



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0037468  
(43) 공개일자 2009년04월15일

- |  |  |
|--|--|
| <p>(51) Int. Cl.<br/>H01L 21/20 (2006.01) H01L 21/8234 (2006.01)<br/>H01L 21/4763 (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2009-7002917</p> <p>(22) 출원일자 2009년02월12일<br/>심사청구일자 없음<br/>번역문제출일자 2009년02월12일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/US2007/017193<br/>국제출원일자 2007년07월31일</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2008/016650<br/>국제공개일자 2008년02월07일</p> <p>(30) 우선권주장<br/>60/834,773 2006년07월31일 미국(US)</p> | <p>(71) 출원인<br/>어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드<br/>미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050</p> <p>(72) 발명자<br/>김, 이환<br/>미국 95035 캘리포니아 밀피타스 해브리 플레이스 825<br/>예, 지유안<br/>미국 95014 캘리포니아 쿠퍼티노 벨리 그린 드라이브 20990 아파트먼트 655<br/>조자지, 알리<br/>미국 95051 캘리포니아 산타 클라라 바토 스트리트 662</p> <p>(74) 대리인<br/>남상선</p> |
|--|--|

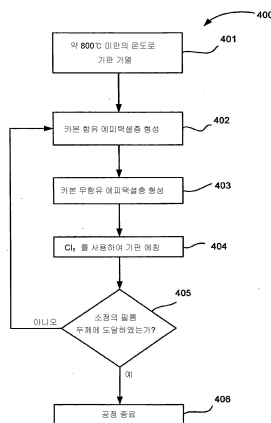
전체 청구항 수 : 총 21 항

**(54) 카본-함유 실리콘 에피택셜 층을 형성하는 방법**

**(57) 요약**

본 발명의 일면에 있어서, 기판 상에 에피택셜 층 스택을 형성하는 방법이 제공된다. 상기 방법은 (1) 상기 에피택셜 층 스택을 위한 목표 카본 농도를 선택하는 단계, (2) 상기 기판 상에 카본 함유 실리콘 층을 형성하는 단계로서, 상기 카본 함유 실리콘 층은 초기 카본 농도, 상기 선택된 목표 카본 농도에 근거하여 선택되는 두께 및 증착 시간 중에 적어도 하나를 가지는, 카본 함유 실리콘 층을 형성하는 단계, 및 (3) 에칭 이전에 상기 카본 함유 실리콘 층 상에 카본 무함유 실리콘 층을 형성하는 단계를 포함한다. 다수의 다른 일면들도 제공된다.

대표도 - 도4



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법으로서,  
상기 에피택셜 층 스택을 위한 목표 카본 농도를 선택하는 단계와,  
상기 선택된 목표 카본 농도에 기초하여 선택되는 초기 카본 농도, 두께 및 증착 시간 중의 하나 이상을 갖는 카본 함유 실리콘 층을 상기 기판 상에 형성하는 단계, 및  
카본 무함유 실리콘 층을 에칭 이전에 상기 카본 함유 실리콘 층 상에 형성하는 단계를 포함하는,  
에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,  
상기 목표 카본 농도는 약 200 ppm 내지 5 at% 범위인,  
에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,  
상기 초기 카본 농도는 약 0.5 at% 내지 10 at% 범위인,  
에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,  
상기 카본 함유 실리콘 층과 상기 기판 사이에 카본 무함유 에피택셜 층을 형성하는 단계를 더 포함하는,  
에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서,  
상기 에피택셜 층 스택은 약 10 Å 내지 약 2000 Å 범위의 두께를 가지는,  
에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,  
상기 초기 카본 농도는 상기 목표 카본 농도보다 크거나 같은,  
에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법.

### 청구항 7

제 1 항에 있어서,  
상기 카본 함유 실리콘 층 상에 상기 카본 무함유 실리콘 층을 형성한 후에 상기 에피택셜 층 스택을 에칭하는 단계를 더 포함하는,  
에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법.

### 청구항 8

제 7 항에 있어서,  
상기 에피택셜 층 스택을 에칭하는 단계는  $Cl_2$ 를 포함하는 에칭제 가스로 상기 에피택셜 층 스택을 에칭하는 단계를 포함하는,  
에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법.

**청구항 9**

제 7 항에 있어서,  
상기 카본 무함유 실리콘 층은 상기 에칭 가스와 상기 카본 함유 실리콘 층 사이에서 발생하는 반응을 방지하는 두께를 가지는,  
에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법.

**청구항 10**

제 1 항에 있어서,  
상기 카본 함유 실리콘 층과 상기 카본 무함유 실리콘 층 중의 하나 이상은 약 700 °C 또는 그 미만의 온도에서 수행되는,  
에피택셜 층 스택을 기판 상에 형성하는 방법.

**청구항 11**

에피택셜 층 스택을 형성하는 방법으로서,  
상기 에피택셜 층 스택을 위한 목표 카본 농도를 선택하는 단계, 및  
카본 함유 실리콘 층과 카본 무함유 실리콘 층을 교대로 증착함으로써 상기 에피택셜 층 스택을 형성하는 단계를 포함하며,  
상기 목표 카본 농도는 상기 카본 함유 실리콘 층을 위한 초기 두께, 초기 카본 농도, 및 증착 시간 중의 하나 이상에 기초하여 달성되는,  
에피택셜 층 스택을 형성하는 방법.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,  
상기 목표 카본 농도는 약 200 ppm 내지 5 at% 범위인,  
에피택셜 층 스택을 형성하는 방법.

**청구항 13**

제 11 항에 있어서,  
상기 초기 카본 농도는 약 0.5 at% 내지 10 at% 범위인,  
에피택셜 층 스택을 형성하는 방법.

**청구항 14**

제 11 항에 있어서,  
제 1 카본 함유 실리콘 층과 상기 기판 사이에 카본 무함유 에피택셜 층을 형성하는 단계를 더 포함하는,  
에피택셜 층 스택을 형성하는 방법.

**청구항 15**

제 11 항에 있어서,  
 상기 에피택셜 층 스택은 약 10 Å 내지 약 2000 Å 범위의 두께를 가지는,  
 에피택셜 층 스택을 형성하는 방법.

**청구항 16**

기관 상에 형성되는 에피택셜 층 스택 내의 카본 농도를 제어하는 방법으로서,  
 상기 에피택셜 층 스택을 위한 소정의 카본 농도를 결정하는 단계, 및  
 카본 함유 에피택셜 층을 상기 기관 상에 형성하고 카본 무함유 캡 층을 상기 카본 함유 에피택셜 층 상에 형성함으로써, 상기 에피택셜 층 스택을 형성하는 단계를 포함하며,  
 상기 카본 함유 에피택셜 층의 두께는 상기 에피택셜 층 스택을 위한 상기 소정의 카본 농도에 기초하여 선택되는,  
 기관 상에 형성되는 에피택셜 층 스택 내의 카본 농도를 제어하는 방법.

