



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0029539
(43) 공개일자 2010년03월17일

(51) Int. Cl.

H01L 21/265 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0088361

(22) 출원일자 2008년09월08일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울 서대문구 신촌동 134 연세대학교

(72) 발명자

조만호

서울특별시 용산구 이촌동 강촌아파트 104-1803

이우정

서울특별시 서대문구 연희동 69-7번지

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인지명

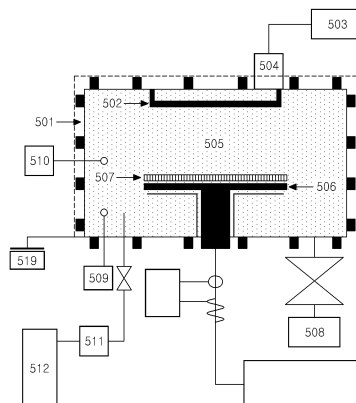
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법

(57) 요약

본 발명은 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법에 관한 것으로, 특히 4족 물질로 구성된 기판을 진공 반응기 내의 타겟 스테이지 상에 올려놓는 제 1 단계; 탄소 화합물을 포함하는 작용 가스를 상기 진공 반응기 내로 유입하는 제 2 단계; 상기 유입된 작용 가스를 고주파수 전자기장에 통과시켜 플라즈마 이온을 생성하는 제 3 단계; 및 상기 생성된 플라즈마 이온에 상기 기판과 수직 방향의 펄스 바이어스를 가해 상기 플라즈마 이온이 상기 기판 표면에 주입되어 도핑 되는 제 4 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도5



(72) 발명자

고대홍

경기도 고양시 일산서구 주엽동 강선마을 경남아파트 203-503

김상연

경기도 성남시 분당구 수내동 양지한양아파트 603-2402

특허청구의 범위

청구항 1

4족 물질로 구성된 기판을 진공 반응기 내의 타겟 스테이지 상에 올려놓는 제 1 단계;

탄소 화합물을 포함하는 작용 가스를 상기 진공 반응기 내로 유입하는 제 2 단계;

상기 유입된 작용 가스를 고주파수 전자기장에 통과시켜 플라즈마 이온을 생성하는 제 3 단계; 및

상기 생성된 플라즈마 이온에 상기 기판과 수직 방향의 펄스 바이어스를 가해 상기 플라즈마 이온이 상기 기판 표면에 주입되어 도핑 되는 제 4 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 4족 물질은,

Si, Ge 및 SiGe 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 탄소 화합물은,

SiH_3CH_3 , SiCH_6 및 C_2H_4 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 제 3 단계의 플라즈마 이온을 생성하는 방법은,

CCP(capacitively coupled plasma), ICP(inductively coupled plasma source), Wave heated plasma(Micro plasma, ECR(microwave+B-field), Helicon and helical plasma(RF+B-field) 및 surface wave(10MHz~10GHz) 중에서 선택된 어느 하나의 방법인 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 제 3 단계에서 생성되는 물질은,

이온(ion), 전자(electron) 및 라디칼(radical) 중에서 선택된 어느 하나 이상인 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

청구항 6

4족 물질로 구성된 1차원 나노 구조물을 진공 반응기 내의 타겟 스테이지 상에 올려놓는 제 1 단계;

탄소 화합물을 포함하는 작용 가스를 상기 진공 반응기 내로 유입하는 제 2 단계;

상기 유입된 작용 가스를 고주파수 전자기장에 통과시켜 플라즈마 이온을 생성하는 제 3 단계; 및

상기 생성된 플라즈마 이온에 상기 타겟 스테이지와 수직 방향의 펄스 바이어스를 가해 상기 플라즈마 이온이 상기 1차원 나노 구조물 표면에 주입되어 도핑 되는 제 4 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 1차원 나노 구조물은,

나노와이어(nanowire), 나노로드(nanorod), 나노니들(nanoniddle), 나노벨트(nanobelt) 및 나노리본(nanoribbon) 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서, 상기 4족 물질은,

Si, Ge 및 SiGe 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서, 상기 탄소 화합물은,

SiH_3CH_3 , SiCH_6 및 C_2H_4 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

청구항 10

제 6 항에 있어서, 상기 제 3 단계의 플라즈마 이온을 생성하는 방법은,

CCP(capacitively coupled plasma), ICP(inductively coupled plasma source), Wave heated plasma(Micro plasma, ECR(microwave+B-field), Helicon and helical plasma(RF+B-field) 및 surface wave(10MHz~10GHz) 중에서 선택된 어느 하나의 방법인 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

