



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl.

B05D 3/02 (2006.01)

B05D 3/06 (2006.01)

B23B 5/18 (2006.01)

(45) 공고일자

2007년06월07일

(11) 등록번호

10-0724508

(24) 등록일자

2007년05월28일

(21) 출원번호 10-2005-7016233

(65) 공개번호

10-2005-0110649

(22) 출원일자 2005년08월31일

(43) 공개일자

2005년11월23일

심사청구일자 2005년11월10일

번역문 제출일자 2005년08월31일

(86) 국제출원번호 PCT/US2004/008195

(87) 국제공개번호

WO 2004/083495

국제출원일자 2004년03월17일

국제공개일자

2004년09월30일

(30) 우선권주장

10/390,801

2003년03월18일

미국(US)

(73) 특허권자

인터내셔널 비지네스 머신즈 코포레이션
미국 10504 뉴욕주 아몬크 뉴오차드 로드

(72) 발명자

게이츠 스티븐 엠.
미국 뉴욕주 10562 오시닝 이닝우드 로드 22

그릴 알프레드

미국 뉴욕주 10605 화이트 플레인스 오버룩 로드 85

(74) 대리인

강승옥
김성기

(56) 선행기술조사문헌

us6437443

us6312793

심사관 : 김재현

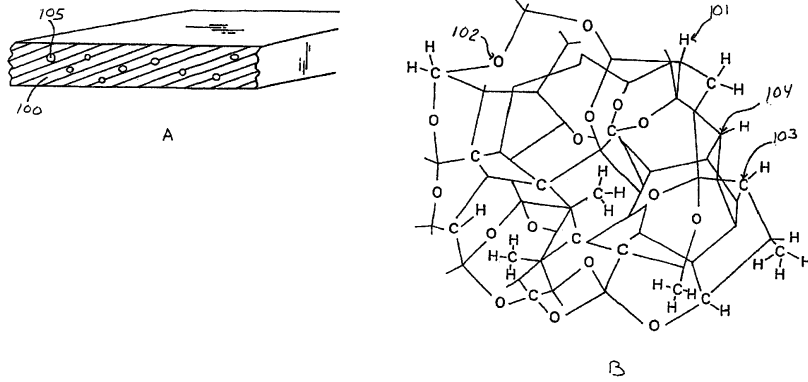
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 초저 K(ULK) SiCOH 막 및 그 형성 방법

(57) 요약

본 발명은 개선된 탄성 모듈러스 및 경도를 나타내는 다상 초저 k 막 뿐만 아니라 그러한 다상 초저 k 막을 형성시키는 다양한 방법을 제공한다. 상기 다상 초저 k 막은 Si, C, O 및 H 원자를 포함하고, 약 2.4 또는 그보다 작은 유전 상수, 나노 크기의 소공 또는 공극, 약 5 또는 그보다 큰 탄성 모듈러스 및 약 0.7 또는 그보다 큰 경도를 보유한다. 바람직한 다상 초저 k 막은 Si, C, O 및 H 원자를 포함하고, 약 2.2 또는 그보다 작은 유전 상수, 나노 크기의 소공 또는 공극, 약 3 또는 그보다 큰 탄성 모듈러스 및 약 0.3 또는 그보다 큰 경도를 보유한다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1.

다상 초저 유전 상수(k) 막(multiphase, ultra low dielectric constant(k) film)을 형성시키는 방법으로서,
 플라즈마 강화형 화학 증착(PECVD: plasma enhanced chemical vapor deposition) 반응기 내에 기판을 배치하는 단계,
 Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 제1 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계,
 주로 C 및 H 원자를 함유하는 유기 분자를 포함하는 제2 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계,
 1개의 Si 원자 및 3개 또는 4개의 Si-O 결합을 함유하는 실록산 분자를 포함하는 제3 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계, 및
 기판 상에, 전체 제3 전구물질 흐름을 기준으로 하여 정사면체 Si-O 결합 0.1% 내지 10% 및 2.7 또는 그보다 작은 유전 상수를 보유하는 다상 초저 k 막을 증착시키는 단계
 를 포함하는 방법.

청구항 2.

삭제

청구항 3.

삭제

청구항 4.

제1항에 있어서, 기체 혼합물에 He를 첨가하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 5.

청구항 5은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항에 있어서, 기체 혼합물에 CO₂ 또는 CO₂와 O₂의 혼합물을 첨가하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 6.

삭제

청구항 7.

삭제

청구항 8.

삭제

청구항 9.

삭제

청구항 10.

삭제

청구항 11.

삭제

청구항 12.

삭제

청구항 13.

청구항 13은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항에 있어서, 상기 제3 전구물질 기체는 3개 또는 4개의 Si-O 결합을 함유하는 실록산 분자를 포함하는 것인 방법.

청구항 14.

청구항 14은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항에 있어서, 상기 제3 전구물질 기체는 테트라메틸오르토실리케이트(TMOS), 테트라에틸오르토실리케이트(TEOS), 비닐트리에톡시실란, 알릴트리에톡시실란, 비닐트리에톡시실란, 알릴트리에톡시실란, 페닐트리에톡시실란 및 페닐트리메톡시실란으로 이루어진 군 중에서 선택하는 것인 방법.

청구항 15.

삭제

청구항 16.

삭제

청구항 17.

삭제

청구항 18.

청구항 18은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항에 있어서, 상기 다상 초저 k 막을 전자 빔으로 경화시키는 단계를 더 포함하고, 상기 전자 빔 경화 단계는 1 분 내지 300 분의 시간 동안 350℃ 내지 450℃의 온도에서 수행하는 것인 방법.

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.

다상 초저 유전 상수 막을 형성시키는 방법으로서,

플라즈마 강화형 화학 증착(PECVD) 반응기 내에 기판을 배치하는 단계,

Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 제1 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계,

C 및 H 원자를 함유하는 유기 분자를 주로 포함하는 제2 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계,

전자 빔 방사선에 민감한 반응성 기 및 1개의 Si 원자를 함유하는 분자를 포함하는 제3 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계,

기판 상에 2.7 또는 그보다 작은 유전 상수를 보유하는 다상 초저 k 막을 증착시키는 단계, 및

증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 29.

삭제

청구항 30.

삭제

청구항 31.

삭제

청구항 32.

삭제

청구항 33.

삭제

청구항 34.

삭제

청구항 35.

삭제

청구항 36.

삭제

청구항 37.

삭제

청구항 38.

청구항 38은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항 또는 제28항에 있어서, 상기 제2 전구물질 기체는 유의적인 고리 긴장을 부여하는 융합된 고리의 화학종을 포함하고, 상기 융합된 고리는 4, 5, 7 또는 그 이상의 원자로 된 고리를 포함하는 것인 방법.

청구항 39.

청구항 39은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항 또는 제28항에 있어서, 상기 제2 전구물질 기체는 시클로펜텐 옥사이드를 포함하는 것인 방법.

청구항 40.

청구항 40은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제28항에 있어서, 상기 제3 전구물질 기체는 실록산 분자이고, 상기 제3 전구물질 기체의 반응성기는 비닐기, 알릴기, 페닐기 또는 아세틸렌기 및 이들의 혼합물로 이루어진 군 중에서 선택하는 것인 방법.

청구항 41.

청구항 41은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제28항에 있어서, 상기 제3 전구물질 기체는 비닐트리메톡시실란, 알릴트리메톡시실란, 페닐트리메톡시실란, 페닐트리메톡시실란 및 2개의 불포화기를 함유하는 실록산으로 이루어진 군 중에서 선택하는 것인 방법.

청구항 42.

청구항 42은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제28항에 있어서, 상기 제3 전구물질 기체는 비닐기, 알릴기, 페닐기 또는 아세틸렌기 및 이들의 혼합물을 각각 함유하는 실란 및 실록산으로 이루어진 군 중에서 선택하는 것인 방법.

청구항 43.

청구항 43은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제28항에 있어서, 상기 제3 전구물질 기체는 불포화 탄화수소 기를 각각 함유하는 실란 및 실록산으로 이루어진 군 중에서 선택하는 것인 방법.

청구항 44.

청구항 44은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제28항에 있어서, 상기 제3 전구물질 기체는 1개 이상의 불포화 C-C 이중결합 또는 삼중결합을 함유하는 2작용성 유기 분자로 이루어진 군 중에서 선택하는 것인 방법.

청구항 45.

청구항 45은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제28항에 있어서, 상기 제3 전구물질 기체는 1,3-부타디엔, 1,4-펜타디엔, 1,5-헥사디엔, 단일 고리형 2작용성 분자 및 이중 고리형 2작용성 분자로 이루어진 군 중에서 선택하는 것인 방법.

청구항 46.

삭제

청구항 47.

삭제

청구항 48.

삭제

청구항 49.

삭제

청구항 50.

삭제

청구항 51.

삭제

청구항 52.

삭제

청구항 53.

삭제

청구항 54.

삭제

청구항 55.

삭제

청구항 56.

청구항 56은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항 또는 제28항에 있어서, 상기 증착 단계는 상기 제2 전구물질 기체의 유량을 5 sccm 내지 50,000 sccm으로 설정하는 단계를 더 포함하는 것인 방법.

청구항 57.

청구항 57은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항 또는 제28항에 있어서, 상기 증착 단계는 상기 제3 전구물질 기체의 유량을 5 sccm 내지 1000 sccm으로 설정하는 단계를 더 포함하는 것인 방법.

청구항 58.

삭제

청구항 59.

청구항 59은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항 또는 제28항에 있어서, 상기 제1 전구물질 기체가 테트라메틸시클로테트라실록산이고, 상기 제2 전구물질 기체가 시클로펜텐 옥사이드인 방법.

청구항 60.

다상 초저 유전 상수 막을 형성시키는 방법으로서,

플라즈마 강화형 화학 증착(PECVD) 반응기 내에 기판을 배치하는 단계,

Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 제1 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계,

전자 빔 방사선에 민감한 반응성 기 및 1개의 Si 원자를 함유하는 분자를 포함하는 제2 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계,

기판 상에 2.7 또는 그보다 작은 유전 상수를 보유하는 다상 초저 k 막을 증착시키는 단계, 및

증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 61.

제1항, 제28항 및 제60항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 제1 전구물질 기체는 Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 단일 분자를 포함하는 것인 방법.

청구항 62.

제1항, 제28항 및 제60항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 전구물질 기체는 Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 분자들의 혼합물을 포함하는 것인 방법.

청구항 63.

제28항 또는 제60항에 있어서, 상기 제1 전구물질 기체와 He를 혼합하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 64.

청구항 64은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제28항 또는 제60항에 있어서, 상기 제1 전구물질 기체와 CO₂ 또는 CO₂와 O₂의 혼합물을 혼합하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 65.