**청구항 17**

제 16 항에 있어서,  
 상기 카본 함유 에피택셜 층과 상기 기관 사이에 시드 에피택셜 층을 형성하는 단계를 더 포함하는,  
 기관 상에 형성되는 에피택셜 층 스택 내의 카본 농도를 제어하는 방법.

**청구항 18**

제 16 항에 있어서,  
 상기 목표 카본 농도는 약 200 ppm 내지 5 at% 범위인,  
 기관 상에 형성되는 에피택셜 층 스택 내의 카본 농도를 제어하는 방법.

**청구항 19**

제 16 항에 있어서,  
 상기 카본 함유 에피택셜 층은 약 2 Å 내지 약 100 Å 범위의 두께를 가지는,  
 기관 상에 형성되는 에피택셜 층 스택 내의 카본 농도를 제어하는 방법.

**청구항 20**

제 16 항에 있어서,  
 Cl<sub>2</sub>를 사용하여 상기 에피택셜 층 스택을 에칭하는 단계를 더 포함하는,  
 기관 상에 형성되는 에피택셜 층 스택 내의 카본 농도를 제어하는 방법.

**청구항 21**

제 16 항에 있어서,  
 추가의 교대하는 상기 에피택셜 층 스택을 위한 카본 함유 층과 카본 무함유 층을 형성하는 단계를 더 포함하는,  
 기관 상에 형성되는 에피택셜 층 스택 내의 카본 농도를 제어하는 방법.

**명세서**

**기술분야**

<1> 본 출원은 "카본-함유 실리콘 에피택셜 층을 형성하는 방법"이란 명칭으로 2006년 7월 31일자로 출원된 미국 가

출원 번호 60/834,773호(변호사 참조번호 10595/L)를 우선권으로 주장하며, 상기 가 출원의 전체 내용은 모든 목적을 위해 본 출원에 참조되었다.

<2> **관련 출원의 상호 참조**

<3> 본 출원은 다음의 공동 계류 중인 출원들에 관한 것이며, 이들 출원 각각은 본 출원에 전체 내용이 참조되었다.

<4> 2004년 12월 1일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 11/001,774호(참조 번호 9618), 및

<5> 2005년 9월 14일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 11/227,974호(참조 번호 9618/P01).

<6> 본 발명은 반도체 장치의 제조에 관한 것이며, 보다 구체적으로는 카본 함유 실리콘 에피택셜 층을 형성하는 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

<7> 보다 소형의 트랜지스터가 제조되면서, 매우 얇은 소오스/드레인 접합부(junction)를 생성하는데 더 많은 도전을 받게 되었다. 일반적으로, 서브-100 nm CMOS(보상형 금속 산화물 반도체) 장치는 접합부 깊이가 30 nm 미만이 될 것을 요구하고 있다. 선택적인 에피택셜 증착은 종종, 접합부의 내측에 실리콘 함유 재료(예를 들어, Si, SiGe 및 SiC)의 에피층(epilayers)을 형성하는데 사용된다. 일반적으로, 선택적인 에피택셜 증착은 유전체 영역 상에서는 성장하지 않고 실리콘 모트(moat) 상에서 에피층의 성장을 가능하게 한다. 선택적인 에피택시 는 상승된 소오스/드레인, 소오스/드레인 연장부, 쌍극 장치의 컨택 플러그 또는 베이스 층 증착물과 같은 반도체 장치 내에 사용될 수 있다.

<8> 일반적으로, 선택적인 에피택셜 공정은 증착 반응 및 에칭 반응을 포함한다. 증착 및 에칭 반응은 에피택셜 층과 다결정질 층에 대해 상당히 상이한 반응 비율로 동시에 발생한다. 증착 공정 중에, 에피택셜 층은 다결정질 층이 존재하는 다결정질 층 및/또는 비정질 층과 같은 적어도 제 2 층 상에 증착되는 동안에 단결정질 표면 상에 형성된다. 그러나, 증착된 다결정질 층은 일반적으로 에피택셜 층보다 더 빠른 비율로 에칭된다. 그러므로, 에칭제 가스의 농도를 변화시킴으로써 순수 선택적인 공정은 에피택셜 재료의 증착과 다결정질 재료의 증착을 제한하거나 증착되지 못하게 한다. 예를 들어, 선택적인 에피택셜 공정은 증착이 스페이서 상에 남지 않는 동안에 단결정질 실리콘 표면 상에 실리콘 함유 재료의 에피층의 형성을 초래한다.

<9> 실리콘 함유 재료의 선택적인 에피택시 증착은 예를 들어, 실리콘 함유 MOSFET(금속 산화물 반도체 전계 효과 트랜지스터) 장치의 형성 중에, 상승된 소오스/드레인 및 소오스/드레인 연장부 피처를 형성하는데 유용한 기술이었다. 소오스/드레인 연장부 피처는 오목한 소오스/드레인 피처를 형성하기 위해 실리콘 표면을 에칭하고 나서 실리콘 게르마늄(SiGe) 재료와 같은 선택적으로 성장되는 에피층으로 에칭된 표면을 충전시킴으로써 제조된다. 선택적인 에피택시는 인-시튜 도핑에 의해 거의 완전한 도펀트 활성화를 가능하게 하여, 후처리 어닐링 공정을 생략할 수 있게 한다. 그러므로, 접합부 깊이는 실리콘 에칭과 선택적인 에피택시에 의해 정확히 한정될 수 있다. 다른 한편으로, 매우 얇은 소오스/드레인 접합부는 불가피하게, 증가된 직렬 저항을 초래한다. 또한, 실리콘 형성 중의 접합부 소모(consumption)는 직렬 저항을 훨씬 더 증가시킨다. 접합부 소모를 보상하기 위해, 상승된 소오스/드레인이 접합 상에 에피택셜하고 선택적으로 성장된다. 통상적으로, 상승된 소오스/드레인 층은 인도프된 실리콘이다.