청구항 11

제 6 항에 있어서, 상기 제 3 단계에서 생성되는 물질은,

이온(ion), 전자(electron) 및 라디칼(radical) 중에서 선택된 어느 하나 이상인 것을 특징으로 하는 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 반도체 제조 기술에 관한 것으로, 보다 상세하게는 플라즈마를 이용하여 실리콘에 탄소를 도핑 하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 도핑(doping)을 하는데 있어서 종래에는 이온 주입(ion implantation) 방법을 많이 사용하여 왔는데, 이에 대한 대표적인 기술로서 'Beam line ion implantation(이하, 'BLII'라 한다)' 기술은 1940년대 후반부터 1950년대에 이르기까지 'Massachusetts Institute of Technology'의 'Robert Van de Graaff'와 'Princeton University'의 연구에 의해 발전을 거듭하였고, 'High Voltage Engineering Corp. (HVEC)'에 의해서 처음으로 상용화되었다.

[0003] 한편, 이러한 이온 주입 기술은 1960년대를 거치면서 점차적인 경험의 축적으로 발전하여 가속 에너지를 조절하여 실리콘 안의 원하는 위치에 이온을 주입할 수 있게 되었다. 또한, 도핑된 이온에 의해 실리콘 격자가 비정질 이 되는 문제점을 900~1100℃ 사이에서 열처리하여 해결하였다. 'IBM'과 'western electric' 같은 집적회로(IC) 제작회사는 이러한 이온주입 기술을 독점적으로 설계하여 HVEC과 더불어 1970년대 시장을 주도하였다.

[0004] 이후 반도체 산업이 발전함에 따라 'shallow junction'이 요구되어 기존에 사용하던 'diffusion' 방식을 대체하여 빠르게 성장하였다. BLII는 현재 IC 제조에 있어서 근본적인 역할을 하고 있다. 이 방법은 반도체 웨이퍼 아래에 일정하게 고농도의 불순물을 도핑 할 수 있기 때문이다. 그 결과 반도체 제조에 있어서 실리콘 IC의 도펀트는 대부분 빔 라인(beam line)을 이용하여 주입하고 있다.

[0005] 도 1은 종래 기술에 따른 빔 라인 이온 주입 방법을 도시하는 개략도이다.

[0006] 도 1을 참조하면, BLII 방법은 원천 기체인 'boron', 'phosphorus' 및 'arsenic' 등을 가속 튜브(acceleration tube)를 통해 가속하여 웨이퍼 표면에 도핑하게 된다. 이온 소스(Ion source)(101)에서 원천 기체를 이온화하여 가속시켜 보내면 질량 분광계(102)의 분석 마그넷(analyzing magnet)을 통하여 원하는 기체를 선별하고 이를 가속 튜브(103)를 통해 가속시켜 주입하게 된다. 이때, 빔 라인(beam line)을 통해 주입하는 동안 중성기체는 트랩(trap)(104)으로 걸러지게 되어 원하는 이온만 웨이퍼(105)에 주입된다.

[0007] 상술한 BLII 방식의 이온 주입의 장점으로는 분석 마그넷을 이용하여 선별적인 이온주입이 가능하기 때문에 불순물 함유를 최소화시킬 수 있으며 가속에너지를 통해 접합 두께(junction depth)를 조절할 수 있다. 또한, 이온주입 공정을 하면서 시편의 전류(current)를 측정하여 정확한 도즈(dose)량과 원하는 도핑 집중도(doping concentration)를 맞출 수 있다. 아울러, 공정이 상온에서 진행되기 때문에 시편에 열적인 손상이 없다.

따라서, BLII 방식은 반도체와 같이 정확한 도즈와 접합 두께가 요구되는 양산 환경에서 적용되고 있다.