청구항 65은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항, 제28항 및 제60항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 제1 전구물질 기체가 Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 실록산인 방법.

청구항 66.

청구항 66은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제65항에 있어서, 상기 실록산이 고리형 실록산인 방법.

청구항 67.

청구항 67은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제66항에 있어서, 상기 고리형 실록산은 테트라메틸시클로테트라실록산, 데카메틸시클로펜타실록산, 옥타메틸시클로테트라실록산, 트리메틸시클로트리실록산 및 헥사메틸시클로트리실록산으로 이루어진 군 중에서 선택하는 것인 방법.

청구항 68.

청구항 68은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항, 제28항 및 제60항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 제1 전구물질 기체가 테트라메틸시클로테트라실록산 또는 옥타메틸시클로테트라실록산인 방법.

청구항 69.

청구항 69은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항, 제28항 및 제60항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 제1 전구물질 기체는 질소, 불소 또는 게르마늄 원소를 더 포함하는 것인 방법.

청구항 70.

청구항 70은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제60항에 있어서, 상기 제2 전구물질 기체의 상기 반응성 기는 비닐기, 알릴기, 페닐기 또는 아세틸렌기 및 이들의 혼합물을 함유하는 실란 및 실록산으로 이루어진 군 중에서 선택하는 것인 방법.

청구항 71.

청구항 71은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제60항에 있어서, 상기 제2 전구물질 기체가 비닐트리에톡시실란, 알릴트리에톡시실란, 비닐트리에톡시실란, 알릴트리에톡시실란, 페닐트리에톡시실란, 페닐트리메톡시실란 및 2개의 불포화기를 함유하는 실록산으로 이루어진 군 중에서 선택된 실록산인 방법.

청구항 72.

삭제

청구항 73.

삭제

청구항 74.

청구항 74은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항, 제28항 및 제60항 중 어느 하나의 항에 있어서, 증착 후 상기 다상 초저 k 막을 열 처리하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 75.

청구항 75은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제74항에 있어서, 상기 열 처리 단계가 0.25 시간 이상의 시간 동안 300℃ 이상의 온도에서 수행하는 어닐링 단계인 방법.

청구항 76.

청구항 76은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제74항에 있어서, 상기 열 처리 단계는 2 단계로 수행하고, 제1 단계에서는 막을 제1 시간 동안 300℃ 미만의 온도로 가열하고, 제2 단계에서는 제1 시간보다 더 긴 제2 시간 동안 300℃ 이상의 온도로 가열하는 것인 방법.

청구항 77.

청구항 77은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제76항에 있어서, 상기 제2 시간은 제1 시간보다 10배 이상 더 긴 것인 방법.

청구항 78.

청구항 78은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제28항 또는 제60항에 있어서, 경화 단계는 1 분 내지 300 분의 시간 동안 350℃ 내지 450℃의 온도에서 수행하는 것인 방법.

청구항 79.

청구항 79은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항, 제28항 및 제60항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 PECVD 반응기가 평행판 반응기인 방법.

청구항 80.

청구항 80은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제79항에 있어서, 상기 평행판 반응기는 기판 척의 면적 300 cm^2 내지 800 cm^2 , 및 기판과 정상 전극 간의 갭 1 cm 내지 10 cm 를 보유하는 것인 방법.

청구항 81.

청구항 81은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제79항에 있어서, 상기 평행판 반응기의 전극에 RF 전력을 인가하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 82.

청구항 82은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항, 제28항 및 제60항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 증착 단계는 상기 기판에 대한 온도를 25°C 내지 400°C 로 설정하는 단계, 및 RF 전력 밀도를 0.05 W/cm^2 내지 4.0 W/cm^2 로 설정하는 단계를 더 포함하는 것인 방법.

청구항 83.

청구항 83은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항, 제28항 및 제60항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 증착 단계는 상기 제1 전구물질 기체에 대한 유량을 5 sccm 내지 1000 sccm 으로 설정하는 단계를 더 포함하는 것인 방법.

청구항 84.

청구항 84은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제60항에 있어서, 상기 증착 단계는 상기 제2 전구물질 기체의 유량을 5 sccm 내지 1000 sccm 으로 설정하는 단계를 더 포함하는 것인 방법.

청구항 85.

청구항 85은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항, 제28항 및 제60항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 증착 단계는 상기 PECVD 반응기에 대한 압력을 50 mTorr 내지 5000 mTorr 로 설정하는 단계를 더 포함하는 것인 방법.

청구항 86.

청구항 86은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제60항에 있어서, 상기 증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계는 진공 환경에서 수행하는 것인 방법.

청구항 87.

청구항 87은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제60항에 있어서, 상기 증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계는 1KeV 내지 100 KeV의 전자 에너지를 사용하여 수행하는 것인 방법.

청구항 88.

청구항 88은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제60항에 있어서, 상기 증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계는 2KeV 내지 30 KeV의 전자 에너지를 사용하여 수행하는 것인 방법.

청구항 89.

청구항 89은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제60항에 있어서, 상기 증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계는 50 마이크로퀴리(microCurie)/cm² 내지 5000 마이크로퀴리/cm²의 전자 방사선의 선량을 사용하여 수행하는 것인 방법.

청구항 90.

청구항 90은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제60항에 있어서, 상기 증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계는 100 마이크로퀴리/cm² 내지 2000 마이크로퀴리/cm²의 전자 방사선의 선량을 사용하여 수행하는 것인 방법.

청구항 91.

Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 다상 초저 k 막으로서, 상기 막은 2.4 또는 그보다 작은 유전 상수, 나노크기의 소공 또는 공극, 5 GPa 또는 그보다 큰 탄성 모듈러스 및 0.7 GPa 또는 그보다 큰 경도(여기서, 상기 탄성 모듈러스 및 경도는 나노압입(nanoindentation)에 의해 측정됨)을 보유하고, 정사면체 Si-O 결합 0.1% 내지 10%를 포함하는 다상 초저 k 막.

청구항 92.

2.2 또는 그보다 작은 유전 상수, 나노크기의 소공 또는 공극, 3 GPa 또는 그보다 큰 탄성 모듈러스 및 0.3 GPa 또는 그보다 큰 경도(여기서, 상기 탄성 모듈러스 및 경도는 나노압입에 의해 측정됨)을 보유하고, 정사면체 Si-O 결합 0.1% 내지 10%를 포함하는 다상 초저 k 막.

청구항 93.

청구항 93은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제91항에 있어서, 상기 소공 또는 공극은 소공 직경 0.5 나노미터 내지 20 나노미터를 보유하는 것인 다상 초저 k 막.

청구항 94.

청구항 94은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제91항에 있어서, 상기 막은 공유 결합된 망상구조에서 Si, C, O 및 H로 이루어진 수소화된 산화 규소 탄소 물질(SiCOH)의 제1 상을 보유하고, 또다른 상은 주로 C 및 H 원자로 이루어지는 것인 다상 초저 k 막.

청구항 95.

삭제

청구항 96.

제91항 또는 제92항의 다상 초저 k 막을 포함하는 전자 구조물.

청구항 97.

삭제

청구항 98.

청구항 98은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제96항에 있어서, 상기 다상 초저 k 막이 인터커넥트 구조물의 레벨내 또는 레벨간 유전체인 전자 구조물.

청구항 99.

청구항 99은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제96항에 있어서, 상기 다상 초저 k 막이 인터커넥트 배선 구조물의 캡 또는 확산 배리어인 전자 구조물.

청구항 100.

청구항 100은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제96항에 있어서, 상기 다상 초저 k 막이 인터커넥트 구조물에 대한 마스크 또는 연마 정지 층인 전자 구조물.

명세서

기술분야

본 발명은 일반적으로 초저 유전 상수(k) 막, 이러한 막의 제조 방법 및 이러한 막을 함유하는 전자 디바이스(electronic device)에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 ULSI BEOL(back-end-of-the-line) 배선 구조물, 그러한 막을 함유하는 전자 구조물 및 그러한 막 및 구조물을 제조하는 방법에서 레벨내 또는 레벨간 유전체 막(intrallevel or interlevel dielectric membrane), 캡 물질 또는 하드 마스크/연마 정지(polish stop)로서 사용하기 위한 다상 초저 k 막(multiphase, ultra low k film)에 관한 것이다.

배경기술

최근 몇년 동안 ULSI(ultra large scale intergrated: 극초대규모 집적) 회로에서 이용된 전자 디바이스 치수의 연속적인 축소는 결과적으로 BEOL 금속화의저항을 증가시킬 뿐만 아니라 층내 및 층간 유전체 물질의 커패시턴스를 증가시키고 있다. 이어서, 이러한 조합된 효과는 ULSI 전자 디바이스에서 신호 지연을 증가시킨다. 미래의 ULSI 회로, 저 유전 상수(k)

절연체, 특히 이산화규소의 것보다 현저히 더 낮은 k 를 지닌 절연체의 전환 성능(switching performance)을 개선시키기 위해서는 커패시턴스를 감소시키는 것이 필요하다. 구체적으로, 4.0보다 낮은 k 값을 보유하는 저 k 절연체가 필요하다. 달리 언급하지 않는 한, 본 출원에서 언급되는 모든 k 값은 진공에 대하여 측정된 것이다.

저 k 값을 보유하는 유전체 물질은 상업적으로 이용가능하고 있다. 실제 예를 들면, 한가지 그러한 물질이 2.0 k 값을 지닌 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)이다. 그러나, 이러한 유전체 물질은 일반적으로 300°C 내지 350°C 이상의 온도에 노출될 때 열적으로 안정하지 않는데, 왜냐하면 상기 온도는 400°C 이상의 온도에서 열적 안정성을 요구하는 ULSI 칩에서 그 유전체의 집적화 동안 상기 유전체 물질을 무용하게 만들기 때문이다.

ULSI 디바이스에서 적용되는 것으로 간주되어 오고 있는 전형적인 종래 기술의 저 k 물질은 규소(Si), 탄소(C) 및 산소(O)를 함유하는 중합체, 예컨대 메틸실록산, 메틸세스퀴녹산, 및 기타 유기 및 무기 중합체를 포함한다. 실제 예를 들면, 논문 [Properties of new low dielectric constant spin-on silicon oxide based dielectrics", by N. Hacker et al., published in Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol. 476(1997) p25]은, 이들 물질 중 일부가 막을 스핀-온(spin-on) 기법에 의해 제조할 때 인터커넥트 구조물에서 집적화에 요구되는 두께에 도달시 균열을 쉽게 전파한다고 할지라도, 열 안정성 요건을 충족하는 것으로 보인다. 더구나, 전구물질은 비용이 매우 비싸고 대량 생산에 사용하기에 터무니 없이 매우 비싸다. 이와 대조적으로, VLSI 및 ULSI 칩의 제조 단계의 대부분은 플라즈마 강화형 화학적 또는 물리적 증착 기법에 의해 수행한다.