<10> 그러나, 현재의 선택적인 에피택시 공정은 몇몇 단점들을 가진다. 현재의 에피택시 공정 중에 선택도를 유지하기 위해, 전구체의 화학적 농도뿐만 아니라 반응 온도가 증착 공정 전체에 걸쳐서 조정되고 조절되어야 한다. 실리콘 전구체가 충분히 관리되지 않으면, 에칭 반응이 우세해져서 전체 공정이 늦어진다. 또한, 기관 피처의 유해한 오버 에칭이 발생할 수 있다. 에칭제 전구체가 충분히 관리되지 않으면, 증착 반응이 우세해질 수 있어서 기관 표면 전체에 단결정질과 다결정질 재료를 형성하기 위한 선택도를 감소시킨다. 또한, 현재의 선택적인 에피택시 공정은 일반적으로, 약 800 °C, 1000 °C 또는 그 이상과 같은 높은 반응 온도를 필요로 한다. 그러한 높은 온도는 제조 공정 중에 바람직하지 않은데, 그 이유는 열적 영향에 대한 사항과 기관 표면에 대한 잠재적인 비제어 질화 반응 때문이다. 또한, 몇몇 에피택셜 필름 및/또는 공정은 필름 내의 표면 거칠기 또는 피팅(pitting)과 같은 형태상의 결함을 가지기 쉽다.

<11> 그러므로, 실리콘과 실리콘 함유 화합물을 선택적이고 에피택셜하게 증착하기 위한 공정을 가질 필요가 있다. 또한, 상기 공정은 빠른 증착률을 가지며 약 800 °C 또는 그 미만과 같은 공정 온도를 유지하면서, 가변적인 원소 농도를 갖는 실리콘 함유 화합물을 형성하는데 우수해야 한다. 결론적으로, 상기 공정은 (예를 들어, 적은 피팅, 전위, 거칠기, 점 결함 등) 낮은 결함의 필름 또는 필름 스택을 초래해야 한다.

**발명의 상세한 설명**

- <12> 본 발명의 일면에 있어서, 기판 상에 에피택셜 층 스택을 형성하는 방법이 제공된다. 상기 방법은 (1) 상기 에피택셜 층 스택을 위한 목표 카본 농도를 선택하는 단계, (2) 상기 기판 상에 카본 함유 실리콘 층을 형성하는 단계로서, 상기 카본 함유 실리콘 층은 초기 카본 농도, 상기 선택된 목표 카본 농도에 근거하여 선택되는 두께 및 증착 시간 중에 적어도 하나를 가지는, 카본 함유 실리콘 층을 형성하는 단계, 및 (3) 에칭 이전에 상기 카본 함유 실리콘 층 상에 카본 무함유 실리콘 층을 형성하는 단계를 포함한다.
- <13> 본 발명의 다른 일면에 있어서, 에피택셜 층 스택을 형성하는 방법이 제공된다. 상기 방법은 (1) 상기 에피택셜 층 스택을 위한 목표 카본 농도를 선택하는 단계, 및 (2) 카본 함유 실리콘 층과 카본 무함유 실리콘 층을 교대로 증착함으로써 상기 에피택셜 층 스택을 형성하는 단계를 포함한다. 목표 카본 농도는 전체 두께, 초기 카본 농도, 및 카본 함유 실리콘 층을 위한 증착 시간 중의 적어도 하나에 기초하여 달성된다.
- <14> 본 발명의 또 다른 일면에 있어서, 기판 상에 형성된 에피택셜 층 스택 내의 카본 농도를 제어하는 방법이 제공된다. 상기 방법은 (1) 상기 에피택셜 층 스택을 위한 소정의 카본 농도를 결정하는 단계, 및 (2) 상기 기판 상에 카본 함유 에피택셜 층을 형성하고 상기 카본 함유 에피택셜 층 상에 카본 무함유 캡 층을 형성함으로써, 상기 에피택셜 층 스택을 형성하는 단계를 포함한다. 카본 함유 에피택셜 층의 두께는 에피택셜 층 스택을 위한 소정의 카본 농도에 기초하여 선택된다. 다른 다른 일면들도 제공된다.
- <15> 본 발명의 다른 특징들과 일면들은 다음 상세한 설명, 청구의 범위 및 첨부 도면으로부터 보다 더 명확해질 것이다.

**실시 예**

- <20> 유전체 필름으로 패터화된 실리콘 기판 상에서의 선택적인 에피택셜 성장 공정 중에, 단결정 반도체의 형성은 (예를 들어, 유전체 표면 상에서가 아닌) 노출된 실리콘 표면 상에서만 발생한다. 선택적인 에피택셜 성장 공정은 동시 에칭-증착 공정뿐만 아니라 교대식 가스 공급 공정을 포함한다. 동시 에칭-증착 공정에서, 에칭제 종과 증착 종은 모두 동시에 유동된다. 그와 같이, 에피택셜 층은 에피택셜 층의 형성 중에 동시에 증착 및 에칭된다.
- <21> 대조적으로, 2004년 12월 1일자로 출원되어 이전에 실시된 미국 특허 출원 번호 11/001,774호에는 기판 상에 에피택셜 층을 형성하기 위한 교대식 가스 공급(AGS) 공정을 설명하고 있다. AGS 공정 중에, 에피택셜 증착 공정이 기판 상에 수행되고나서, 에칭 공정이 기판 상에 수행된다. 에칭 공정이 뒤따르는 에피택셜 증착 공정의 사이클은 소정 두께의 에피택셜 층이 형성될 때까지 반복된다.
- <22> 증착 공정은 적어도 실리콘 소오스와 캐리어 가스를 포함하는 증착 가스에 기판 표면을 노출시키는 단계를 포함할 수 있다. 증착 가스는 또한, 게르마늄 소오스 및/또는 카본 소오스뿐만 아니라 도펀트 소오스를 포함할 수 있다. 일반적인 도펀트에는 비소, 붕소, 인, 안티몬, 갈륨, 알루미늄 및 다른 원소들이 포함될 수 있다.
- <23> 증착 공정 중에, 에피택셜 층은 기판의 단결정질 표면 상에 형성되는 반면에 다결정질 층은 비정질 및/또는 다결정질 표면과 같은 2차 표면 상에 형성된다. 계속해서, 기판은 에칭 가스에 노출된다. 에칭 가스는 캐리어 가스와 에칭제를 포함한다. 에칭 가스는 증착 공정 중에 증착된 실리콘 함유 재료를 제거한다. 에칭 공정 중에, 다결정질 층이 에피택셜 층 보다 더 빠른 비율로 제거된다. 그러므로, 증착과 에칭 공정의 순수한 결과로써 2차 표면 상에 있다면, 다결정질 실리콘 함유 재료의 성장을 최소화하면서 단결정질 표면 상에 에피택셜 성장된 실리콘 함유 재료를 형성한다. 증착될 수 있는 예시적인 실리콘 함유 재료에는 실리콘, 실리콘 게르마늄, 실리콘 카본, 실리콘 게르마늄 카본, 이들의 도펀트 변형물 등이 포함된다.
- <24> 종래의 실리콘 에피택셜 필름 형성 공정에서는 수소(H<sub>2</sub>), 수소 염화물(HCl), 및 디클로로실란과 같은 실리콘 소오스를 사용하며 (예를 들어, HCl 및/또는 실리콘 소오스를 해리하도록) 약 700 °C 이상의 기판 온도에서 수행된다. 에피택셜 필름 형성 온도를 감소시키기 위한 하나의 방법은 HCl 대신에 염화물(Cl<sub>2</sub>)을 사용하는 것인데, 이는 Cl<sub>2</sub>이 저온(예를 들어 약 600 °C 또는 그 미만)에서 효율적으로 해리되기 때문이다. 수소와 Cl<sub>2</sub> 사이의 불친화성으로 인해, 질소와 같은 수소 이외의 캐리어 가스가 Cl<sub>2</sub>와 함께 사용될 수 있다. 유사하게, 낮은 해리 온도를 갖는 실리콘 소오스(예를 들어, 실란(SiH<sub>4</sub>), 디실란(Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 등)가 사용될 수 있다.
- <25> 실리콘 에피택셜 필름 형성 공정을 위한 에칭제 가스로서 Cl<sub>2</sub>의 사용은 결과적인 실리콘 에피택셜 필름의 나쁜