- [0008] 한편, 일반적으로 탄소(carbon)를 도핑 하는 방법으로는 박막을 성장시킬 때 Si의 전구체(precursor)와 탄소의 전구체(precursor)를 챔버 내로 유입시킨 뒤에 SiC 박막을 형성시키는 방법을 이용한다. 일반적인 'Chemical vapor deposition(CVD)' 도핑 방법을 이용할 경우 방법 Si 내에 탄소의 도핑 농도가 0~1.8% 라는 연구결과가 발표된 바 있다. 또한 'Gas source Molecular beam epitaxy' 방식을 이용하여 탄소가 도핑된 박막을 형성하기도 한다.
- [0009] 도 2 및 도 3은 상기 CVD 방식과 관련된 도면이다. 도 2는 CVD 반응의 매커니즘을 나타낸 도면으로서, 챔버 내부에 기체가 유입되었을 때 반응 가스와 박막의 표면 반응을 나타낸 것이며, 도 3은 CVD 챔버 내부의 전체적인 모식도를 나타낸 것이다.
- [0010] 하지만, 점차 소자의 소형화와 고집적화가 됨에 따라 접합 두께가 작아지게 되었고, 이는 여러 문제를 발생시켰다. 예컨대, 'ultra-shallow junction' 도핑을 할 경우 10 keV 이하의 낮은 에너지 영역에서 이온빔 전류가 감소하기 때문에 이온주입 속도가 심각하게 저하된다. 이는 10nm 이하 두께의 'gate oxide'층이 웨이퍼 축적(charging)에 의해 파괴되는 등의 문제점을 일으키게 된다.
- [0011] 또한, 이온이 주입되기 위해서는 일정한 가속에너지를 필요로 하는데 가속 튜브를 지나 웨이퍼에 주입되는 라인(line)이 길수록 더 큰 가속 에너지를 요구한다. 따라서, 매우 짧은 라인에서는 저 에너지(low-energy)로 도핑이 가능하지만 현실적으로는 라인이 짧아지는 데는 한계가 있어서 저 에너지의 도핑이 힘들며, 도즈(dose)량이 크게 감소하게 되며 이로 인해 공정시간이 길어지게 된다.
- [0012] 아울러, 낮은 가속에너지를 갖는 이온은 이온주입 시 일정한 도즈량 조절이 힘들고 불안정하기 때문에 균일하게 도핑이 어려워서 단일성(uniformity)이 나빠진다. 이러한 문제점은 현재 양산라인에서 소자 제작을 위해 요구되는 최소한의 성능(throughput)과 재현성을 확보하기 어렵게 하며 이러한 문제를 해결하는 방안이 요구된다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0013] 본 발명은 상기의 문제를 해결하기 위한 것으로, 실리콘 박막, 나노 와이어, 나노로드, 나노니들, 나노벨트, 나노리본 등에 플라즈마 도핑 방법을 이용하여 탄소 도핑을 함으로써 캐리어 운동성을 향상시키기 위한 플라즈마를 이용한 탄소 도핑 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결수단

- [0014] 본 발명에 따른 플라즈마를 이용한 제 1 방법은, 4족 물질로 구성된 기관을 진공 반응기 내의 타겟 스테이지 상에 올려놓는 제 1 단계; 탄소 화합물을 포함하는 작용 가스를 상기 진공 반응기 내로 유입하는 제 2 단계; 상기 유입된 작용 가스를 고주파수 전자기장에 통과시켜 플라즈마 이온을 생성하는 제 3 단계; 및 상기 생성된 플라즈마 이온에 상기 기관과 수직 방향의 펄스 바이어스를 가해 상기 플라즈마 이온이 상기 기관 표면에 주입되어 도핑 되는 제 4 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 이때, 상기 4족 물질은 Si, Ge 및 SiGe 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하며, 상기 탄소 화합물은 SiH_3CH_3 , SiCH_6 및 C_2H_4 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 한다.
- [0016] 한편, 상기 제 3 단계의 플라즈마 이온을 생성하는 방법은 CCP(capacitively coupled plasma), ICP(inductively coupled plasma source), Wave heated plasma(Micro plasma, ECR(microwave+B-field), Helicon and helical plasma(RF+B-field) 및 surface wave(10MHz~10GHz) 중에서 선택된 어느 하나의 방법인 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한, 상기 제 3 단계에서 생성되는 물질은 이온(ion), 전자(electron) 및 라디칼(radical) 중에서 선택된 어느 하나 이상인 것을 특징으로 한다.
- [0018] 본 발명에 따른 플라즈마를 이용한 제 2 방법은, 4족 물질로 구성된 1차원 나노 구조물을 진공 반응기 내의 타겟 스테이지 상에 올려놓는 제 1 단계; 탄소 화합물을 포함하는 작용 가스를 상기 진공 반응기 내로 유입하는 제 2 단계; 상기 유입된 작용 가스를 고주파수 전자기장에 통과시켜 플라즈마 이온을 생성하는 제 3 단계; 및 상기 생성된 플라즈마 이온에 상기 타겟 스테이지와 수직 방향의 펄스 바이어스를 가해 상기 플라즈마 이온이

상기 1차원 나노 구조물 표면에 주입되어 도핑 되는 제 4 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0019] 상기 1차원 나노 구조물은, 나노와이어(nanowire), 나노로드(nanorod), 나노니들(nanoniddle), 나노벨트(nanobelt) 및 나노리본(nanoribbon) 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 한다.
- [0020] 이때, 상기 4족 물질은 Si, Ge 및 SiGe 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하며, 상기 탄소 화합물은 SiH_3CH_3 , SiCH_6 및 C_2H_4 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 한다.
- [0021] 한편, 상기 제 3 단계의 플라즈마 이온을 생성하는 방법은 CCP(capacitively coupled plasma), ICP(inductively coupled plasma source), Wave heated plasma(Micro plasma, ECR(microwave+B-field), Helicon and helical plasma(RF+B-field) 및 surface wave(10MHz~10GHz) 중에서 선택된 어느 하나의 방법인 것을 특징으로 한다.
- [0022] 또한, 상기 제 3 단계에서 생성되는 물질은 이온(ion), 전자(electron) 및 라디컬(radical) 중에서 선택된 어느 하나 이상인 것을 특징으로 한다.