따라서, 종래부터 장착되어 이용가능한 공정 장비를 사용하는 플라즈마 강화형 화학 증착(PECVD: plasma enhanced chemical vapor deposition)에 의해 저- k 물질을 제조할 수 있는 성능은 그 제조 공정에서 집적화를 단순화시키고, 제조 비용을 감소시키며, 보다 덜 유해한 폐기물을 생성시킨다. 미국 특허 제6,147,009 및 6,496,963호에는 3.6 이하의 유전 상수를 보유하고 매우 낮은 균열 전파 속도를 나타내는 Si, C, O 및 H로 이루어진 저 유전 상수 물질이 기재되어 있다.

미국 특허 6,312,793, 6,441,491 및 6,479,110 B2에는 Si, C, O 및 H 원자로 이루어진 매트릭스, C 및 H로서 주로 이루어진 상으로 이루어지고 3.2 이하의 유전 상수를 보유하는 다상 저 k 유전체 물질이 기재되어 있다.

또한, 2.7 미만(바람직하게는 2.3 미만)의 유전 상수를 보유하는 초저 k 막은 해당 기술 분야에 공지되어 있다. 종래 기술인 초저 k 막이 갖고 있는 주요 문제점은 ULSI 디바이스에서 그러한 막을 직접화시킬 때 집적화된 막이 불량한 기계적 강도를 나타낸다는 점이다. 일반적으로, 초저 k 막은 대략 2.7-3의 k 값을 지닌 막과 비교하여 훨씬 더 낮은 탄성 모듈러스 및 경도를 보유한다.

종래 기술의 초저 k 막이 갖는 상기 결점들의 측면에서 보면, 개선된 기계적 특성, 예컨대 개선된 탄성 모듈러스 및 경도를 나타내는 초저 k 막을 생성할 수 있는 PECVD 공정을 개발해야 할 필요성이 여전히 존재하고 있다.

발명의 상세한 설명

발명의 개요

그러므로, 본 발명의 목적은 2.7 이하의 유전 상수를 보유하고 또한 개선된 탄성 모듈러스 및 강도와 같은 개선된 기계적 특성을 나타내는 초저 유전 상수(k) 막을 제공하는 데 있다.

본 발명의 또다른 목적은 본 발명의 초저 k 막을 제조하는 PECVD 방법을 제공하는 데 있다.

본 발명의 추가 목적은 적어도 2 상, 즉 다상 막을 포함하는 초저 k 막을 제조하는 방법을 제공하는 데 있으며, 상기 다상 막에서 제1 상은 Si, C, O 및 H로 이루어지고, 즉 수소화된 산화 규소 탄소 또는 탄소 도핑된 산화물, CDO 막(이후에는 SiCOH라고 칭함)이고, 적어도 제2 상은 C 및 H 원자로써 주로 이루어져 있다. Si, C, O 및 H 원자를 주로 포함하는 본 발명의 다상 초저 k 막은 미국 특허 6,312,793 및 6,347,443 및 6,479,110 B2에 개시되어 있는 다상 물질과 비교하여 보다 강한 골격을 보유하고 있다.

본 발명의 추가 목적은 약 0.5 nm 내지 약 20 nm의 크기로 존재하는 나노미터 크기의 소공 및 공극을 함유하는 다상 초저 k 막을 제조하는 데 있다.

본 발명의 또다른 목적은 2.4 또는 그보다 작은 유전 상수, 약 5 또는 그보다 더 큰 탄성 모듈러스 및 약 0.7 또는 그보다 큰 경도를 보유하는 다상 초저 k 막을 제공하는 데 있으며, 이들 값은 현행 초저 k 막 또는 그보다 더 큰 값들이다. 상기 탄성 모듈러스 및 경도는 GPa로 표시되며, 해당 기술 분야에 공지되어 있는 나노압입(nanoindentation) 기법에 의해 측정된다.

본 발명의 또다른 목적은 2.2 또는 그보다 작은 유전 상수, 약 3 또는 그보다 더 큰 탄성 모듈러스 및 약 0.3 또는 그보다 큰 경도를 보유하는 다상 초저 k 막을 제공하는 데 있으며, 이들 값은 현행 초저 k 막보다 더 큰 값들이다.

본 발명의 또다른 추가 목적은 평행판(parallel plate) 플라즈마 강화형 화학 증착 반응기에서 다상 초저 k 막을 제조하는 방법을 제공하는 데 있다.

본 발명의 또다른 추가 목적은 BEOL 인터커넥트 구조물에서 레벨내 또는 레벨간 유전체로서 전자 구조물에 사용하기 위한 다상 초저 k 막을 제조하는 방법을 제공하는 데 있다.

본 발명의 또다른 추가 목적은 절연 물질의 층 중 하나 이상이 본 발명의 다상 초저 k 막인 BEOL 배선 구조물에서 레벨내 또는 레벨간 유전체로서 절연 물질의 층을 혼입하고 있는 전자 구조물을 제공하는 데 있다.

본 발명의 또다른 추가 목적은 반응성 이온 에칭 마스크, 연마 정지 또는 확산 베리어로서 사용하기 위한 상이한 물질로 형성된 하나 이상의 유전체 캡 층을 함유하는 BEOL 배선 구조물에서 레벨내 또는 레벨간 유전체로서 본 발명의 초저 k 막의 층을 보유하는 전자 구조물을 제공하는 데 있다.

이들 목적 및 이점과 기타 목적 및 이점은 하기 대체물, 즉 3개 이상의 Si-O 결합 이상을 함유하는 실록산 분자를 포함하는 1종 이상의 전구물질 기체; 또는 전자 빔 방사선에 민감한 반응성 기를 함유하는 실록산 분자를 포함하는 1종 이상의 전구물질 기체 중 하나를 포함하는 방법을 이용함으로써 달성된다.

본 발명에 따르면, Si, C, O 및 H 원자를 포함하는 다상 초저 k 막이 제공된다. 본 발명의 다상 초저 k 막은 약 2.7 또는 그보다 작은 유전 상수를 보유하고, 보다 중요하게는 본 발명의 막은 개선된 기계적 특성을 보유한다. 특히, 본 발명의 다상 초저 k 막은 2.4 또는 그보다 작은 유전 상수, 약 5 또는 그보다 큰 탄성 모듈러스 및 약 0.7 또는 그보다 더 큰 경도를 보유하는 것을 특징으로 한다. 보다 바람직하게는, 본 발명의 다상 초저 k 막은 2.2 또는 그보다 작은 유전 상수, 약 3 또는 그보다 큰 탄성 모듈러스 및 약 0.3 또는 그보다 더 큰 경도를 보유한다. 탄성 모듈러스 및 경도는 전형적으로 나노압입(nanoindentation) 기법에 의해 측정되며, 이들 특성은 일반적으로 유전 상수가 감소함에 따라 증가한다.

본 발명의 다상 초저 k 막은 다음의 3가지 실시양태 중 하나를 이용하여 형성시킬 수 있다. 제1 실시양태에서, 초저 k 막은 플라즈마 강화형 화학 증착 반응기를 제공하는 단계; 반응기 내에 기판을 배치하는 단계; Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 제1 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계; C, H 및 임의로 O, F 및 N 원자를 함유하는 유기 분자를 주로 포함하는 제2 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계; 3개 이상, 바람직하게는 4개의 Si-O 결합을 함유하는 실록산 분자를 포함하는 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계; 및 기판 상에 다상 초저 k 막을 증착시키는 단계에 의해 제조한다. 임의로, 증착된 막은 0.25 시간 이상의 시간 동안 300°C 이상의 온도에서 열처리할 수 있다. 본 발명의 제1 실시양태는 약 300 cm² 내지 약 800 cm²의 기판 척(substrate chuck)의 전도성 면적, 및 약 0.1 cm 내지 약 10 cm의 기판과 정상 전극 사이의 갭을 보유하는 평행판 반응기를 제공하는 단계를 추가로 포함할 수 있다. RF 전력은 전극 중 하나 이상에 인가한다. 기판은 전력 인가된 전극 상에 또는 접지된(grounded) 전극 상에 배치할 수 있다.

제2 실시양태에서, 다상 초저 k 막은 플라즈마 강화형 화학 증착 반응기를 제공하는 단계; 반응기 내에 기판을 배치하는 단계; Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 제1 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계; C, H 및 임의로 F, N 및 O 원자를 함유하는 유기 분자를 주로 포함하는 제2 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계; 전자 빔 방사선에 민감한 반응성 기를 함유하는 분자를 포함하는 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계; 기판 상에 다상 초저 k 막을 증착시키는 단계; 및 증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계를 포함하는 방법에 의해 제조할 수 있다. 본 발명의 제2 실시양태는 약 300 cm² 내지 약 800 cm²의 기판 척의 전도성 면적, 및 약 0.1 cm 내지 약 10 cm의 기판과 정상 전극 간의 갭을 보유하는 평행판 반응기를 제공하는 단계를 추가로 포함할 수 있다. RF 전력은 전극 중 하나 이상에 인가한다. 기판은 전력 공급된 전극 상에 또는 접지된 전극 상에 배치할 수 있다.

본 발명의 제3 실시양태에서, 다상 초저 k 막은 플라즈마 강화형 화학 증착 반응기를 제공하는 단계; 반응기 내에 기판을 배치하는 단계; Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 제1 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계; 전자 빔 방사선에 민

감한 반응성 기를 함유하는 분자를 포함하는 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계; 기관 상에 다상 초저 k 막을 증착시키는 단계; 및 증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계에 의해 제조한다. 본 발명의 제3 실시양태는 약 300 cm^2 내지 약 800 cm^2 의 기관 척의 전도성 면적, 및 약 0.1 cm 내지 약 10 cm 의 기관과 정상 전극 간의 갭을 보유하는 평행판 반응기를 제공하는 단계를 추가로 포함할 수 있다. RF 전력은 전극 중 하나 이상에 인가한다. 기관은 전력 공급된 전극 상에 또는 접지된 전극 상에 배치할 수 있다.

상기 언급한 3가지 실시양태 각각에서, 제1 전구물질은 기체들의 혼합물로 이루어질 수 있으며, 전구물질 기체 혼합물은 본 발명의 다상 초저 k 막을 형성시킬 때 사용한다는 점에 유의해야 한다.

상기 설명한 3가지 실시양태 중 어느 것이든지 간에, He, CO₂ 또는 CO₂와 O₂의 혼합물은 전구물질 기체 중 하나와 병용하여 사용할 수 있거나, 또는 반응기에 직접 첨가할 수 있다. 본 발명의 또다른 실시양태에서, He 또는 CO₂(또는 He와 CO₂의 혼합물)은 캐리어 기체로서 사용할 수 있다.