표면 형상을 초래할 수 있다. 어떤 특정 이론에 구애받길 원하지 않지만, Cl<sub>2</sub>이 실리콘 에피택셜 필름 표면을 과도하게 적극적으로 침식시켜 피팅 등을 생성한다고 여겨진다. Cl<sub>2</sub>의 사용으로 실리콘 에피택셜 필름이 카본을 함유할 때 특히 문제가 됨을 발견했다.

- <26> 본 발명은 에피택셜 필름의 표면 형상을 개선할 수 있는 실리콘 에피택셜 필름 형성 공정 중에 에칭제 가스로서 Cl<sub>2</sub>를 사용하는 방법을 제공한다. 본 발명의 방법은 예를 들어, 2004년 12월 1일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 11/001,774호(참조번호 9618)에 설명된 교대식 가스 공급(AGS) 공정과 함께 사용될 수 있다.
- <27> 몇몇 실시예에서, 임의의 카본 함유 실리콘 에피택셜 필름이 에칭 단계 중에 Cl<sub>2</sub>에 노출되기 이전에 "캡슐화"될 수 있다. 카본 함유 실리콘 에피택셜 필름은 예를 들어, 카본 소오스없이 형성되는 실리콘 에피택셜 필름(카본 무함유 실리콘 에피택셜 필름)을 통해 캡슐화될 수 있다.
- <28> 일 예로서, 본 발명에 따른 카본 함유 실리콘 에피택셜 층 스택의 형성과 AGS 공정의 사용은 도 1a 내지 도 1d 를 참조하여 이후에 설명된다. 도 1a를 참조하면, 기관(100) 상에 형성된 시드 에피택셜 층(102)(예를 들어, 실리콘(Si) 에피택셜 층)을 갖는 기관(100)의 횡단면도가 도시되어 있다. 몇몇 실시예에서, 시드 에피택셜 층(102)은 제거될 수 있다.
- <29> 시드 에피택셜 층(102)을 형성하기 위해, 기관(100)이 처리 챔버 내에 놓일 수 있으며, 소정의 기관 및/또는 처리 온도로 가열될 수 있다. 예시적인 에피택셜 필름 챔버는 미국 산타 클라라 소재의 어플라이드 머티리얼즈 인코포레이드로부터 이용가능한 Epi Centura(등록상표) 시스템 및 Poly Gen(등록상표) 시스템이지만, 다른 에피택셜 필름 챔버 및/또는 시스템도 사용될 수 있다. 본 발명의 적어도 하나의 실시예에서, 약 700 °C 미만의 기관 및/또는 처리 온도가 처리 챔버 내에서 형성된 임의의 실리콘 에피택셜 층 내에 카본 결합을 개선하도록 사용될 수 있다. 특정 실시예에서, 약 550 °C 내지 650 °C 범위의 기관 및/또는 처리 온도 범위가 사용될 수 있으며, 다른 실시예에서 약 600 °C 미만의 기관 및/또는 처리 온도가 사용될 수 있다. 700 °C 이상의 기관 및/또는 처리 온도를 포함하는 다른 기관 및/또는 처리 온도가 사용될 수 있다.
- <30> 소정의 기관 및/또는 처리 온도에 도달된 이후에, 기관(100)은 시드 에피택셜 층(102)을 형성하도록 (카본 소오스없이)적어도 실리콘 소오스에 노출된다. 예를 들어, 기관(100)은 실란 또는 디실란과 같은 실리콘 소오스, 및 질소와 같은 캐리어 가스에 노출될 수 있다. 인 또는 붕소와 같은 도펀트 소오스, 게르마늄 소오스 등도 (임의의 다른 적합한 소오스 및/또는 가스가 사용될 수 있듯이)사용될 수 있다. 에피택셜 필름 형성 공정 중에, 에피택셜 층(102)이 기관(100)의 임의의 단결정질 표면 상에 형성될 수 있으며 다결정질 층은 (전술한 바와 같이)기관(100) 상에 존재하는 임의의 비정질 층 및/또는 임의의 다결정질 층 상에 형성될 수 있다.
- <31> 시드 에피택셜 층(102)은 예를 들어, 실란인 실리콘 소오스를 약 50 내지 150 sccm의 유동률(또는 디실란의 경우에는 약 10 내지 40 sccm의 유동률)로 유동시키고 질소 캐리어 가스를 약 20 내지 25 slm의 유동률로 유동시킴으로써 형성될 수 있다(그러나 다소간의 실리콘 소오스 및/또는 캐리어 가스 유동률도 사용될 수 있다). 바람직하다면 HCl도 유동될 수 있다.
- <32> 적어도 하나의 실시예에서, 시드 에피택셜 층(102)은 약 2 Å 내지 약 100 Å의 두께를 가질 수 있지만, 다른 두께도 사용될 수 있다. 예를 들어, 약 1 초 내지 약 100 초 범위의 증착 시간과 다른 하나 또는 그 이상의 실시예에서는 약 5초의 증착 시간이 사용될 수 있다.
- <33> 시드 에피택셜 층(102)이 형성된 이후에(적어도 사용되었다면) 기관(100)은 기관(100)과 시드 에피택셜 층(102) 상에 카본 함유 실리콘 에피택셜 층(104)을 형성하도록(도 1b) 적어도 실리콘 소오스 및 카본 소오스에 노출된다. 예를 들어, 기관(100)은 실란 또는 디실란과 같은 실리콘 소오스, 메탄과 같은 카본 소오스, 및 질소와 같은 캐리어 가스에 노출될 수 있다. 인 또는 붕소와 같은 도펀트 소오스, 게르마늄 소오스 등도 (임의의 다른 적합한 소오스 및/또는 가스가 사용될 수 있듯이)사용될 수 있다. 에피택셜 필름 형성 공정 중에, 카본 함유 에피택셜 층이 기관(100)의 임의의 단결정질 표면 상에 형성될 수 있으며 다결정질 층이 (전술한 바와 같이)기관(100) 상에 존재하는 임의의 비결정질 층 및/또는 임의의 다결정질 층 상에 형성될 수 있다.
- <34> 적어도 하나의 실시예에서, 대략 1 내지 5 sccm의 유동률을 갖는 메탄인 카본 소오스가 (다소간의 실리콘 소오스 및/또는 캐리어 가스 유동률이 사용될 수 있지만)약 50 내지 150 sccm의 유동률을 갖는 실란(또는 약 10 내지 40 sccm의 유동률을 갖는 디실란)인 실리콘 소오스 및 약 20 내지 25 slm의 유동률을 갖는 질소 캐리어 가스와 함께 사용될 수 있다. 바람직하다면 HCl도 유동될 수 있다.
- <35> 카본 함유 에피택셜 층(104)은 예를 들어, 약 2 Å 내지 약 100 Å의 두께를 가질 수 있지만, 다른 두께도 사용