효 과

- [0023] 본 발명에 따른 플라즈마 도핑을 이용한 탄소 도핑 방법은, 일반적인 도핑 방법에 비해 많은 양의 탄소가 도핑 됨으로써 스트레인드 층을 형성시켜 캐리어 운동성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0024] 본 발명은 캐리어 운동성(carrier mobility)을 증가시킬 수 있는 Si 박막에 스트레인드 SiC(strained SiC) 박막을 형성할 때, 도펀트(dopant)로 사용하는 탄소 도핑 방법에 대한 것으로, 플라즈마 도핑(plasma doping) 방법을 이용함으로써 종래의 도핑 방법에 비해 훨씬 많은 탄소량을 도핑할 수 있게 된다. 본 발명에 따른 도핑 방법은 종래의 가스를 흘려주어 박막에 탄소를 도핑하던 CVD(Chemical vapor deposition) 또는 'gas source MBE(Molecular beam epitaxy)' 방식에 비해 많은 양의 탄소를 도핑 할 수 있게 된다.
- [0025] 기체 상태의 물질에 계속 열을 가하여 온도를 올려주면, 이온 핵과 자유전자로 이루어진 입자들의 집합체가 만들어진다. 이와 같이 생성된 집합체를 물질의 세 가지 형태인 고체, 액체, 기체와 더불어 '제4의 물질상태'로 불리며, 이러한 상태의 물질을 '플라즈마'라고 한다
- [0026] 플라즈마 도핑 방법을 설명하면, 먼저 진공 반응기 내에 직접 도핑 하려는 시료를 집어넣고 플라즈마를 발생시킨 후 시료에 수십 kV 정도의 펄스 바이어스(bias)를 가해 시료 표면으로 플라즈마 이온들이 수십 kV로 가속되어 주입된다. 이때, 고전압 펄스가 가해지는 순간, 질량이 가벼운 시료 주위에 있는 플라즈마 내의 전자들은 전자 플라즈마 진동수의 역수 ($1/\omega_{pe}$)의 시간 내에서 시료에 가해지는 음전압 때문에 순간적으로 시료 주위로부터 밀려나게 되고, 질량이 무거운 이온들은 전자들이 밀려나는 짧은 시간 동안에는 거의 움직이지 않는다.
- [0027] 결과적으로 시료 주위에는 이온들만 존재하는 이온 매트릭스 쉬스가 만들어지게 되며, 곧이어 이온들은 이온 플라즈마 진동수의 역수 ($1/\omega_{pi}$)의 시간대에서 쉬스 내에 형성된 전기장을 따라 가속되어 시료에 주입되게 된다.
- [0028] 상술한 플라즈마 도핑의 장점으로는 주입되는 이온들은 거의 시료의 표면에 수직으로 입사되므로 3차원 입체 시료와 면적이 넓은 시료에 균일하게 이온을 주입 할 수 있으며, 플라즈마와 고전압 펄스를 이용하므로 고분자나 세라믹 등 부도체에의 이온주입 시 야기되는 시료 표면의 차징(charging) 문제가 본질적으로 존재하지 않아 시료의 표면 손상을 줄일 수 있다. 또한, 높은 이온주입 속도로 인해 낮은 가속에너지에서의 성능(throughput) 문제를 해결할 수 있으며 타 공정과 간편하게 결합할 수 있게 된다.
- [0029] 이에 따라, 본 발명에서는 SiH_3CH_3 , SiCH_6 , C_2H_4 등의 소스 가스(source gas)를 이용하여 도핑 할 경우 이온화될 수 있는 모든 이온들 즉, 이온(ion), 전자(electron), 라디컬(radical) 등의 모든 이온화 물질들이 Si 웨이퍼 내부로 주입된다.
- [0030] 한편, 본 발명에서는 Si 또는 SiGe 박막에 탄소를 플라즈마 도핑하는 방법을 제안한다. 또한, Si, Ge, SiGe 나노 와이어(nanowire), 나노로드(nanorod), 나노니들(nanoniddle), 나노벨트(nanobelt), 나노리본(nanoribbon) 등에도 동일하게 적용할 수 있다. 이때, 플라즈마 도핑을 위한 방법으로서, CCP(capacitively coupled plasma), ICP(inductively coupled plasma source), Wave heated plasma(Micro plasma, ECR(microwave+B-field), Helicon and helical plasma(RF+B-field), surface wave (10MHz~10GHz) 등의 방법을 이용할 수 있다.

