위한 공정과 함께 적용될 수 있다. 예를 들어, 상기 큐어링 공정은 순환적 방식으로, 상기 증착에 통합될 수 있다: 얇은 필름(예를 들어, 1Å 부터 10Å 두께의 범위)의 증착 후에, 상기 큐어링 공정은 상대적으로 낮은 온도에서 상기 증착된 필름을 산화시키는데에 적용될 수 있고, 상기 증착 및 큐어링 단계들은 원하는 두께의 산화 필름이 형성될 때까지 반복될 수 있다. 예를 들어, 5Å 두께의 필름은 실리콘 전구체로서 트리실란( $\text{Si}_3\text{H}_8$ )을 사용하여 390°C에서 증착될 수 있고, 상기 필름은, 예를 들어 200°C에서 400°C까지 범위의 온도에서, 예를 들어 0.5시간 내지 6시간의 기간동안, 과산화수소로의 노출에 의해 산화될 수 있다. 상기 온도 범위 중 낮은 부분(200°C 내지 300°C)에서, 산화율은 수증기에서의 산화율보다 더 높다는 것이 발견되었다. 실리콘의 산화율은 비교적 낮을 수 있음에도 불구하고, Ge 및 II-V 반도체들의 산화율은 더 높으며, 산화를 위해 과산화수소를 사용하는, 개시된 큐어링 공정은 상대적으로 낮은 온도에서 상대적으로 높은 질의 산화물을 형성하는 이점을 가진다. 이러한 낮은 온도에서의 산화물 형성은, 게르마늄 및 III-V 산화물들과 같은, 상대적으로 낮은 열적 안정성(thermal stability)을 가진 산화물들이 있는 물질들에게 상당한 이점을 제공한다.
- [0053] 일부 실시 예들에서,  $\text{H}_2\text{O}_2$ 로의 기판들의 노출은 제 1 온도에서 수행되며, 제 1 온도보다 높은 제 2 온도에서 비활성 기체 내 열처리로 이어진다. 예를 들어, 상기 제 1 온도는 500°C 이하일 수 있고, 상기 제 2 온도는 500°C 보다 높을 수 있다.
- [0054] 따라서 본 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서, 상술된 공정들 및 구조들에 대해 다양한 생략들, 부가들 및 변형들이 이루어질 수 있음을 인식할 수 있을 것이다. 본 실시 예들의 구체적인 특징들 및 양상들의 다양한 결합들 또는 서브-결합들이 이루어질 수 있고, 여전히 본 명세서의 범위 내인 점이 고려된다. 개시된 실시 예들의 다양한 특징들 및 양상들은 적절하게 서로 결합될 수 있고, 또는 대체될 수 있다. 이러한 모든 변형들 및 변화들은 첨부된 청구항들에 의해 정의된 바와 같이, 본 발명의 범위 내인 것으로 의도된다.