또한, 본 발명은 예비 공정 처리된 반도체 기관을 포함하는 BEOL 인터커넥트 구조물에서 레벨내 또는 레벨간 유전체로서 절연 물질의 층들을 보유하는 전자 구조물에 관한 것으로, 상기 전자 구조물은 절연 물질의 제1 층에 매립된 금속의 제1 영역, 본 발명의 다상 초저 k 물질을 포함하는 절연 물질의 제2 층에 매립된 전도체의 제1 영역, 및 전도체의 제1 영역과 전기적 소통 상태로 존재하고 본 발명의 초저 k 막을 포함하는 절연 물질의 제3 층에 매립된 제2 영역을 보유하고, 상기 절연 물질의 제2 층은 절연 물질의 제1 층과 친밀한 접촉 상태로 존재하고, 상기 전도체의 제1 영역은 금속의 제1 영역과 전기적 소통 상태로 존재하며, 상기 절연 물질의 제3 층은 절연 물질의 제2 층과 친밀한 접촉 상태로 존재한다.

전자 구조물은 절연 물질의 제1 층과 절연 물질의 제2 층 사이에 위치한 유전체 캡 층을 추가로 포함할 수 있고, 전자 구조물은 절연 물질의 제2 층과 절연 물질의 제3 층 사이에 위치한 유전체 캡 층을 추가로 포함할 수 있다. 전자 구조물은 절연 물질의 제2 층과 절연 물질의 제3 층 사이에 위치한 제1 유전체 캡 층, 및 절연 물질의 제3 층의 정상에 있는 제2 유전체 캡 층을 추가로 포함할 수 있다.

유전체 캡 물질은 산화규소, 질화규소, 산질화규소(silicon oxinitride), 탄질화규소(silicon carbon nitride)(SiCN), Ta, Zr, Hf 또는 W인 내화성 금속을 지닌 내화성 금속 질화규소, 탄화규소, 탄산화규소(silicon carbo-oxide), 탄소 도핑된 산화물 및 이것의 수소화 또는 질화 화합물 중에서 선택할 수 있다. 제1 및 제2 유전체 캡 층은 유전체 물질의 동일한 군 중에서 선택할 수 있다. 절연 물질의 제1 층은 산화규소 또는 질화규소, 또는 이들 물질의 도핑 처리된 다양한 물질, 예컨대 PSG 또는 BPSG일 수 있다. 전자 구조물은 절연 물질의 제2 층 및 제3 층 중 적어도 하나에 증착된 유전체 물질의 확산 베리어 층을 추가로 포함할 수 있다. 전자 구조물은 RIE 하드 마스크/연마 정지 층으로서 사용하기 위한 절연 물질의 제2 층의 정상에서 유전체 층 및 유전체 RIE 하드 마스크/연마 정지 층의 정상에서 유전체 확산 베리어 층을 추가로 포함할 수 있다. 전자 구조물은 절연 물질의 제2 층의 정상에서 제1 유전체 RIE 하드 마스크/연마 정지 층, 제1 유전체 연마 정지 층의 정상에서 제1 유전체 RIE 확산 베리어 층, 절연 물질의 제3 층의 정상에서 제2 유전체 RIE 하드 마스크/연마 정지 층, 및 제2 유전체 연마 정지 층의 정상에서 제2 유전체 확산 베리어 층을 추가로 포함할 수 있다. 전자 구조물은 다상 물질의 레벨간 유전체와 본 발명의 초저 k 막의 레벨내 유전체 사이의 상기 언급한 바와 같은 동일한 물질의 유전체 캡 층을 추가로 포함할 수 있다.

도면에 관한 간단한 설명

본 발명의 이들 목적, 특징 및 이점과 기타 목적, 특징 및 이점은 후술하는 발명의 상세한 설명 및 첨부된 도면으로부터 명백히 이해할 수 있을 것이다. 상기 도면을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

도 1a는 본 발명의 이중 상 물질의 확대 단면도를 도시한 것이다.

도 1b는 본 발명의 이중 상 물질의 제1 상의 무작위 공유결합 구조물의 대표적인 개략도를 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 삼중 상 물질의 확대 단면도를 도시한 것이다.

도 3은 본 발명의 평행판 화학 증착 반응기의 단면도를 도시한 것이다.

도 4는 다상 초저 k 막으로 형성된 레벨내 유전체 층 및 레벨간 유전체 층을 보유하는 본 발명의 전자 디바이스의 확대 단면도를 도시한 것이다.

도 5는 본 발명의 다상 초저 k 막의 정상에 증착된 추가의 확산 베리어 유전체 캡 층을 보유하는 도 4의 본 발명의 전자 구조물의 확대 단면도를 도시한 것이다.

도 6은 연마 정지 층의 정상에 증착된 추가의 RIE 하드 마스크/연마 정지 유전체 캡 층 및 유전체 캡 확산 베리어 층을 보유하는 도 5의 본 발명의 전자 구조물의 확대 단면도를 도시한 것이다.

도 7은 다상 초저 k 막의 정상에 증착된 추가의 RIE 마스크/연마 정지 유전체 층을 보유하는 도 6의 본 발명의 전자 구조물의 확대 단면도를 도시한 것이다.

본 발명에 관한 상세한 설명

본 발명은 개선된 탄성 모듈러스 및 경도를 보유하는 다상 초저 k 막, 및 그러한 막을 제조하는 방법을 개시한다. 바람직한 실시양태에서 개시된 막은 제1 상이 공유 결합된 망상구조에서 Si, C, O 및 H로 이루어지는 수소화된 산화 규소 탄소 물질(SiCOH)의 "호스트" 매트릭스인 2 이상의 상을 함유한다. 본 발명의 다상 초저 k 막의 나머지 상은 C 및 H 원자로서 주로 이루어진다. 다상 초저 k 막은 분자 규모 소공 또는 공극, 대략 0.5 나노미터 내지 20 나노미터의 직경을 가진 소공 또는 공극을 추가로 함유할 수 있다.

더구나, 본 발명의 초저 k 막은 약 2.7 이하, 바람직하게는 약 2.4 이하의 유전 상수, 약 7 또는 그보다 큰 탄성 모듈러스 및 약 1.2 또는 그보다 큰 경도를 보유한다. 훨씬 더 바람직하게도, 상기 다상 초저 k 막은 약 2.2 이하의 유전 상수, 약 5 또는 그보다 큰 탄성 모듈러스, 및 약 0.8 또는 그보다 큰 경도를 보유한다. 본 발명은 평행판 플라즈마 강화형 화학 증착 반응기를 이용하여 다상 초저 k 막을 제조하는 다양한 방법을 추가로 개시한다.

도 1a를 참조하면, 본 발명의 이중 상 물질은 확대 단면도로 도시되어 있다. 제1 상(100)은 공유 결합된 망상구조에서 Si, C, O 및 H를 포함하고 3.6 이하의 유전 상수를 보유하는 수소화된 산화 탄소 규소 물질(SiCOH)인 "호스트" 매트릭스이다. 제1 상의 공유 결합된 망상구조는 도 1b에 도시되어 있다.

도 1b를 참조하면, 굵은 선은 Si, C, O 및 H 원자들 간의 공유 결합을 나타낸다. 이는 무작위 망상구조이므로, 기본 반복 단위가 구조에 존재하지 않는다. 수소 원자는 도면 부호(101)로 표시된 "H"로서 도시되어 있다. 망상구조에서 산소 원자는 "O"로서 도시되어 있고, 도면(102)로 표시되어 있다. 망상구조에서 탄소 원자는 "C"로서 도시되어 있고, 도면 부호(103)로 표시되어 있다. 망상구조에서 규소 원자는 4개의 선의 교차점으로 도시되고 도면 부호(104)로 표시되어 있다. 산소 원자(102)는 C 또는 Si의 2개 원자들 사이에 존재한다.

제1 상 이내에는 본 발명의 초저 k 막의 제2 상(105)이 위치해 있다. 제2 상은 C 및 H 원자로서 주로 이루어져 있다. 다상 물질은 나노미터 크기, 즉 0.5 나노미터 내지 20 나노미터의 직경을 가진 다수의 소공을 추가로 포함한다. 제1 상의 공유 결합된 망상구조는 또한 "호스트" 매트릭스라고 칭하며, 도 1b에 도시되어 있다.

도 2를 참조하면, 본 발명의 삼중 상 초저 물질이 확대 단면도로 도시되어 있다. 제1 상(100)은 공유 결합된 망상구조에서 Si, C, O 및 H로 이루어지고 3.6 이하의 유전 상수를 보유하는 수소화된 산화 규소 탄소 물질(SiCOH)인 "호스트" 매트릭스이다. 제1 상의 구조는 상기 도 1b에 도시되어 있다. 제1 상 이내에는 본 발명의 초저 k 물질의 제2 상(105) 및 본 발명의 초저 k 물질의 제3 상(107)이 위치해 있다. 제2 상은 C 및 H로서 주로 이루어지고 나노미터 크기, 즉 0.5 나노미터 내지 200 나노미터의 직경을 지닌 다수의 소공을 보유한다.

본 발명의 막의 대안적인 실시양태에서, 제3 상(107)은 본 발명의 다상 물질의 제1 층의 무작위 망상구조(1b)의 분열로서 설명될 수 있는 개방 영역(또는 공극)으로서 존재할 수 있다. 대안으로, 제3 상은 C 및 H로 이루어지고 나노미터 크기를 지닌 다수의 소공을 보유한다. 소공 크기는 이중 상 조성물 내의 소공보다 더 클 수 있다. 구체적으로, 제3 층에서 소공의 크기는 직경이 0.5 나노미터 내지 100 나노미터이다.

본 발명의 다상 초저 k 막은 또한 약 5 내지 약 40 원자% Si; 약 5 내지 약 45 원자% C; 0 내지 약 50 원자% O; 및 약 10 내지 약 55 원자% H를 보유하는 것을 특징으로 한다.

보다 바람직하게도, 상기 막은 약 10 내지 약 20 원자% Si; 약 20 내지 약 35 원자% C; 약 15 내지 35 원자% O; 및 약 20 내지 약 45 원자% H를 포함한다.

본 발명에 따라 제조된 한 예시의 막에서, 조성은 15 원자% Si; 28% C; 24 원자% O; 및 33 원자% H이고, RBS를 사용하여 측정할 때 밀도가 $1.55 \pm 0.2 \text{ g/cm}^3$ 이다.