- [0031] 본 발명에 따라 Si 또는 SiGe 박막에 탄소를 도핑할 경우, 탄소의 전구체(carbon)는 SiH₃CH₃, SiCH₄, C₂H₄ 등이 될 수 있으며, 이때 플라즈마 상태에서 형성될 수 있는 물질은, 이온(ion), 전자(electron), 라디칼(radical) 등이 될 수 있다.
- [0032] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예를 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0033] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 플라즈마 도핑 장치를 나타내는 도면이다.
- [0034] 도 5를 참조하면, 플라즈마 도핑 장치는 진공 챔버(Vacuum chamber; 501), 안테나(Antenna; 502), RF 생성기(RF generator; 503), 매칭 박스(Matching box; 504), 플라즈마(Plasma; 505), 타겟 스테이지(Target stage; 506), 샘플(Sample; 507), 진공 펌프(Vacuum pump; 508), 이온 게이지(Ion gauge; 509) 등으로 구성될 수 있다.
- [0035] 진공 챔버(501)는 진공도를 유지시킬 수 있는 가능한 공간을 확보해주는 기능을 수행하며, 안테나(504)는 진공 챔버(501)의 내부 상단에 코일형태로 감겨져 있다. 먼저, RF 생성기(503)에서 시간에 따라 변하는 고주파(예컨대, 13.56MHz)가 발생되면, 매칭 박스(504)를 통해 고주파 신호가 전달되어져 안테나(504)에 감긴 유도 코일에 의하여 진공 챔버(501) 내부에 들어와 있는 작용 가스(working gas)를 이온화시켜 플라즈마(505)를 발생시킨다.
- [0036] 유도 코일에 들어온 RF 신호는 자기장이 시간에 따라 변하면 전기장이 발생된다는 렌츠의 법칙(lenz' law)에 의해서 설명되어지며, 이때 발생된 전기장이 플라즈마(505)를 발생시키게 된다. 한편, 타겟 스테이지(506)는 샘플(507)을 지지하는 받침대 역할을 하며, 플라즈마에서 가속된 전자들이 샘플(507)에 주입된다.
- [0037] 진공 펌프(508)는 플라즈마(505)가 발생할 수 있는 진공도를 유지하기 위한 펌프이며, 이온 게이지(509)는 진공도를 읽는 측정장치이고, 랭뮤어 프로브(Langmuir probe; 510)는 플라즈마 전자밀도를 측정하는 랭뮤어 탐침이다. 워킹 프레셔(Working pressure; 512)는 MFC(511)를 통하여 진공 챔버(501) 내부로 주입될 가스의 유량을 조절해주는 역할을 한다.
- [0038] 한편, 플라즈마 도핑 장치는 소스 형태에 따라 3가지로 구분될 수 있으며, CCP(capacitively coupled plasma), ICP(inductively coupled plasma source), Wave heated plasma (Micro plasma, ECR(microwave+B-field), Helicon and helical plasma(RF+B-field), surface wave (10MHz~10GHz)) 등이 있다.
- [0039] CCP 방식은 두 전극판(cathode:음극, anode:양극)으로 되어 있는 것이 축전기(capacitor)와 같은 역할을 해서, 'Capacitively coupling plasma'라 한다. 인가하는 전압원은 DC, RF(13.56MHz주로 사용), VHF(>30MHz), UHF(~수 100MHz), MF(~수 100KHz) 등을 사용한다. 예컨대, 플라즈마 상태(양이온, 음이온, 라디칼, 중성자가 모두 존재하는 상태를 의미)가 되었을 때 중성자에 비해 가벼운 이온들이 표면에 입사되어 증착 또는 도핑된다. 가속되는 에너지에 따라 박막 깊이 들어가는나 표면에 증착되느냐가 결정되는 것이다. 도핑은 적당한 위치에 도펀트를 집어 넣어주는 것이기 때문에 에너지를 조절함으로써 원하는 위치에 도핑이 가능하게 된다.
- [0040] ICP 방식은 아르곤 가스를 플라즈마 가스로 사용하여 수정 발전식 고주파발생기로부터 발생된 주파수 27.13MHz 영역에서 유도코일에 의하여 플라스마를 발생시킨다. ICP의 토오치(Torch)는 3중으로 된 석영관이 이용되며 제일 안쪽으로는 시료가 운반가스(아르곤, 0.4~2L/min)와 함께 흐르며, 가운데 관으로는 보조가스(아르곤, 플라스마가스, 0.58~2L/min), 제일 바깥쪽 관에는 냉각가스(아르곤, 10~20L/min)가 도입되는데 토오치의 상단부분에는 물을 순환시켜 냉각시키는 유도코일이 감겨 있다. 이 유도코일을 통하여 고주파를 가해주면 고주파가 아르곤가스 매체 중에 유도되어 플라스마를 형성하게 되는데 이때 테슬라코일에 의하여 방전하면 아르곤가스의 일부가 전리되어 플라스마가 점등한다.
- [0041] 방전시에 생성되는 전자는 고주파 전류가 유도코일을 흐를 때 발생하는 자기장에 의하여 가속되어 주위의 아르곤가스와 충돌하여 이온화되고 새로운 전자와 아르곤 이온을 생성한다. 이와 같이 생성된 전자는 다시 아르곤가스를 전리하여 전자의 증식작용을 함으로서 전자밀도가 대단히 큰 플라스마 상태를 유지하게 된다. 아르곤플라스마는 토오치 위에 불꽃형태(직경 12~15mm, 높이 약 30mm)로 생성되지만 온도, 전자 밀도가 가장 높은 영역은 중심축보다 약간 바깥쪽(2~4mm)에 위치한다. 이와 같은 ICP의 구조는 중심에 저온, 저전자 밀도의 영역이 형성되어 도너츠 형태로 되는데 이 도너츠 모양의 구조가 ICP의 특징이다.
- [0042] 에어로졸 상태로 분무된 시료는 가장 안쪽의 관을 통하여 플라스마(도너츠모양)의 중심부에 도입되는데 이때 시료는 도너츠 내부의 좁은 부위에 한정되므로 광학적으로 발광되는 부위가 좁아져 강한 발광을 관측할 수 있으며 화학적으로 불활성인 위치에서 원자화가 이루어지게 된다. 플라스마의 온도는 최고 15,000° K까지 이르며 보통시료는 6,000~8,000° K의 고온에 도입되므로 거의 완전한 원자화가 일어나 분석에 장애가 되는 많은 간섭을