될 수 있다. 예를 들어, 약 1 초 내지 약 50 초 범위의 증착 시간과, 하나 또는 그 이상의 실시예에서는 약 10 초의 증착 시간이 사용될 수 있다.

- <36> 카본 함유 실리콘 에피택셜 층(104)이 형성된 이후에, 기판(100)은 기판(100)과 카본 함유 실리콘 에피택셜 층(104) 상에 제 2 실리콘 에피택셜 층(106)(예를 들어, 도 1c에 도시한 바와 같은 캡 층)을 형성하도록 (카본 소오스 없이)적어도 실리콘 소오스에 노출된다. 예를 들어, 기판(100)은 실란 또는 디실란과 같은 실리콘 소오스 및 질소와 같은 캐리어 가스에 노출될 수 있다. 인 또는 붕소와 같은 도펀트 소오스, 게르마늄 소오스 등도 사용될 수 있다(임의의 다른 적합한 소오스 및/또는 가스도 사용될 수 있다). 카본 함유 실리콘 에피택셜 층(104) 위의 제 2 실리콘 에피택셜 층(106)의 존재로 카본 함유 실리콘 에피택셜 층(104) 내의 카본과 염화물의 상호작용을 감소시킬 수 있다. 전술한 바와 같이 HCl도 유동될 수 있다.
- <37> 제 2 실리콘 에피택셜 층(106)은 예를 들어, 실란인 실리콘 소오스를 약 50 내지 150 sccm의 유동률(또는 디실란의 경우에는 약 10 내지 40 sccm의 유동률)로 유동시키고 질소 캐리어 가스를 약 20 내지 25 slm의 유동률로 유동시킴으로써 형성될 수 있다(그러나 다소간의 실리콘 소오스 및/또는 캐리어 가스 유동률도 사용될 수 있다). 바람직하다면 HCl도 유동될 수 있다.
- <38> 적어도 하나의 실시예에서, 제 2 실리콘 에피택셜 층(106)은 약 2 Å 내지 약 100 Å의 두께를 가질 수 있지만, 다른 두께도 사용될 수 있다. 예를 들어, 약 1 초 내지 약 100 초 범위의 증착 시간과 다른 하나 또는 그 이상의 실시예에서는 약 5초의 증착 시간이 사용될 수 있다.
- <39> 그에 따라 카본 함유 에피택셜 층(104)이 카본 무함유 에피택셜 층(102,106)들(예를 들어, 의도적인 카본 소오스 없이 형성되는 에피택셜 층들) 사이에 캡슐화된 에피택셜 층 스택(108)이 형성된다.
- <40> 제 2 실리콘 에피택셜 층(106)의 형성 후에, 기판(100)은 적어도 제 2 실리콘 에피택셜 층(106) 및/또는 기판(100) 상에 형성되는 다른 필름(예를 들어, 기판(100) 상에 존재하는 다결정질 및/또는 비정질 층들 상에 형성되는 다결정질 실리콘 및/또는 카본 함유 실리콘 에피택셜 층(104) 상에 형성되는 단결정질 실리콘)을 에칭하도록 Cl<sub>2</sub> 및/또는 다른 에칭제에 노출될 수 있다. 예를 들어, 적어도 하나의 실시예에서 기판(100)은 약 30 내지 50 sccm 유동률의 Cl<sub>2</sub>과 20 slm 유동률의 질소 캐리어 가스에 노출될 수 있다( 다소간의 Cl<sub>2</sub> 및/또는 질소 캐리어 가스 유동률도 사용될 수 있다). HCl도 유동될 수 있다.
- <41> 에칭 이후에, 사용될 처리 챔버는 챔버로부터 Cl<sub>2</sub> 및/또는 임의의 다른 원하지 않는 종/부산물을 제거하도록 (예를 들어, 약 20 초 동안 또는 몇몇 다른 적합한 시간 주기 동안에 질소 및/또는 다른 불활성 가스에 의해)세정될 수 있다.
- <42> 캡 에피택셜 층(106) 및/또는 시드 층(102)은 카본 함유 에피택셜 층(104) 내의 카본과 에칭제 사이에서 발생하는 반응을 방지한다. 그와 같이, Cl<sub>2</sub>는 하부 카본 함유 층이 에칭 중에 Cl<sub>2</sub>에 노출되지 않기 때문에 에칭제로서 사용될 수 있다. 따라서, 카본 함유 에피택셜 층(102)은 피팅 표면 형상이 아닌 오히려 부드러운 표면 형상을 가질 것이다.
- <43> 증착 및 에칭 시퀀스는 소정의 전체 에피택셜 층 스택 두께가 예를 들어, 도 1d에 도시된 바와 같이 달성될 때까지 반복될 수 있다. 예를 들어, 카본 무함유 실리콘 층 증착/카본 함유 실리콘 층 증착/카본 무함유 실리콘 층 증착/에칭의 시퀀스는 약 600 Å의 전체 에피택셜 층 스택 두께를 생성하기 위해 약 80번 반복될 수 있다. 다른 실시예에서, 하부 시드 층의 증착이 제거되어서, 형성 시퀀스는 소정의 전체 에피택셜 층 스택 두께를 생성하기 위해 다수 회 반복되는 카본 함유 실리콘 층 증착/카본 무함유 실리콘 층 증착/에칭이 될 수 있다.
- <44> 전술한 예들이 특정 실시예들을 설명하였지만, 일반적으로 (카본 함유 에피택셜 층과 카본 무함유 에피택셜 층을 포함하는)에피택셜 층 스택은 약 10 Å 내지 약 2000 Å, 바람직하게 약 100 Å 내지 약 1500 Å, 더 바람직하게 약 300 Å 내지 약 1000 Å 범위의 두께를 가질 수 있다. 하나의 특정 실시예에서, 약 600 Å의 층 스택이 사용될 수 있다.
- <45> (1) 카본 무함유 에피택셜 재료에 대한 캡슐화된 카본 함유 에피택셜 층의 필름 두께, 및 (2) 카본 함유 에피택셜 층 내의 카본 농도를 제어함으로써, 최종 에피택셜 층 스택의 평균 카본 농도가 제어 및/또는 결정될 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예에서 카본 함유 에피택셜 층 내의 카본은 카본이 카본 함유 에피택셜 층 형성 단계 중에만 증착되더라도 스택 층(예를 들어, 시드 층, 카본 함유 층 및 캡 층)의 깊이를 따라 신속하고 균일하게 확산될 것이다.