상기 언급한 바와 같이, 본 발명의 다상 초저 k 막은 3가지 상이한 실시양태를 이용함으로써 형성시킬 수 있다. 제1 실시양태에서, 초저 k 막은 플라즈마 강화형 화학 증착 반응기를 제공하는 단계, 반응기 내에 기판을 배치하는 단계, Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 제1 전구물질 기체 또는 기체 혼합물을 반응기 내로 흐르게 하는 단계, C, H 및 임의로 F, N 및 O 원자를 함유하는 유기 화합물을 주로 포함하는 제2 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계, 3개 이상, 바람직하게는 4개의 Si-O 결합을 함유하는 실록산 분자를 포함하는 제3 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계 및 기판 상에 초저 k 막을 증착시키는 단계에 의해 제조한다.

제2 실시양태에서, 초저 k 막은 플라즈마 강화형 화학 증착 반응기를 제공하는 단계, 반응기 내에 기판을 배치하는 단계, Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 제1 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계, C, H 및 임의로 F, N 및 O 원자를 함유하는 유기 분자를 주로 포함하는 제2 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계, 전자 빔에 민감한 반응성 기를 함유하는 분자를 포함하는 제3 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계, 반응기 내에서 기판 상에 초저 k 막을 증착시키는 단계 및 증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계를 포함하는 방법을 이용하여 제조한다. 제3 전구물질 기체는 실록산 또는 2작용성 유기 분자일 수 있다.

본 발명의 제3 실시양태에서, 초저 k 유전체 막은 플라즈마 강화형 화학 증착 반응기를 제공하는 단계, 반응기 내에 기판을 배치하는 단계, Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 제1 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계, 전자 빔에 민감한 반응성 기를 함유하는 분자를 포함하는 제2 전구물질 기체를 반응기 내로 흐르게 하는 단계, 기판 상에 다상 초저 k 막을 증착시키는 단계, 및 증착된 막을 전자 빔 방사선으로 경화시키는 단계에 의해 제조한다. 본 발명의 제3 실시양태에서 사용된 제2 전구물질 기체는 실록산 또는 2작용성 유기 분자일 수 있다.

상기 언급한 본 발명의 3가지 실시양태에서, 이용된 제1 전구물질은 적어도 Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 1종 이상의 분자로부터 선택할 수 있다. O_2 및 NO_2 와 같은 산화 분자는 제1 전구물질에 첨가할 수 있다. 제1 전구물질은 Si, C, O 및 H 원자를 함유하는 실록산이 바람직하고, 고리형 실록산이 특히 바람직하다. 일부 매우 바람직한 제1 전구물질의 예로는 고리 구조를 지닌 분자, 예컨대 1,3,5,7-테트라메틸시클로테트라실록산(TMCTS 또는 $\text{C}_4\text{H}_{16}\text{O}_4\text{Si}_4$), 옥타메틸시클로테트라실록산(OMCTS 또는 $\text{C}_8\text{H}_{24}\text{O}_4\text{Si}_4$), 테트라에틸시클로테트라실록산($\text{C}_8\text{H}_{24}\text{O}_4\text{Si}_4$), 데카메틸시클로펜타실록산($\text{C}_{10}\text{H}_{30}\text{O}_5\text{Si}_5$), 트리메틸시클로트리실록산, 헥사메틸시클로트리실록산, O_2 및 N_2O 와 같은 산화제와 혼합된 메틸실란의 분자 또는 Si, O 및 C의 전구물질 혼합물 중에서 선택된 실록산을 들 수 있다. 전구물질은 기체로서 반응기에 직접 전달될 수 있거나, 기화된 액체로서 반응기 내에 직접 전달될 수 있거나, 또는 헬륨 또는 아르곤과 같은 불활성 캐리어 기체에 의해 수송될 수 있다. 제1 전구물질 물질은 질소, 불소 또는 게르마늄과 같은 원소를 추가로 함유할 수 있다.

본 발명의 제1 및 제2 실시양태에서 사용된 제2 전구물질은 C 및 H 원자를 함유하는 1종 이상의 유기 분자 중에서 선택할 수 있다. 따라서, 본 발명은 단일 제2 전구물질을 사용하거나, 또는 2종 이상의 제2 전구물질, 바람직하게는 2가지 상이한 전구물질의 조합물을 사용하는 경우에 실제 예들을 고려할 수 있다. 임의로, O, N 또는 F 원자는 유기 분자 내에 함유할 수 있거나, 또는 그러한 원자를 함유하는 유기 분자는 전구물질 혼합물에 첨가할 수 있다. 이 전구물질은 기체로서 반응기 내에 직접 전달되거나, 기화된 액체로서 반응기 내에 직접 전달되거나, 또는 헬륨 또는 아르곤과 같은 불활성 캐리어 기체에 의해 수송될 수 있다.

한 실시양태에서, 제2 전구물질은 C 및 H를 함유하는 고리 구조를 지닌 분자, 예컨대 고리형 탄화수소, 고리형 알콜, 고리형 에테르, 고리형 알데히드, 고리형 케톤, 고리형 에스테르, 페놀, 고리형 아민 또는 O, N 또는 F 함유 고리형 탄화수소를 포함하는 군 중에서 선택된다. 제2 전구물질 분자는 약 6개 내지 12개 탄소 원자를 함유하는 다중 고리형(다고리형) 탄화수소, 바람직하게는 3개 이상의 원자를 지닌 고리인 것이 보다 바람직하다. 바람직한 예로는 2,5-노르보르나디엔(또한, 바이시클로[2.2.1]헵타-2,5-디엔이라고도 공지됨), 노르보르닐렌 2,5-노르보르나디엔(또한, 바이시클로[2.2.1]헵타-2,5-디엔이라고도 공지됨), 노르보난(또한, 바이시클로[2.2.1]헵타이라고도 공지됨)을 들 수 있다. 다른 예로는 트리시클로[3.2.1.0]옥탄, 트리시클로[3.2.2.0]노난, 접속된 고리 탄화수소, 예컨대 스피로[3.4]옥탄, 스피로[4.5]노난, 스피로[5.6]데칸 등이 있다. 대안으로, 5개 내지 12개의 탄소 원자를 함유하는 고리형 탄화수소(시클로펜탄, 시클로헥산 등)을

사용할 수 있고, 또한 6개 내지 12개의 원자를 함유하는 고리형 방향족 탄화수소(벤젠, 톨루엔, 크실렌 등)를 사용할 수 있다. 임의로, O 또는 F 원자는 분자 내에 함유될 수 있거나, 또는 그러한 원자를 함유하는 분자는 전구물질 혼합물에 첨가될 수 있다.

적어도 하나가 헤테로원자, 우선적으로 산소를 함유하고 있는 것인 융합된 고리를 함유하는 화학종이 특히 유용하다. 이들 화학종 중에서, 가장 적합한 것은 유의적인 고리 긴장(ring strain)을 부여하는 크기의 고리, 즉 3개 또는 4개의 원자 및/또는 7개 또는 그 이상의 원자로 된 고리를 포함하는 것들이다. 특히 매력적인 것으로는 옥사바이사이클로[3.1.0]헥산 또는 시클로펜텐 옥사이드(760 mmHg에서 bp=102°C), 7-옥사바이사이클로[4.1.0]헵탄 또는 시클로헥센(760 mmHg에서 bp=129°C), 9-옥사바이사이클로[6.1.0]노난 또는 시클로옥텐 옥사이드(5 mmHg에서 bp=55°C), 및 7-옥사바이사이클로[2.2.1]헵탄 또는 1,4-에폭시시클로헥산(713 mmHg에서 bp=119°C)이 있다. 본 발명의 제1 실시양태에서 사용되는 매우 바람직한 융합된 고리 화학종은 시클로펜텐 옥사이드(CPO)이다.

본 발명의 제1 실시양태에서, 방법은 3개 이상, 바람직하게는 4개의 Si-O 결합을 함유하는 실록산 분자를 포함하는 제3 전구물질 또는 이것의 혼합물을 포함한다. 본 발명의 제1 실시양태에서 사용된 이러한 전구물질은 정사면체 Si-O 결합의 (총 전구물질 흐름을 기준으로 하여 약 0.1% 내지 약 10%의 크기로 존재하는) 적은 농도를 형성된 다상 초저 k 막을 첨가한다. 본 발명의 제1 실시양태에서 사용된 제3 전구물질은 테트라메틸오르토실리케이트(TMOS), 테트라에틸오르토실리케이트(TEOS), 비닐트리에톡시실란, 알릴트리에톡시실란, 비닐트리에톡시실란, 알릴트리에톡시실란, 페닐트리에톡시실란 및 페닐트리에톡시실란 중에 선택된 실록산을 포함할 수 있다. 이러한 군의 전구물질은 또한 예를 들어 디비닐디메톡시실란과 같은 2개의 불포화기를 함유하는 실록산을 포함한다. 전구물질은 기체로서 반응기에 직접 전달될 수 있거나, 또는 기화된 액체를 반응기 내에 직접 전달될 수 있거나, 또는 헬륨 또는 아르곤과 같은 불활성 캐리어 기체에 의해 수송될 수 있다.

본 발명의 제2 및 제3 실시양태는 전자 빔 방사선에 민감한 반응성 기, 전형적으로 적어도 1개의 C-C 이중 결합, 삼중 결합 또는 불포화 고리를 함유하는 불포화 탄화수소 기를 함유하는 분자를 포함하는 전구물질 기체 또는 이것의 혼합물의 사용을 재인용한다. 전구물질은 불포화 탄화수소 기를 함유하는 실록산일 수 있거나, 또는 2작용성 유기 분자일 수 있다. 전자 빔에 민감한 반응성 기의 예로는 비닐기, 알릴기, 페닐기, 아세틸렌기, 및 이들의 혼합물을 들 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다. 전자 빔에 민감한 반응성 기를 함유하는 실록산 분자를 포함하는 전구물질 기체의 예시적인 예로는 비닐트리에톡시실란, 알릴트리에톡시실란, 알릴트리에톡시실란, 페닐트리에톡시실란, 페닐트리에톡시실란, 제한되는 것은 아니지만 비닐, 알릴, 페닐 및 아세틸렌 기를 비롯한 불포화 탄화수소기를 함유하는 관련된 실록산을 들 수 있다. 전자 빔에 민감한 반응성 기를 함유하는 2작용성 유기 분자를 포함하는 전구물질 기체의 예시적인 예로는 직쇄형 불포화 분자, 예컨대 1,3-부타디엔, 1,4-펜타디엔, 1,5-헥사디엔을 들 수 있고, 또한 단일 고리형 2작용성 분자, 예컨대 시클로옥타디엔, 이중 고리형 2작용성 분자, 예컨대 바이사이클로[2.2.1]헵타-2,5-디엔(또는 "노르보르나디엔") 및 1개 이상의 불포화 C-C 이중 또는 삼중 결합을 함유하는 관련된 유기 분자를 들 수 있다.