배제하면서 고감도의 측정이 가능하게 된다. 또한, 플라즈마는 그 자체가 광원으로 이용되기 때문에 매우 넓은 농도범위에서 시료를 측정할 수 있다.

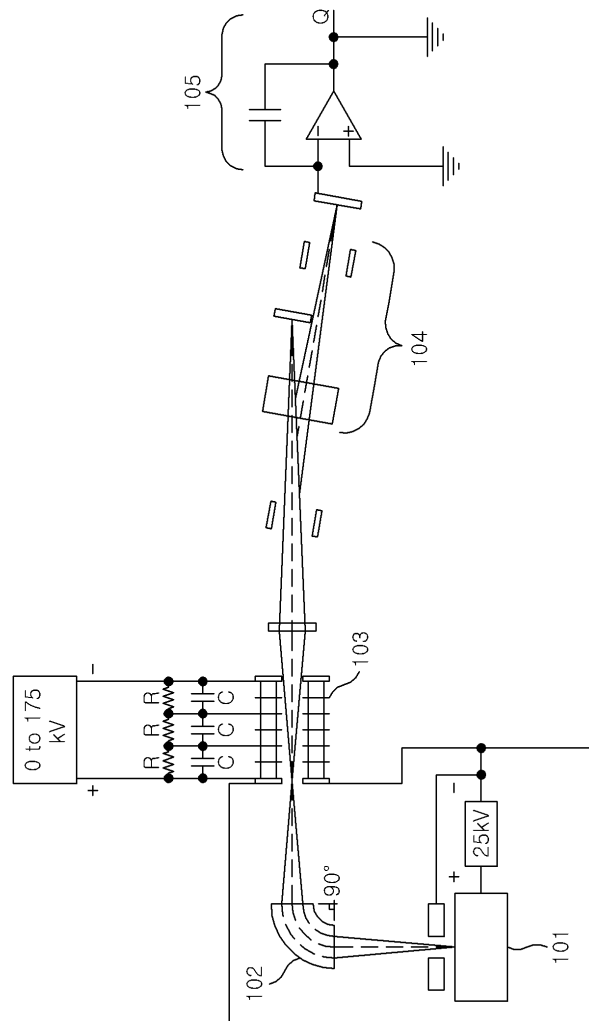
- [0043] ECR(Electron cyclotron resonance) 방식은 웨이브(wave)를 이용하여 입자의 상호작용을 통해 발생된 플라즈마를 이용하는 방법이다.
- [0044] 본 발명에서는 박막(Si, SiGe) 또는 나노와이어(nanowire), 나노로드(nanorod), 나노니들(nanoniddle), 나노벨트(nanobelt), 나노리본(nanoribbon) 등에 플라즈마 도핑(plasma doping) 방법을 이용하여 탄소(Carbon)를 도핑 함으로써 스트레인드 층(strained layer)을 형성시켜 캐리어 운동성(carrier mobility)을 향상시키게 된다.
- [0045] 종래와 같이 가스를 흘려주어 박막에 탄소를 도핑 하던 CVD(Chemical vapor deposition) 또는 'GS-MBE(Gas Source Molecular beam epitaxy)' 방식은 탄소가 약 1.5% 안팎의 농도가 박막 내에 도핑되었으나, 플라즈마 도핑 방법을 사용할 경우 그 이상으로 탄소 도핑량을 증가시킬 수 있게 된다.
- [0046] 도 6은 GS-MBE 방법에 의해 SiC 층을 형성하였을 때 탄소의 박막 내 분포 농도를 SIMS 측정을 통해 나타낸 그래프로서, 약 10^{20} 정도의 C-rich 층이 주기적으로 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 한편, 도 7과 같이 플라즈마 도핑 방법을 이용하여 도핑하였을 때에는 박막 내에 약 10^{22} 정도가 도핑 되어 있는 것을 SIMS 측정을 통하여 확인할 수 있다. 따라서, 플라즈마 도핑 방법을 이용할 경우 원자의 도핑량이 GS-MBE 방법에 비해 크다는 것을 알 수 있다.
- [0047] 본 발명의 바람직한 실시 예들은 예시의 목적을 위해 개시된 것이며, 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가 등이 가능할 것이며 이러한 수정 및 변경 등은 이하의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