- <46> 도 2는 (도 1c와 같은)본 발명에 따라 형성되는 카본 무함유 시드 에피택셜 층, 카본 함유 에피택셜 층 및 카본 무함유 캡 에피택셜 층으로 구성되는 스택 층들 전체 걸친 카본 농도를 설명하는 그래프(200)이다. 도 2에서 볼 수 있는 바와 같이, 라인(202)으로 일반적으로 나타낸 카본의 농도는 스택 층의 깊이 전체에 걸쳐서 균일하게 분포된다(여기서, X-축은 스택 층의 깊이를 나타내며 Y-축은 스택 층 전체의 카본 분포를 나타낸다). 그와 같이, 본 발명의 몇몇 실시예에 따라 스택 층 내의 카본 농도는 카본 함유 층의 상대 두께 및/또는 시드 및/또는 캡 층의 상대 두께뿐만 아니라, 카본 함유 층 내의 초기 카본 농도를 제어함으로써 제어될 수 있다.
- <47> 몇몇 실시예에서, 최종 카본 농도는 탄소 무함유 에피택셜 층에 대한 카본 함유 에피택셜 층의 상대 두께로부터 추정될 수 있다. 예를 들어, 도 3은 시드 층과 캡 층의 일정한 증착 시간에 대한 카본 함유 에피택셜 층의 증착 시간과 관련된 치환형 카본(SC) 농도의 관련성을 나타내는 그래프(300)이다(예를 들어, 도 1c). 도 3의 라인(302)을 참조하여 알 수 있는 바와 같이, 스택 층 내의 카본의 농도는 카본 함유 에피택셜 층의 증착 시간에 비례한다. 이와 같이, 본 발명의 몇몇 실시예에 따라서 시드 층/카본 함유 층/캡 층 스택 또는 "샌드위치" 내의 카본 농도는 카본 함유 에피택셜 층의 증착 시간을 제어함으로써 제어될 수 있다.
- <48> 하나 또는 그 이상의 실시예에서, 에피택셜 층 스택의 목표 카본 농도는 약 200 ppm 내지 약 5 원자%(at%), 바람직하게 약 0.5 at% 내지 약 2 at%, 예를 들어 약 1.5 at%일 수 있다. 다른 목표 농도가 사용될 수 있다. 몇몇 실시예에서, 카본 농도는 (도 1a 내지 도 1d의 층(104)에서와 같이)에피택셜 층 내에서 등급화될 수 있다.
- <49> 카본 함유 실리콘 층 내에 결합되는 카본은 일반적으로 실리콘 함유 층의 증착 직후에 결정질 격자의 침입형 위치 내에 위치된다. 침입형 카본 농도, 환원하면 카본 함유 층 내의 애스-증착된(as-deposited) 카본 농도는 약 10 at% 또는 그 미만, 바람직하게 약 5 at% 미만, 더 바람직하게 약 0.5 at% 내지 약 3 at%, 예를 들어 약 2 at%일 수 있다. 처리 단계 중에(계속해서) 자연 확산에 의해 또는 (후술하는 바와 같이)어닐링함으로써 에피택셜 층은 결정질 격자의 치환형 위치로 침입형 카본을 적어도 일부분과 결합되거나 전혀 결합되지 않을 수 있다. 에피택셜 층 스택의 전체 카본 농도는 스택 내에 침입형 또는 치환형으로 결합되는나에 무관하게 모든 카본을 포함한다. 고회절 X-레이 확산(XRD)가 치환형 카본 농도와 두께를 결정하는데 사용될 수 있다. 2차 이온 질량 분석법(SIMS)이 에피택셜 층 스택 내의 전체 (치환형 및 침입형)카본 농도를 결정하는데 사용될 수 있다. 치환형 카본 농도는 전체 카본 농도와 같거나 작을 수 있다. 적합한 어닐링 공정으로는 급속 열 공정(RTP)과 같은 스파이크 어닐링, 레이저 어닐링 또는 산소, 질소 수소, 아르곤, 헬륨 또는 이들의 조합과 같은 가스 분위기에 서의 서멀 어닐링이 포함된다. 몇몇 실시예에서, 어닐링 공정은 약 800 °C 내지 약 1200 °C, 바람직하게 약 1050 °C 내지 약 1100 °C 범위의 온도에서 수행될 수 있다. 그러한 어닐링 공정은 카본 무함유 캡 층(106)이 증착된 직후 또는 (예를 들어, 전체 필름 스택이 증착된 후와 같이)다수의 다른 공정 단계 후에 발생할 수 있다.
- <50> 도 4는 본 발명에 따라 목표 카본 농도를 갖는 에피택셜 층 스택을 형성하는 예시적인 방법(400)의 흐름도이다. 도 4를 참조하면, 단계(401)에서 기판은 처리 챔버 내에 로딩되어 약 800 °C 또는 그 미만의 온도로 가열된다. 몇몇 실시예에서, 750 °C 미만, 700 °C 미만 또는 650 °C 미만과 같은 낮은 온도 범위가 에피택셜 필름 형성 중에 사용될 수 있다.
- <51> 단계(402)에서, 탄소 함유 에피택셜 층이 기판 상에 형성된다. 초기 카본 농도, 카본 함유 에피택셜 층의 두께 및/또는 증착 시간은 에피택셜 층 스택을 위한 목표 카본 농도에 기초하여 선택될 수 있다. 그 후, 단계(403)에서 카본 무함유 에피택셜 층이 탄소 함유 에피택셜 층 상에 형성된다. 몇몇 실시예에서, 카본 무함유 에피택셜 층은 계속되는 에칭으로부터 하부의 카본 함유 층을 보호하기에 충분히 두껍다.
- <52> 단계(404)에서, 기판은 HCl 및/또는 Cl<sub>2</sub>와 같은 에칭제 가스를 사용하여 에칭된다. 전술한 바와 같이, 카본 무함유 에피택셜 층은 에칭 가스로부터 하부의 카본 함유 에피택셜 층을 보호한다. 세정 단계(도시 않음)가 에칭 이후에 사용될 수 있어서 사용될 처리 챔버로부터 임의의 에칭제 가스 및/또는 다른 바람직하지 않은 가스를 제거할 수 있다.
- <53> 단계(405)에서, 소정의 에피택셜 층 스택 두께에 도달되었지가 결정된다. 그렇다면, 공정은 단계(406)에서 종료되나, 그렇지 않다면 공정은 단계(402)로 되돌아가 기판 상에 추가의 에피택셜 재료를 증착한다.
- <54> 다른 예시적인 실시예에서, 공정 사이클은 (1) 카본 무함유 실리콘(Si) 층 증착 단계, (2) 카본 함유 실리콘(Si : C) 층 증착 단계, (3) 카본 무함유 실리콘(Si) 층 증착 단계, (4) 에칭 단계, 및 (5) 세정 단계를 포함할 수 있다. 공정 사이클은 전체 에피택셜 층 스택 두께를 달성하기 위해 다수 회 반복될 수 있다. 하나의 특정 실시예에서, 공정 사이클은 에피택셜 층 스택을 위해 약 600 Å의 에피택셜 재료를 얻기 위해 약 80 회 반복될 수

