



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

측벽들을 갖는 진공 챔버;

상기 진공 챔버의 중심축에 수직하게 연장하는 평면형 스퍼터링 타겟 - 상기 스퍼터링 타겟은 상기 진공 챔버의 측벽들에 밀봉되지만 상기 측벽들에 전기적으로 절연되며, 전기적으로 바이어스되도록 구성됨 - ;

상기 타겟의 후면에서 대체로 상기 챔버의 상기 중심축의 한쪽 측면상에 배치되고 상기 축을 중심으로 회전가능한 마그네트론 - 상기 마그네트론은 제 1 총 자속을 갖는 제 1 자기 극성인 내부 극, 및 상기 제 1 총 자속보다 큰 제 2 총 자속을 갖고 제 1 자기 극성과 반대되는 제 2 자기 극성인 외부 극을 포함함 - ;

상기 측벽들을 따라 상기 타겟과 평행하게 대향하여 배치되고 상기 타겟의 물질로 스퍼터 코팅될 기관을 지지하기 위한 페데스탈; 및

상기 진공 챔버 외측에 배치되고 상기 타겟과 상기 페데스탈 사이의 영역에 상기 중심축을 따라 연장하는 자계를 생성하기 위한 자기 수단 - 상기 자기 수단은 상기 타겟과 상기 페데스탈 사이의 영역에 상기 제 2 자기 극성의 자계를 생성함 -

을 포함하는 스퍼터 리액터.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 자기 수단은 상기 측벽들 외측 둘레에 권선되고 상기 자계를 생성하기 위해 전기적으로 전력 공급되도록 구성되는 코일을 포함하는 것을 특징으로 하는 스퍼터 리액터.

**청구항 3**

제 2 항에 있어서,

상기 코일에 연결가능한 DC 전원을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 스퍼터 리액터.

**청구항 4**

제 2 항에 있어서,

상기 코일에 연결가능한 1kHz 미만의 주파수를 갖는 AC 전원을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 스퍼터 리액터.

**청구항 5**

제 2 항에 있어서,

상기 코일에 의해 생성된 자계는 상기 중심축으로부터 기껏해야 20° 만큼 벗어난 각도로 상기 페데스탈에 의해 지지된 상기 기관에 입사하는 것을 특징으로 하는 스퍼터 리액터.

**청구항 6**

제 5 항에 있어서,

상기 각도는 기껏해야 10° 인 것을 특징으로 하는 스퍼터 리액터.

**청구항 7**

제 2 항에 있어서,

상기 기관은 실질적으로 원형이고, 상기 타겟과 상기 페데스탈 사이의 간격은 상기 기관 직경의 125% 보다 큰 것을 특징으로 하는 스퍼터 리액터.

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

측벽들을 갖는 진공 챔버;

상기 측벽들에 밀봉된 평면형 스퍼터링 타겟;

상기 타겟의 후면에 배치되고 중심축 둘레로 회전가능한 마그네트론 - 상기 마그네트론은 제 1 총 자속을 갖는 제 1 자기 극성인 내부 극, 및 상기 제 1 총 자속보다 큰 제 2 총 자속을 갖고 제 1 자기 극성과 반대되는 제 2 자기 극성인 외부 극을 포함함 - ;

상기 측벽들을 따라 상기 타겟과 평행하게 대향하며 상기 타겟의 물질로 스퍼터 코팅될 기관을 지지하는 페데스탈;

상기 타겟으로부터 상기 페데스탈로의 경로를 따라 상기 타겟으로부터 적어도 75%의 거리로 연장하며 상기 측벽들 외측에서 상기 중심축을 중심으로 권선되는 코일; 및

상기 코일에 연결가능한 DC 전원

을 포함하며, 상기 코일과 상기 DC 전원은 상기 타겟과 상기 페데스탈 사이의 영역에 상기 제 2 자기 극성의 자계를 생성하는 스퍼터 리액터.

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

제 10 항에 있어서,

상기 내부 극은 제 1 총 자속을 생성하고, 상기 외부 극은 상기 제 1 총 자속보다 더 큰 제 2 총 자속을 생성하는 것을 특징으로 하는 스퍼터 리액터.

**청구항 13**

평면형 스퍼터링 타겟과 평행하게 대향하여 스퍼터 코팅될 기관을 진공 챔버 내에 장착하는 단계;

상기 기관의 맞은편 상기 타겟의 한쪽 측면 상에 배치된 마그네트론을 상기 진공 챔버의 중심축을 중심으로 회전시키는 단계 - 상기 마그네트론은 제 1 총 자속을 갖는 제 1 자기 극성인 내부 극, 및 상기 제 1 총 자속보다 큰 제 2 총 자속을 갖고 제 1 자기 극성과 반대되는 제 2 자기 극성인 외부 극을 포함함 - ;

상기 타겟으로부터 입자들을 스퍼터링하기 위해 상기 타겟에 전력을 인가하는 단계; 및

상기 스퍼터 입자들 중 이온화된 입자들을 상기 기관을 향해 가이드하기 위해, 상기 타겟으로부터 상기 기관으로 상기 중심축을 따라 적어도 부분적으로 연장하는, 상기 타겟과 상기 페데스탈 사이의 영역에서 상기 제 2 자기 극성인 DC 자계를 상기 진공 챔버 외측으로부터 인가하는 단계

를 포함하는 스퍼터링 방법.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

상기 전력은 DC 전력인 것을 특징으로 하는 스퍼터링 방법.