도면

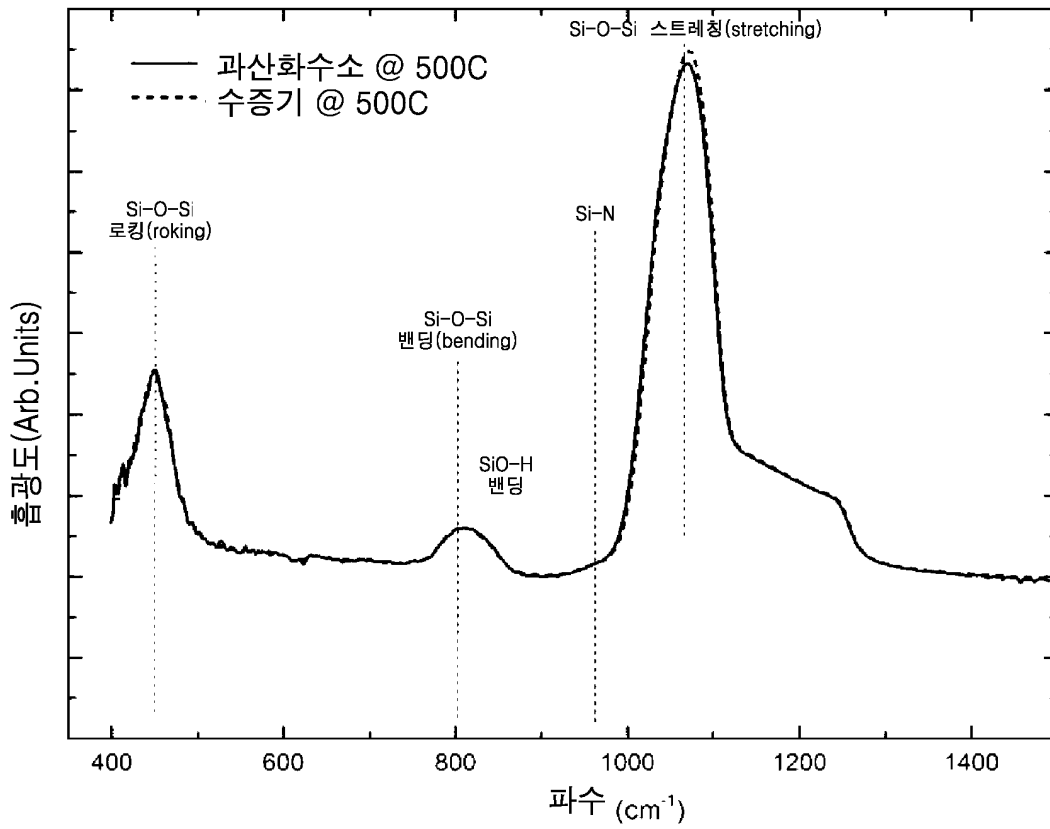
도면1



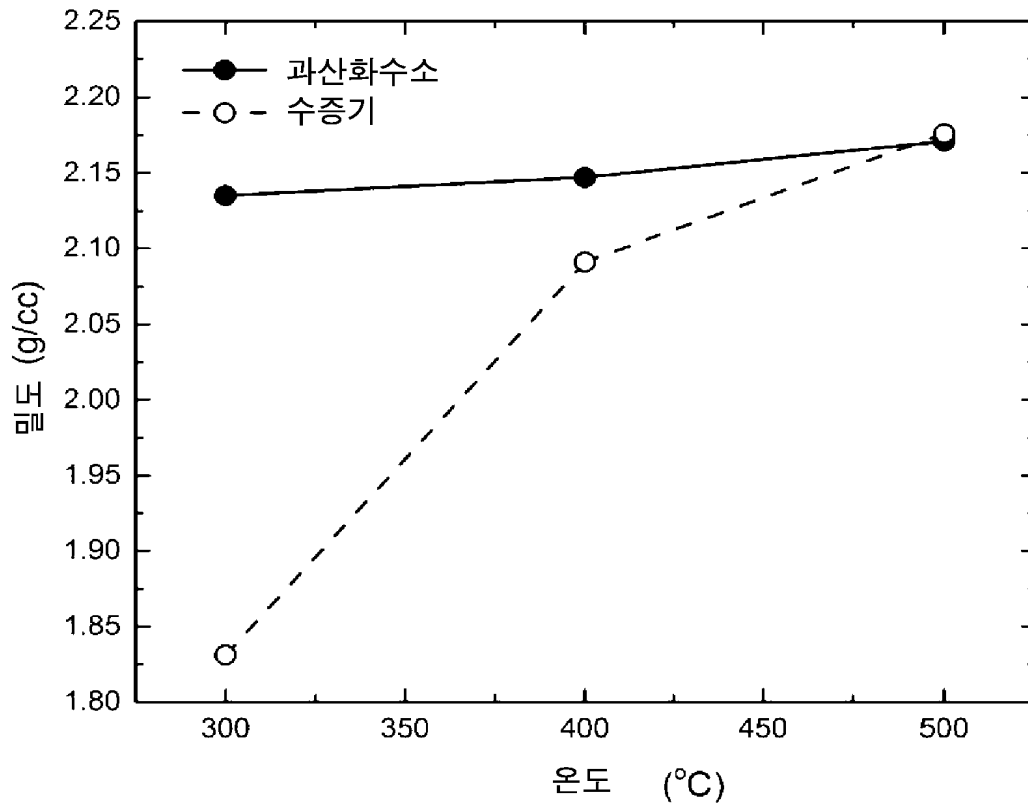
도면2



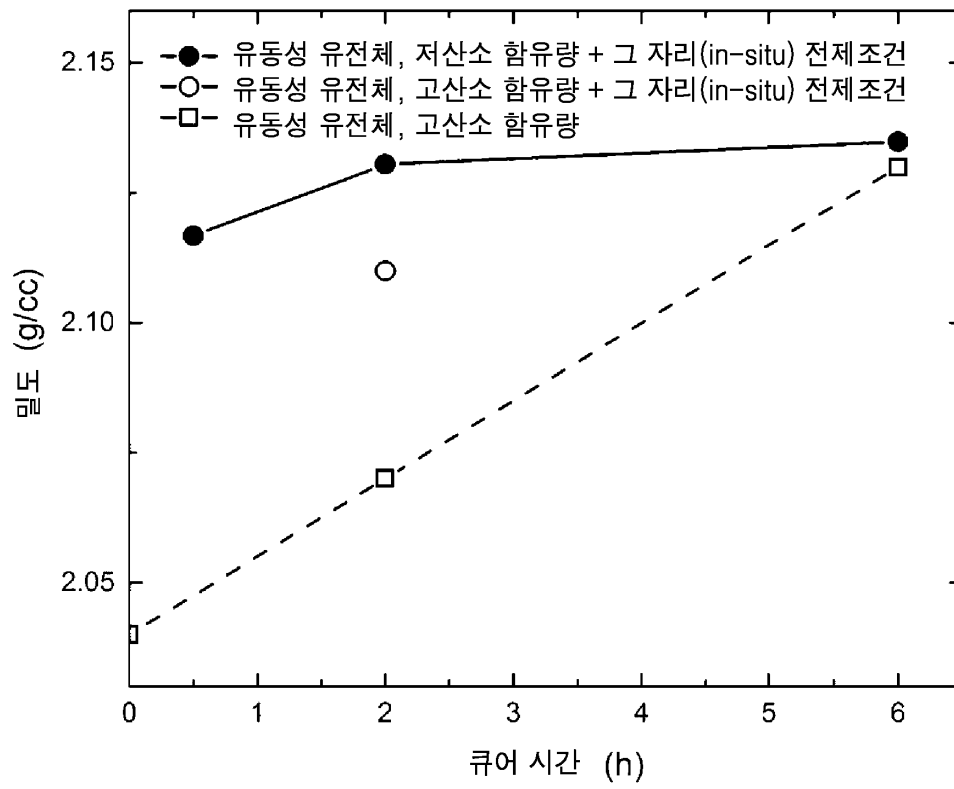