있다. 이러한 경우에, Si 또는 Si : C의 각각의 증착은 약 5 내지 약 30 Å으로 될 수 있으며, 그 일부는 계속되는 에칭 단계에 의해 에칭 제거된다(예를 들어, 15 내지 25 Å). 약 80 회의 반복 후에, (예를 들어, Si 모트 상의)나머지 에피택셜 재료는 (기판의 유전체 영역 상에 증착이 거의 없거나 없는)약 600 Å일 수 있다. 다른 실시예에서, 약 30 내지 100 nm 범위의 에피택셜 층 스택 두께가 사용될 수 있다.

<55> 몇몇 실시예에서, 에피택셜 층 스택 및/또는 애스-증착된 Si : C 층을 위한 치환형 카본 농도 범위는 약 0.5 내지 2.0 at%일 수 있다. Si : C 층이 Si 층 내에 샌드위치될 때, 전체 스택의 카본 농도는 Si : C 층의 두께에 비해서 Si 층의 두께에 따라 감소된다. 공정 조건에 따라서, 치환형 카본 농도는 전체 카본 농도와 같거나 작을 수 있다.

<56> 예시적인 가스 유동 범위로는 디클로로실란, 실란, 디실란, 높은 정도(high order)의 실란을 위한 약 5 내지 500 sccm 범위의 유동률을 갖는 실리콘 소오스, 모노 메틸실란을 위한 약 1 내지 30 sccm 범위의 유동률을 갖는 카본 소오스, 및 H<sub>2</sub> 또는 N<sub>2</sub>을 위한 약 3 내지 30 slm의 유동률을 갖는 캐리어 가스가 포함된다. 에칭 중에, HCl을 위한 예시적인 유동률은 약 20 내지 1000 sccm이며 Cl<sub>2</sub>를 위한 유동률은 약 10 내지 500 sccm이다.

<57> 하나의 특정 실시예에서, HCl은 대략 동일한 유동률(예를 들어 300 sccm 또는 다른 적합한 유동률)로 (세정 단계를 제외한)각각의 공정 단계 중에 유동될 수 있으며, Cl<sub>2</sub>는 (예를 들어, 약 30 sccm 또는 다른 적합한 유동률)로 에칭 단계 중에만 유동될 수 있다. 디실란은 (예를 들어, 약 7 sccm 또는 다른 적합한 유동률)로 각각의 증착 단계 중에 유동될 수 있으며, 메틸실란은 (예를 들어, 약 2.2 sccm 또는 다른 적합한 유동률)로 Si : C 증착 단계 중에 유동될 수 있다. N<sub>2</sub> 캐리어 가스는 각각의 공정 사이클 단계 중에 약 20 slm 또는 다른 적합한 유동률로 유동될 수 있으며, 각각의 세정 단계 중에 약 30 slm 또는 다른 적합한 유동률로 증가된다. 몇몇 실시예에서, 약 5 Å의 Si가 제 1 Si 증착(예를 들어, 약 4 초간 증착) 단계 중에 증착되며, 약 9 Å의 Si : C가 Si : C 증착(예를 들어, 약 7 초간 증착) 단계 중에 증착될 수 있으며, 약 13 Å의 Si가 제 2 증착(예를 들어, 약 10 초간 증착) 단계 중에 증착될 수 있으며, 약 19 Å의 에피택셜 재료가 에칭(예를 들어, 약 13 초간 에칭) 단계 중에 제거될 수 있다. 적합한 세정 시간(예를 들어, 약 10 초)이 사용될 수 있다. 증착 및 세정 중에 약 10 Torr, 그리고 에칭 중에 약 13 Torr의 챔버 압력과 약 600 °C의 공정 온도가 사용될 수 있다. 전술한 바와 같이, 다른 공정 조건이 사용될 수 있다.

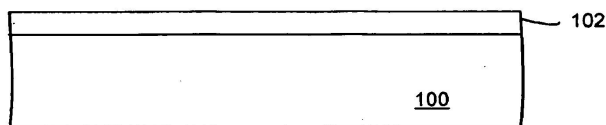
<58> 전술한 설명은 본 발명의 단지 예시적인 실시예들만을 설명한 것이다. 본 발명의 범주 내에 있는 전술한 장치 및 방법들의 변형예들이 본 기술분야의 당업자들에게는 당연하다. 따라서, 본 발명이 본 발명의 예시적인 실시예들과 관련하여 설명하였지만, 다른 실시예들이 다음의 청구의 범위에 정의되어 있는 바와 같이 본 발명의 사상과 범주 내에 있다고 이해해야 한다.