전구물질은 기체로서 반응기에 직접 전달될 수 있거나, 또는 기화된 액체를 반응기 내에 직접 전달될 수 있거나, 또는 헬륨 또는 아르곤과 같은 불활성 캐리어 기체에 의해 수송될 수 있다.

본 발명의 방법은 각각 플라즈마 강화형 화학 증착(PECVD) 반응기의 사용을 포함한다. 형성된 증착은 연속 모드 또는 펄스화 모드에서 수행할 수 있다. 본 발명에 사용된 PECVD 반응기는 평행판 유형 반응기인 것이 바람직하다. 도 3은 본 발명에 사용될 수 있는 공정 200 mm 웨이퍼에 대한 평행판 PECVD 반응기(10)의 간략도를 제공한다. 기체 전구물질은 기체 분배 플레이트(GDP)(14)를 통해 반응기(10) 내로 도입되며, 상기 기체 분배 플레이트는 챔버에 의해 기관 척(12)으로부터 분리되고 펌핑 출입구(18)를 통해 펌핑된다. RF 전력(20)은 기관 척(12)에 접속되고, 기관(22)에 전달된다. 실제적인 목적을 위해서, 반응기의 모든 기타 부품은 접지되어 있다. 이어서, 기관(22)은 음의 바이어스를 습득하고, 그 값은 반응기 기하구조 및 플라즈마 파라미터에 따라 좌우된다. 상이한 실시양태에서, RF 전력(20)은 GDP(14)에 접속될 수 있으며, GDP는 전기적으로 반응기와 절연되어 있고, 기관 척(12)은 접지되어 있다. 또다른 실시양태에서는 1개 이상의 전력 공급원을 이용할 수 있다. 실제 예를 들면, 2개의 전력 공급원은 동일한 RF 진동수로 작동할 수 있거나, 또는 하나는 낮은 진동수로 작동하고 하나는 높은 진동수로 작동할 수 있다. 이 2개의 전력 공급원은 모두 동일 전극에 접속되거나 또는 별도의 전극에 접속될 수 있다. 또다른 실시양태에서, RF 전력 공급원은 증착 동안 펄스화로 전력 공급 및 중단될 수 있다. 저 k 막의 증착 동안 공정 변수는 RF 전력, 전구물질 혼합물 및 유량, 반응기내 압력 및 기관 온도이다.

도 3에서, X는 반응기의 측벽들 간의 거리를 나타내고, Y는 반응기의 정상 벽과 바닥 벽 간의 거리를 나타내며, Z는 반응기의 정상 벽과 기관(22)의 정상 표면 간의 거리를 나타낸다.

막의 증착 공정 동안 제어되는 주요 공정 변수는 RF 전력, 전구물질의 유량, 반응기 압력 및 기판 온도이다. 강조할 점은, 본 발명에 따른 제조 방법은 특이하게 한정된 성장 조건을 지닌 특수한 기하구조를 보유하는 증착 반응기를 이용함으로써만 가능하다는 점이다. 상이한 기하구조의 반응기를 한정된 성장 조건 하에 사용하는 경우, 생성된 막은 초저 유전 상수를 달성할 수 없다.

실제 예를 들면, 본 발명에 따른 평행판 반응기는 약 300 cm^2 내지 약 800 cm^2 , 바람직하게는 약 500 cm^2 내지 약 600 cm^2 의 기판 척의 면적을 보유해야 한다. 기판과 기체 분배 플레이트(또는 정상 전극) 간의 갭은 약 0.1 cm 내지 약 10 cm , 바람직하게는 약 1.5 cm 내지 약 7 cm 이다. RF 전력은 약 12 MHz 내지 약 15 MHz , 바람직하게는 약 13.56 MHz 의 진동수로 전극 중 하나에 인가된다. 낮은 진동수, 1 MHz 이하의 전력은 0 내지 1.5 W/cm^2 의 전력 밀도로 RF 전력으로서 동일한 전극에 인가될 수 있거나, 또는 반대 전극에 인가될 수 있다.

또한, 이용된 증착 조건은 본 발명에 따른 증착 공정의 성공적인 실시를 가능하도록 하는 데 중요하다. 실제 예를 들면, 웨이퍼 온도는 약 25°C 내지 약 325°C , 바람직하게는 약 60°C 내지 약 200°C 로 사용된다. RF 전력 밀도는 약 0.05 W/cm^2 내지 약 4.0 W/cm^2 , 바람직하게는 약 0.25 W/cm^2 내지 약 4 W/cm^2 로 사용된다.

본 발명의 제1 실시양태에서, 제1 전구물질 기체, 예를 들면 TMCTS의 반응물 기체 유량은 약 5 sccm 내지 약 1000 sccm , 바람직하게는 약 25 sccm 내지 약 200 sccm 으로 사용된다. 제2 전구물질 기체, 예를 들면 CPO의 반응물 기체 유량은 약 5 sccm 내지 약 $50,000\text{ sccm}$, 바람직하게는 약 25 sccm 내지 약 $10,000\text{ sccm}$ 으로 사용된다. 본 발명의 제1 양태에서 사용되는 제3 전구물질 기체, 즉 3개 이상의 Si-O 결합을 함유하는 실록산 분자의 유량은 약 5 sccm 내지 약 1000 sccm 이고, 제3 전구물질 기체의 유량은 10 sccm 내지 약 500 sccm 인 것이 매우 보다 바람직하다.

본 발명의 제2 실시양태에서, 제1 전구물질 기체, 예를 들면 TMCTS의 반응물 기체 유량은 약 5 sccm 내지 약 1000 sccm , 바람직하게는 약 25 sccm 내지 약 200 sccm 으로 사용된다. 제2 전구물질 기체, 예를 들면 CPO의 반응물 기체 유량은 약 5 sccm 내지 $50,000\text{ sccm}$, 바람직하게는 약 25 sccm 내지 약 $10,000\text{ sccm}$ 으로 사용된다. 본 발명의 제2 실시양태에서 사용되는 제3 전구물질 기체, 즉 전자 빔 방사선에 민감한 반응성 기를 함유하는 분자의 유량은 약 5 sccm 내지 약 1000 sccm 이고, 10 sccm 내지 약 500 sccm 인 것이 매우 보다 바람직하다.

본 발명의 제3 실시양태에서, 제1 전구물질 기체, 즉 TMCTS의 반응물 기체 유량은 약 5 sccm 내지 약 1000 sccm , 바람직하게는 약 25 sccm 내지 약 200 sccm 으로 사용된다. 본 발명의 제3 실시양태에서 사용되는 제2 전구물질 기체, 즉 전자 빔 방사선에 민감한 반응성 기를 함유하는 분자의 반응물 기체 유량은 약 5 sccm 내지 약 1000 sccm 이고, 10 sccm 내지 약 500 sccm 인 것이 매우 보다 바람직하다.

본 발명의 일부 실시양태에서, He는 상기 언급한 혼합물에 약 50 sccm 내지 5000 sccm 의 유량으로 첨가한다. He는 기체 전구물질 중 임의의 것에 첨가할 수 있고, 캐리어 기체로서 사용될 수 있거나, 또는 별도로 PECVD 반응기에 도입시킬 수 있다.

He이 캐리어 기체로서 사용되는 3가지 실시양태 각각에서 기체 전구물질의 전체 반응물 기체 유량은 약 25 sccm 내지 약 $10,000\text{ sccm}$ 이다. He이 캐리어 기체로서 사용되는 3가지 실시양태 각각에서 기체 전구물질의 전체 반응물 기체 유량은 약 50 sccm 내지 5000 sccm 인 것이 바람직하다.

더구나, 3가지 실시양태 각각에서 이용된 제1 전구물질은 캐리어 기체로서 CO_2 와 함께 PECVD 반응기에서 혼합할 수 있거나, 또는 제1 및 제2 전구물질 기체는 CO_2 또는 CO_2 와 O_2 의 혼합물과 PECVD 반응기에서 혼합할 수 있다. PECVD 반응기에서 CO_2 를 캐리어 기체로서 제1 전구물질에 첨가하거나, 또는 CO 또는 CO_2 와 O_2 의 혼합물을 제1 및 제2 전구물질에 첨가하는 것은 PECVD 반응기에서 플라즈마에 대한 안정화 효과를 제공하고 기판 상에 증착된 막의 균일성을 개선시킨다. CO_2 를 제1 및 제2 전구물질과 혼합하는 경우, CO_2 의 양은 약 25 sccm 내지 약 1000 sccm , 보다 바람직하게는 약 50 sccm 내지 약 500 sccm 일 수 있다. CO_2 와 O_2 의 혼합물을 제1 및 제2 전구물질과 혼합하는 경우, 혼합된 CO_2 의 양은 약 25 sccm 내지 약 1000 sccm 일 수 있고, 혼합된 O_2 의 양은 약 0.5 sccm 내지 50 sccm 일 수 있다. CO_2 의 양은 약 50 sccm 내지 약 500 sccm 이고, O_2 의 양은 약 1 sccm 내지 약 30 sccm 인 것이 보다 바람직하다. 대안으로, He와 CO_2 의 혼합물 또는 He 단독물은 상기 실시양태에서 CO_2 대신에 치환될 수 있다.

증착 공정 동안 반응기 압력은 약 50 mTorr 내지 약 5000 mTorr, 바람직하게는 약 100 mTorr 내지 약 3000 mTorr로 사용된다.

인자, X에 의한 기판 척의 면적에서의 변화, 즉 약 300 cm^2 내지 800 cm^2 의 범위에 있는 값의 변화는 앞에서 구체화된 것로부터 인자, X에 의해 RF 전력을 변화시킨다는 점에 유의해야 한다. 유사하게도, 인자, Y에 의한 기판 척의 면적에서의 변화, 및 앞에서 구체화된 것으로부터 인자 Z에 의해 기체 분배 플레이트와 기판 척 사이의 갭에서의 변화는 앞에서 구체화된 것으로부터 기체 유량에서의 인자, YZ에 의한 변화와 관련이 있다. 멀티스테이션 증착 반응기를 사용하는 경우, 기판의 면적은 각각의 개별 기판 척에 관련이 있고, 기체의 유량은 한개의 개별 증착 스테이션에 관련이 있다. 따라서, 반응기에 대한 전체 유량 및 전체 전력 입력은 반응기 내부의 증착 스테이션의 전체 수에 의해 배가된다.