도면3



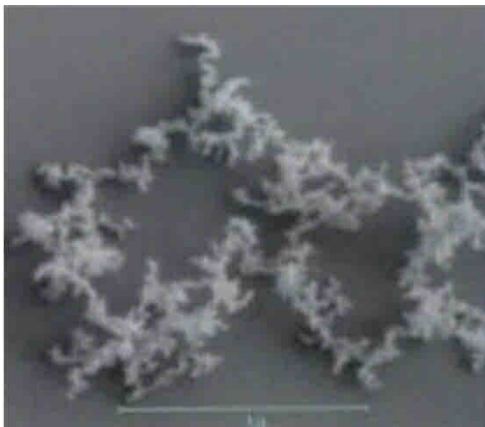
도면4



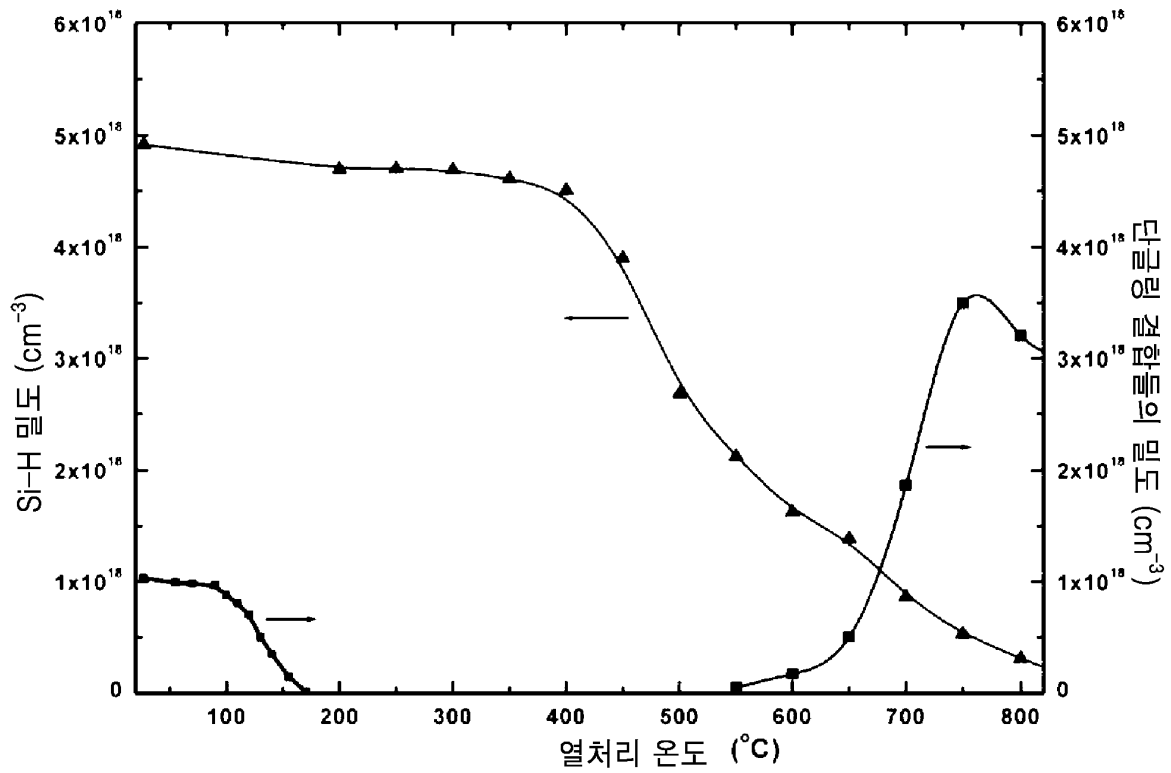
도면5



도면6



도면7



도면8