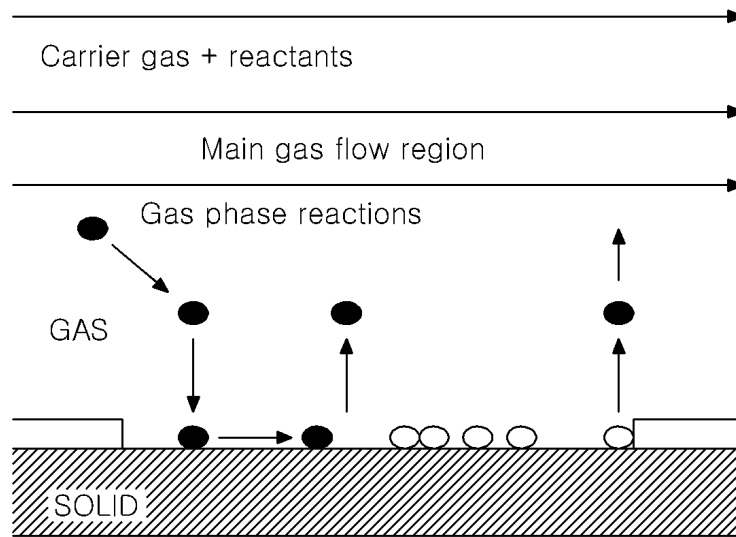
- [0048] 도 1은 종래 기술에 따른 빔 라인 이온 주입 방법을 도시하는 개략도.
- [0049] 도 2는 일반적인 CVD 방식에서의 반응 매커니즘을 나타내는 도면.
- [0050] 도 3은 일반적인 CVD 방식에서 챔버 내부를 나타내는 도면.
- [0051] 도 4는 플라즈마 상태의 아르곤 가스를 나타내는 도면.
- [0052] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 플라즈마 도핑 장치를 나타내는 도면.
- [0053] 도 6은 GS-MBE 방법에 의한 탄소의 박막 내 분포를 나타내는 그래프.
- [0054] 도 7은 플라즈마 도핑 방법에 의한 원자의 도핑 양을 나타내는 그래프.
- [0055] <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>
- | | |
|----------------------|--------------|
| [0056] 101 : 이온 소스 | 102 : 질량 분광계 |
| [0057] 103 : 가속 튜브 | 104 : 트랩 |
| [0058] 105 : 웨이퍼 | 501 : 진공 챔버 |
| [0059] 502 : 안테나 | 503 : RF 생성기 |
| [0060] 504 : 매칭 박스 | 505 : 플라즈마 |
| [0061] 506 : 타겟 스테이지 | 507 : 샘플 |
| [0062] 508 : 진공 펌프 | 509 : 이온 게이지 |
| [0063] 510 : 랭뮤어 프로브 | 511 : MFC |
| [0064] 512 : 워킹 프레스 | |