3가지 실시양태 각각에서, 증착된 막은 추가의 집적화 공정을 수행하기 전에 임의로 안정화시킬 수 있다. 이 안정화 공정은 0.25 시간 이상의 시간 동안 300°C 이상의 온도에서 어닐링 처리함으로써 수행한다. 어닐링은 약 0.5 시간 내지 약 4 시간의 시간 동안 약 300°C 내지 약 450°C 에서 퍼니스(furnace) 어닐링 단계에서 수행하는 것이 보다 바람직하다. 또한, 안정화 공정은 약 300°C 이상의 온도에서 급속한 어닐링 공정으로 수행할 수도 있다. 비산화 주위 조건에서 본 발명에 따라 얻어지는 막의 열적 안정성은 400°C 이상의 온도까지이다. 본 발명의 이러한 단계는 본 발명의 다상 초저 k 막의 유전 상수를 추가로 감소시키는 작용을 한다. 열 처리 단계 동안, C와 H, 및 임의로 O 원자를 포함하는 유기 전구물질로부터 유도된 분자 단편은 열적으로 분해될 수 있고 막으로부터 방출되는 보다 작은 분자로 전환될 수 있다. 임의로, 공극의 추가적인 전개는 분자 단편의 전환 및 방출에 의해 막 내에서 발생할 수 있다. 따라서, 막 밀도는 감소하게 된다.

본 발명의 훨씬 더 바람직한 실시양태에서, 어닐링은 2가지 가열 단계를 이용하여 수행한다. 제1 가열 단계에서는, 막을 제 1 시간 동안 약 300°C 이하인 온도로 가열하고, 이후 제2 가열 단계에서는 막을 제2 시간 동안 약 300°C 이상의 온도로 가열하며, 여기서 제2 시간은 제1 시간보다 더 길다. 제2 시간은 제1 시간보다 10 배 이상 더 긴 것이 바람직하다.

본 발명의 3가지 실시양태 각각에서, 하지만 특히 본 발명의 제2 및 제3 실시양태에서, 경화 단계는 다상 초저 k 막의 증착 후 수행한다. 경화 단계는 약 350°C 내지 약 450°C 의 온도에서 약 0.5 분 내지 100 분의 시간 동안 전자 빔 방사선을 사용하여 수행한다. 예시적 조건은 약 1 keV 내지 100 keV의 전자 빔 에너지, 및 약 50 마이크로쿼리/cm² 내지 약 5000 마이크로쿼리/cm²와 동등한 전자 빔 방사선의 선량의 사용이다. 바람직한 조건은 약 2 keV 내지 30 keV의 전자 빔 에너지, 및 약 100 마이크로쿼리/cm² 내지 약 2000 마이크로쿼리/cm²에 동등한 전자 방사선의 선량의 사용이다. 일부 실시양태에서, 전자 빔 경화 단계는 진공 하에 수행한다. 본 발명의 제2 및 제3 실시양태에서, 다상 초저 k 막의 증착을 수행한 후 전자 빔 경화 단계는 적용하여 막의 정상 표면에서 보다 조밀한 영역을 형성하는데, 이는 전자 빔 방사선 조건을 조정함으로써 이루어진다. 조밀한 영역은 초저 k 막의 정상 내에 형성되는 CMP 정지(stop) 영역으로서 유용할 수 있다.

본 발명의 공정에 의해 얻어지는 다상 초저 k 막은 유전 상수가 $k < 2.7$ 인 것을 특징으로 하고, 450°C 까지의 온도에서 정상적으로 공정 처리되는 BEOL 인터커넥트 구조물에서 공정 집적화에 열적으로 안정한다. 더구나, 다상 초저 k 막은 수증에서 극히 낮은 균열 전파 속도, 즉 10^{-9} m/s 이하를 보유할 수 있으며, 그 전파 속도가 심지어 10^{-11} m/s 이하일 수 있다. 그러므로, 다상 막 및 그 형성 방법은 논리 및 메모리 디바이스를 위한 BEOL 공정에서 레벨내 및 레벨간 유전체로서 다상 초저 k 막을 생성시키는 데 용이하게 적용시킬 수 있다. 또한, 본 발명의 초저 k 막은 앞에서 언급한 바와 같이 개선된 탄성 모듈러스 및 경도를 비롯한 개선된 기계적 특성을 보유하는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 신규한 방법에 의해 형성된 전자 디바이스는 도 4 내지 도 7에 도시되어 있다. 도 4 내지 도 7에 도시되어 있는 디바이스가 단지 본 발명의 예시적인 예에 불과하고, 한편 무수한 갯수의 다른 디바이스가 또한 본 발명의 신규한 방법에 의해 형성될 수 있다는 점을 유의해야 한다.

본 발명의 일부 실시양태에서, 본 발명의 막의 정상 표면에서 조밀한 영역은 전자 빔 조건을 조정함으로써 형성될 수 있다. 그러한 막의 조밀한 영역은 CMP 에칭 단계에 유용하다. 조밀화된 정상 표면을 보유하는 그러한 막은 본 명세서에 설명된 전자 디바이스 중 어느 것이든지에 사용할 수 있다.

도 4에는 규소 기판(32) 상에 형성된 전자 디바이스(30)가 도시되어 있다. 규소 기판(32)의 정상에는 먼저 절연 물질 층(34)이 이 절연 물질 층에 매립된 금속의 제1 영역(36)과 함께 형성되어 있다. CMP 공정을 금속의 제1 영역(36) 상에서 수행한 후, 절연 물질의 제1 층(34) 및 금속의 제1 영역(36)의 정상에는 본 발명의 다상 초저 k 막(38) 증착되어 있다. 절연 물질의 제1 층(34)은 적합하게는 산화규소, 질화규소, 이들 물질의 도핑 처리된 변형물, 또는 임의의 다른 적합한 절연 물

질로 형성될 수 있다. 이어서, 다상 초저 k 막(38)은 에칭을 수행한 다음 포토리소그래피 공정에서 패터닝시키고, 그 위에 전도체 층(40)을 증착시킨다. CMP 공정을 제1 전도체 층(40) 상에서 수행한 후, 다상 초저 k 막의 제2 층(44)은 플라즈마 강화형 화학 증착 공정에 의해 제1 다상 초저 k 막(38) 및 제1 전도체 층(40) 위로 증착된다. 전도체 층(40)은 금속 물질 또는 비금속 전도성 물질로 증착될 수 있다. 실제 예를 들면, 알루미늄 또는 구리의 금속 물질, 또는 질화물 또는 폴리실리콘의 비금속 물질을 들 수 있다. 제1 전도체(40)는 금속의 제1 영역(36)과 전기적 소통 상태로 존재한다.

이어서, 전도체의 제2 층(50)은 에칭을 수행한 다음, 제2 다상 초저 k 막 층(44) 상에서 포토리소그래피 공정을 수행하고, 이어서 제2 전도체 물질에 대한 증착 공정을 수행한 후 형성된다. 또한, 전도체의 제2 영역(50)은 제1 전도체 층(40)을 증착시킬 때 사용된 것과 유사한 금속 물질 또는 비금속 물질로 증착될 수 있다. 전도체의 제2 영역(50)은 전도체의 제1 영역(40)과 전기적 소통 상태로 존재하고, 다상 초저 k 절연체의 제2 층(44) 내에 매립되어 있다. 다상 초저 k 막의 제2 층은 절연 물질의 제1 층(38)과 친밀한 접촉 상태로 존재한다. 이러한 예에서, 다상 초저 k 막의 절연 물질의 제1 층(38)은 레벨내 유전체 물질이고, 한편 절연 물질의 제2 층, 즉 다상 초저 k 막(44)은 레벨내 및 레벨간 유전체이다. 다상 초저 k 막의 낮은 유전 상수에 기초하여, 매우 우수한 절연 특성이 제1 절연 층(38) 및 제2 절연 층(44)에 의해 달성될 수 있다.

도 5는 도 4에 도시되어 있는 전자 디바이스(30)의 것과 유사한 본 발명의 전자 디바이스(60)를 도시한 것이며, 단 제1 절연 물질 층(38)과 제2 절연 물질 층(44) 사이에 증착된 추가의 유전체 캡 층(62)이 존재한다는 점을 예외로 한다. 이 유전체 캡 층(62)은 산화규소, 질화규소, 산질화규소, 내화성 금속이 Ta, Zr, Hf 또는 W인 내화성 금속 질화규소, 탄화규소, 탄질화규소(SiCN), 탄산화규소(SiCO), 및 이들의 수소화된 화합물과 같은 물질로 적절히 형성될 수 있다. 추가의 유전체 캡 층(62)은 제1 전도체 층(40)이 제2 절연 물질 층(44) 내로 또는 하부 층, 특히 층(34 및 35) 내로 확산되는 것을 방지하기 위한 확산 배리어 층으로서 작용을 한다.

본 발명의 전자 디바이스(70)의 또다른 대안적인 실시양태가 도 6에 도시되어 있다. 전자 디바이스(70)에서는 RIE 마스크 및 CMP(화학적 기계적 연마: chemical mechanical polishing) 연마 정지 층으로서 작용하는 2개의 추가 유전체 캡 층(72 및 74)이 사용된다. 제1 유전체 캡 층(72)은 제1 다상 초저 k 절연 물질 층(38)의 정상에 증착되고, RIE 마스크 및 CMP 정지로서 사용되므로, 제1 전도체 층(40 및 72)은 CMP 후 대략적으로 공동 평면이다. 제2 유전체 층(74)의 작용은 층(72)과 유사하긴 하지만, 층(74)은 제2 전도체 층(50)을 평탄화시키는 경우에 사용된다. 연마 정지 층(74)은 산화규소, 질화규소, 산질화규소, 내화성 금속이 Ta, Zr, Hf 또는 w인 내화성 금속 질화규소, 탄화규소, 탄산화규소(SiCO), 및 이들의 수소화 화합물과 같은 적절한 유전체 물질로 증착될 수 있다. 적절한 연마 정지 층 조성은 층(72 또는 74)의 경우 SiCH 또는 SiCOH이다. 제2 유전체 층(74)은 동일 목적을 위해서 제1 다상 초저 k 절연 물질 층(44)의 정상에 첨가할 수 있다.

본 발명의 전자 디바이스(80)의 또다른 대안적인 실시양태가 도 7에 도시되어 있다. 이러한 대안적인 실시양태에서, 유전체 물질의 추가 층(82)은 증착되어 제2 절연 물질 층(44)을 2개의 별도의 층(84 및 86)으로 분할한다. 그러므로, 도 4에 도시되어 있는 다상 초저 k 물질로 형성된 레벨내 및 레벨간 유전체 층(44)은 바이어(92)와 인터커넥트(94) 사이의 경계에서 레벨내 유전체 층(84)과 레벨간 유전체 층(86)으로 분할된다. 추가의 확산 배리어 층(96)이 상부 유전체 층(74)의 정상에 추가로 증착된다. 이러한 대안적인 실시양태 전자 디바이스(80)에 의해 제공된 추가 이점은 유전체 층(82)이 매우 우수한 인터커넥트 깊이 제어를 제공하는 RIE 에칭 정지로서 작용을 한다는 점이다. 따라서, 층(82)의 조성은 층(86)에 관하여 에칭 선택성을 제공하도록 선택된다.