**도면의 간단한 설명**

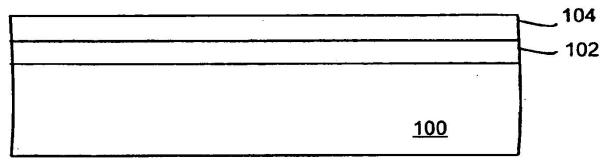
- <16> 도 1a 내지 도 1d는 본 발명에 따라 에피택셜 층 스택을 형성하는 동안의 기판의 횡단면도이며,
- <17> 도 2는 본 발명에 따라 형성되는 카본 무함유 시드(seed) 에피택셜 층, 카본 함유 에피택셜 층 및 카본 무함유 캡 에피택셜 층으로 스택되는 층들 전체의 카본 농도를 나타내는 그래프이며,
- <18> 도 3은 본 발명에 따라 형성되는 시드 및 캡 에피택셜 층의 일정한 증착 시간 동안 카본 함유 에피택셜 층의 증착 시간에 대한 치환형 카본(SC)의 관계를 설명하는 그래프이며,
- <19> 도 4는 본 발명에 따라 목표 카본 농도를 갖는 에피택셜 층 스택을 형성하는 예시적인 방법의 흐름도이다.

**도면**

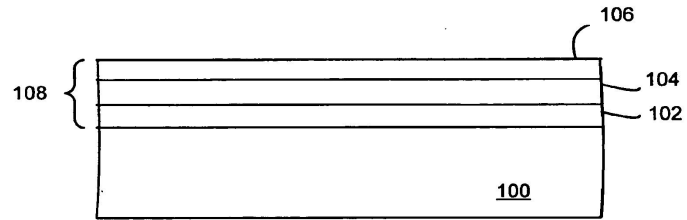
**도면1a**



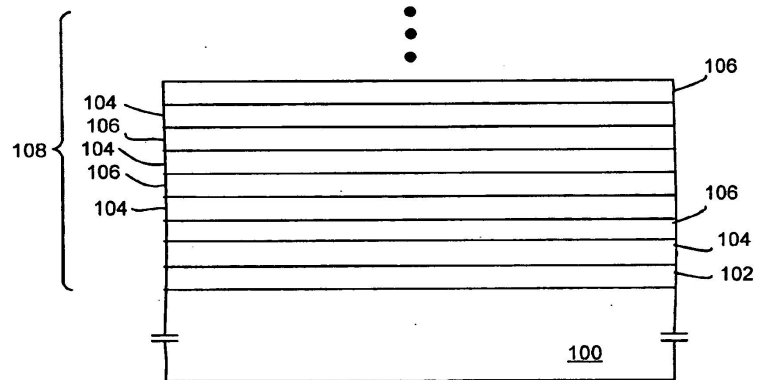
도면1b



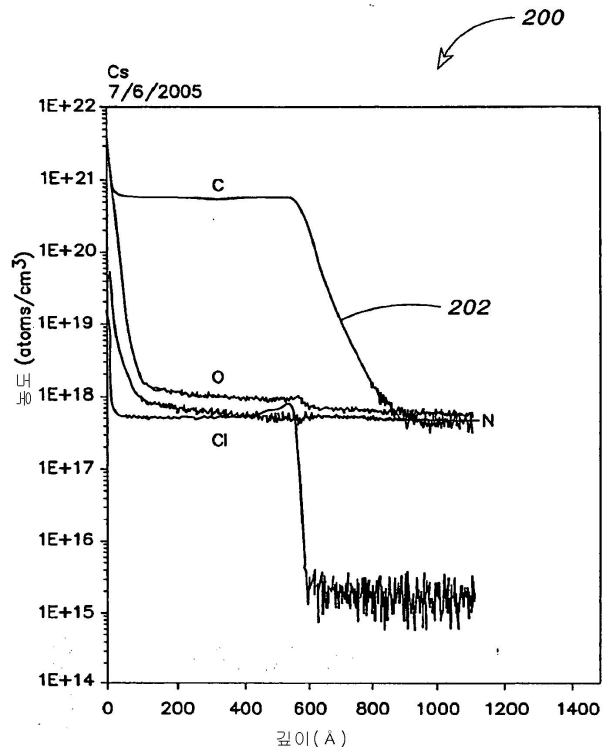
도면1c



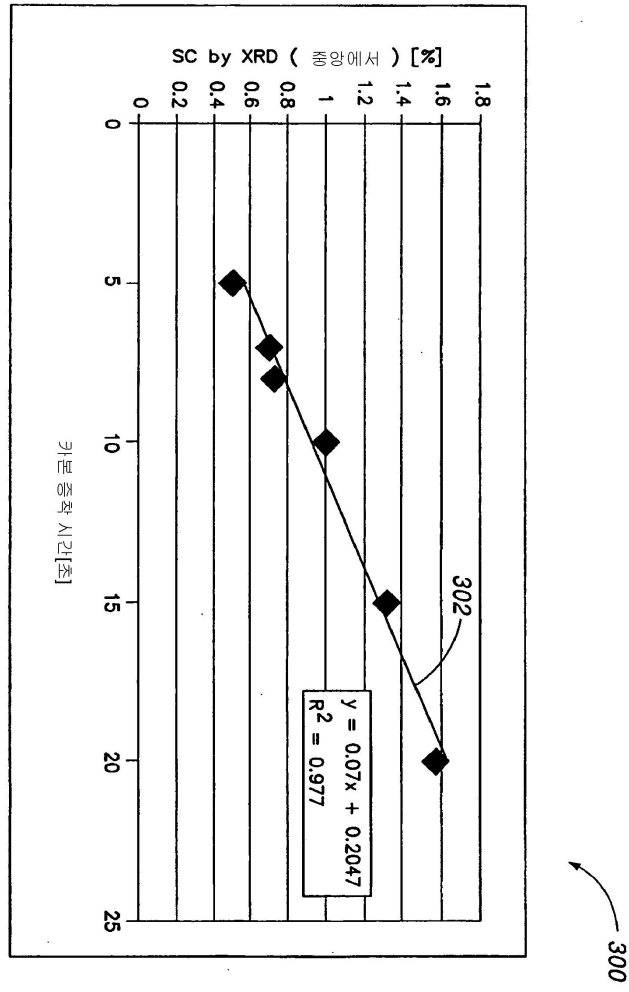
도면1d



도면2



도면3



도면4