도면

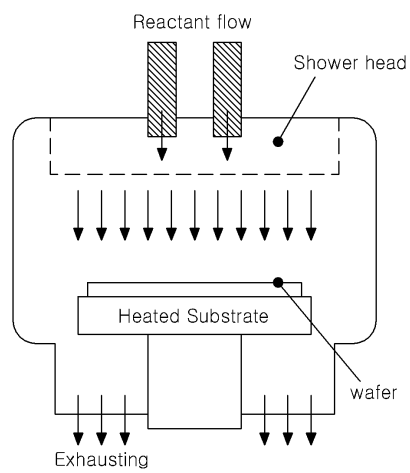
도면1



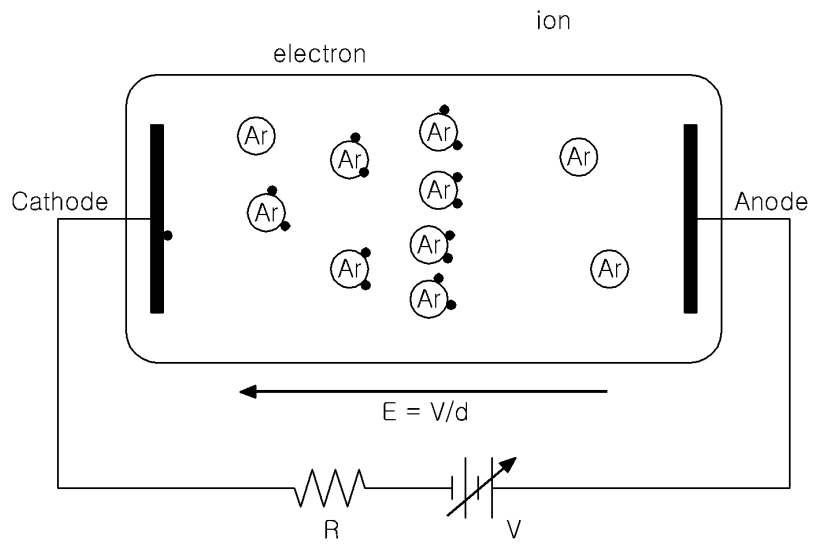
도면2



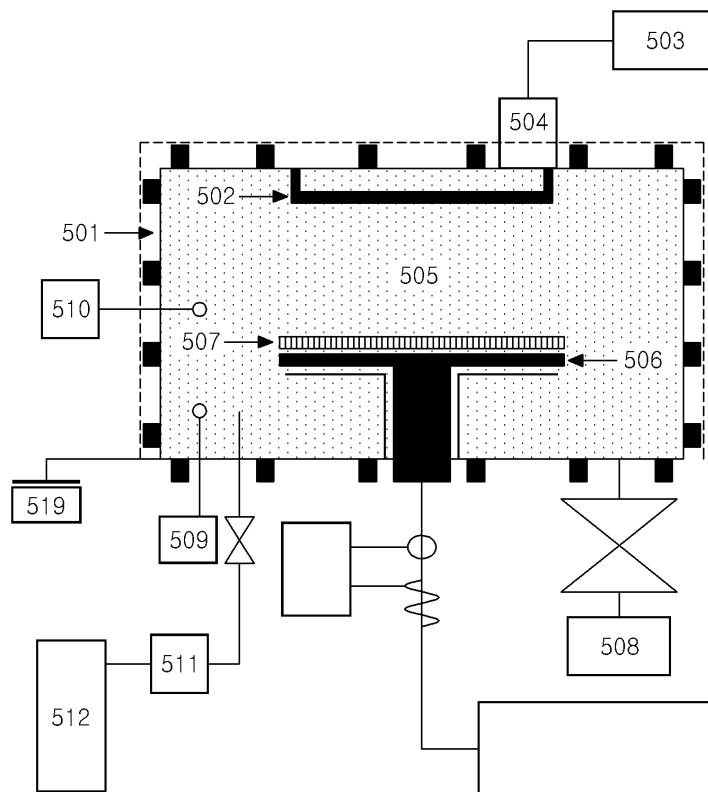
도면3



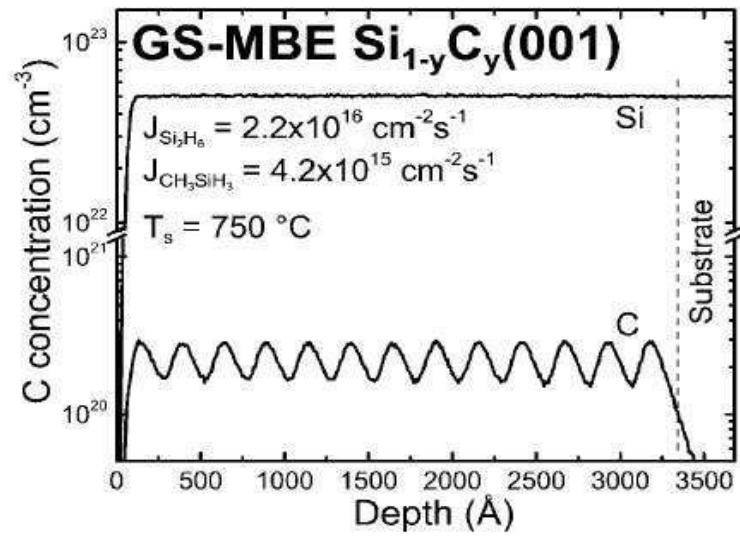
도면4



도면5



도면6



도면7