또다른 대안적인 실시양태는 예비 공정 처리된 반도체 기판을 포함하는 배선 구조물에서 레벨내 또는 레벨간 유전체로서 절연 물질의 층들을 보유하는 전자 구조물에 관한 것으로, 상기 전자 구조물은 절연 물질의 제1 층에 매립된 금속의 제1 영역, 절연 물질의 제2 층에 매립된 전도체의 제1 영역, 전도체의 제1 영역과 전기적 소통하는 상태로 존재하고 절연 물질의 제3 층에 매립된 전도체의 제2 영역, 절연 물질의 제2 층과 절연 물질의 제3 층 사이의 제1 유전체 캡 층, 및 절연 물질의 제3 층의 정상에 있는 제2 유전체 캡 층을 보유하고, 상기 절연 물질의 제2 층은 절연 물질의 제1 층과 친밀한 접촉 상태로 존재하고, 상기 전도체의 제1 영역은 금속의 제1 영역과 전기적 소통 상태로 존재하며, 상기 절연 물질의 제3 층은 절연 물질의 제2 층과 친밀한 접촉 상태로 존재하고, 상기 제1 및 제2 유전체 캡 층은 Si, C, O 및 H 원자를 포함하는 물질 또는 바람직하게는 본 발명의 다상 초저 k 막으로 형성되어 있다.

본 발명의 또다른 대안적인 실시양태는 예비 공정 처리된 기판을 포함하는 배선 구조물에서 절연 물질의 층들을 보유하는 전자 구조물을 포함하고, 상기 전자 구조물은 절연 물질의 제1 층에 매립된 금속의 제1 영역, 절연 물질의 제1 층과 친밀한 접촉 상태로 존재하는 절연 물질의 제2 층에 매립된 전도체의 제1 영역, 전도체의 제1 영역과 전기적 소통 상태로 존재하고 절연 물질의 제3 층에 매립되는 전도체의 제2 영역, 및 절연 물질의 제2 층 및 제3 층 중 하나 이상에 증착된 본 발명의 다상 초저 k 막으로 형성된 확산 배리어 층을 보유하고, 상기 전도체의 제1 영역은 금속의 제1 영역과 전기적 소통 상태로 존재하며, 상기 절연 물질의 제3 층은 절연 물질의 제2 층과 친밀한 접촉 상태로 존재한다.

본 발명의 또다른 대안적인 실시양태는 예비 공정 처리된 반도체 기판을 포함하는 배선 구조물에서 레벨내 또는 레벨간 유전체로서 절연 물질의 층을 보유하는 전자 구조물을 포함하고, 상기 전자 구조물은 절연 물질의 제1 층에 매립된 금속의 제1 영역, 절연 물질의 제1 층과 친밀한 접촉 상태로 존재하는 절연 물질의 제2 층에 매립된 전도체의 제1 영역, 전도체의 제1 영역과 전기적 소통 상태로 존재하고 절연 물질의 제3 층에 매립되는 전도체의 2 영역, 절연 물질의 제2 층의 정상에 있는 반응성 이온 에칭(RIE: reactive ion etching) 하드 마스크/연마 정지 층, 및 RIE 하드 마스크 및/연마 정지 층의 정상에 있는 확산 베리어 층을 보유하며, 상기 전도체의 제1 영역은 금속의 제1 영역과 전기적 소통 상태로 존재하고, 상기 절연 물질의 제3 층은 절연 물질의 제2 층과 친밀한 접촉 상태로 존재하며, 상기 RIE 하드 마스크/연마 정지 층과 확산 베리어 층은 본 발명의 다상 초저 k 막으로 형성되어 있다.

또다른 대안적인 실시양태는 예비 공정 처리된 기판을 포함하는 배선 구조물에서 레벨내 또는 레벨간 유전체로서 절연 물질의 층들을 보유하는 전자 구조물을 포함하고, 상기 전자 구조물은 절연 물질의 제1 층에 매립된 금속의 제1 영역, 절연 물질의 제1 층과 친밀한 상태로 존재하는 절연 물질의 제2 층에 매립된 전도체의 제2 영역, 전도체의 제1 영역과 전기적 소통 상태로 존재하고 절연 물질의 제3 층에 매립되는 전도체의 제2 영역, 절연 물질의 제2 층의 정상에 있는 제1 RIE 하드 마스크, 연마 정지 층, 제1 RIE 하드 마스크/연마 정지 층이 정상에 있는 제1 확산 베리어 층, 및 제2 RIE 하드 마스크/연마 정지 층의 정상에 있는 제2 확산 베리어 층을 보유하며, 상기 전도체의 제1 영역은 금속의 제1 영역과 전기적 소통 상태로 존재하고, 상기 절연 물질의 제3 층은 절연 물질의 제2 층과 친밀한 접촉 상태로 존재하며, 상기 RIE 하드 마스크/연마 정지 층 및 확산 베리어 층은 본 발명의 다상, 초저 k 막으로 형성되어 있다.

본 발명의 또다른 대안적인 실시양태는 바로 위에서 설명한 것과 유사한 배선 구조물에서 레벨내 또는 레벨간 유전체로서 절연 물질의 층들을 보유하는 전자 구조물을 포함하고, 상기 구조물은 레벨간 유전체 층과 레벨내 유전체 층 사이에 위치해 있는, Si, C, O 및 H 원자를 포함하는 다상 물질로 형성되는 유전체 캡 층을 추가로 포함한다.

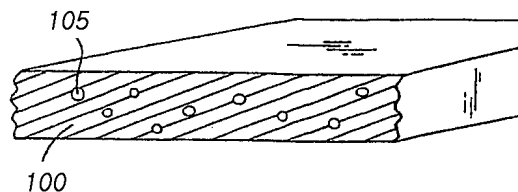
그러므로, 본 발명의 신규한 방법 및 이러한 방법에 의해 형성된 유전체 구조물은 상기 상세한 설명 및 첨부된 도면 1 내지 도면 7에서 자세히 기술하고 있다. 강조해야 할 점은, 도 4 내지 도 7에 도시된 본 발명의 전자 구조물의 예는 단지 본 발명의 신규한 방법에 대한 예시예로만 사용되는 것으로, 상기 방법은 무수한 갯수의 전자 다비이스의 제조에 적용할 수 있다.

본 발명을 예시적인 방식으로 설명하긴 했지만, 사용된 용어들은 설명을 제한하기보다는 오히려 설명하고자 하는 단어의 본질에 있는 것으로 이해해야 한다.

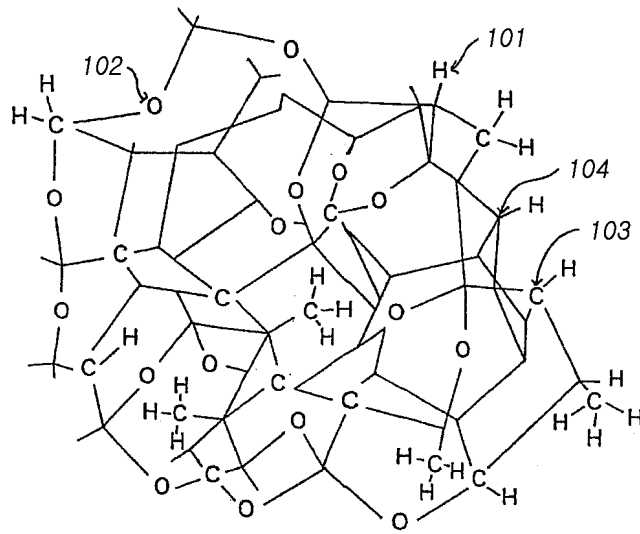
더구나, 본 발명은 바람직한 몇가지 대안적인 실시양태의 측면에서 설명하긴 했지만, 해당 기술 분야의 당업자라면, 본 발명의 기술은 본 발명의 다른 가능한 변형예에 용이하게 적용할 수 있는 것으로 이해해야 한다.

도면

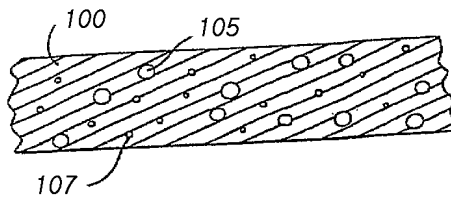
도면1a



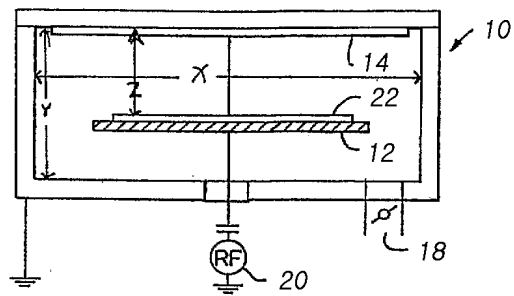
도면1b



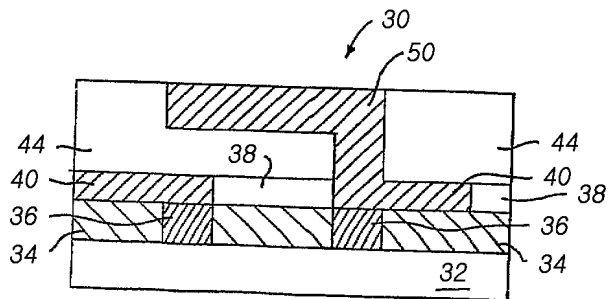
도면2



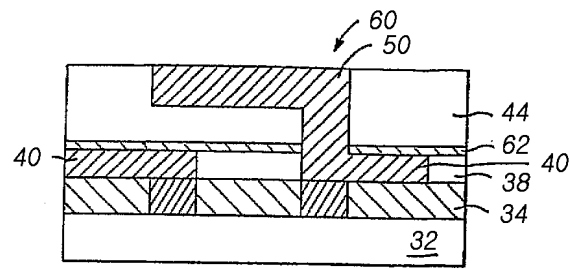
도면3



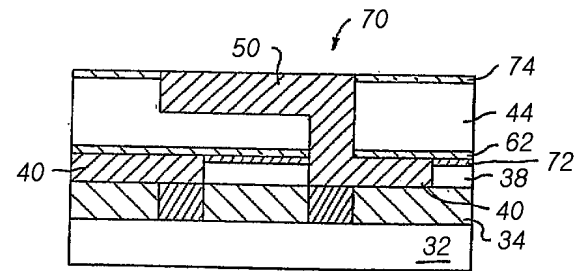
도면4



도면5



도면6



도면7