**청구항 15**

제 13 항에 있어서,

상기 이온화된 스퍼터 입자들을 상기 기판을 향해 가속시키기 위해 상기 기판에 음(negative)의 DC 바이어스를 유도하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 스퍼터링 방법.

**청구항 16**

제 15 항에 있어서,

상기 스퍼터 입자들 중 상기 이온화된 입자들은 상기 스퍼터 입자들의 적어도 10%를 이루는 것을 특징으로 하는 스퍼터링 방법.

**청구항 17**

제 13 항에 있어서,

상기 DC 자계는 15 가우스(gauss) 이상 및 100 가우스 미만의 세기를 갖는 것을 특징으로 하는 스퍼터링 방법.

**청구항 18**

제 13 항에 있어서,

상기 입자들의 스퍼터링을 달성하기 위해 작업 가스의 플라즈마를 여기하도록 상기 진공 챔버 내에 상기 작업 가스의 제 1 압력을 유지하며, 그 다음 상기 입자들의 스퍼터링을 계속하여 달성하기 위해 상기 제 1 압력보다 낮은 상기 작업 가스의 제 2 압력을 유지하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 스퍼터링 방법.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**발명의 목적**

**발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술**

<3> 본 발명은 일반적으로 플라즈마 스퍼터링에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 마그네트론 스퍼터링에서 자계의 보조 소스에 관한 것이다..

**발명이 이루고자 하는 기술적 과제**

<4> 마그네트론 스퍼터링은 집적회로 내에서 전기적 접속부 및 다른 구조물을 형성하기 위하여 제작 동안에 반도체 집적회로 상에 금속을 증착시키는 주요한 방법이다. 타겟(target)은 증착될 금속으로 이루어지며, 플라즈마내의 이온들은 충분한 에너지를 걸어주면 타겟에 충돌되어, 타겟으로부터 타겟 원자가 튀어나오게 된다. 즉, 스퍼터링된다. 일반적으로 스퍼터링된 원자는 스퍼터 코팅될 웨이퍼를 향해 탄도적으로 이동하며, 금속 원자는 금속 형태로 웨이퍼 상에 증착된다. 대안적으로, 금속 원자는 플라즈마 내의 다른 가스 예를 들면, 질소와 반응하여 웨이퍼 상에 금속 화합물을 반응성 증착한다. 반응성 스퍼터링은 좁은 홀의 측면에 티타늄 질화물(titanium nitride) 또는 탄탈 질화물(tantalum nitride)의 얇은 배리어 및 핵형성 층들을 형성하는데 종종 사용된다.

<5> DC 마그네트론 스퍼터링은 통상적이며 상업적으로 가장 유용한 스퍼터링 형태이다. 금속 타겟은 약 -400 내지 -600 VDC의 범위에서 음의 DC 바이어스로 바이어스되어, 아르곤 작업 가스의 양이온은 상기 타겟을 향해 끌려가 금속 원자를 스퍼터링한다. 통상적으로, 스퍼터 리액터의 측면들은 스퍼터링 증착으로부터 챔버를 보호하기 위해 실드(shield)로 커버된다. 통상적으로 실드는 전기적으로 접지되어, DC 타겟 전력을 챔버와 플라즈마 안으로 용량적으로 결합시키기 위해, 타겟 캐소드와 상반되는 애노드를 제공한다.

<6> 적어도 한 쌍의 대향된 자극을 갖는 마그네트론은 타겟의 후방에 배치되어, 타겟의 정면에 근접하고 평행한 자계를 생성한다. 자계는 전자를 포획하며, 플라즈마 내의 전하 중성(charge neutrality)을 위해, 추가적인 아르곤 이온이 마그네트론에 인접한 영역에 끌려오게 되며, 고밀도 플라즈마를 형성한다. 따라서, 스퍼터링 속도가 증가된다.

<7> 그러나 종래 스퍼터링은 고급 집적회로를 형성하는데 문제가 있다. 전술한 바와 같이, 기본적으로 스퍼터링은 대략 등방성 스퍼터링 패턴을 갖는 탄도 공정(ballistic process)이며, 이는 평평한 표면 코팅에는 적합하지만,

고급 집적회로의 특성인 폭이 좁은 피쳐 안으로 금속을 증착시키기에는 적합하지 않다. 예를 들면, 고급 집적회로는 5:1 이상의 중형비를 갖는 다수의 층간(inter-level) 비아를 포함하며, 비아는 금속으로 코팅되고 충전(fill)될 필요가 있다. 그러나 홀을 가교시켜 보이드(void)를 형성하지 않고도 금속으로 바닥 및 측벽을 코팅하고 홀을 충전하기 위해, 좁고 깊은 홀들 내의 깊은 곳으로 스퍼터링된 원자를 유도하는 기술이 개발되었다.

- <8> 깊은 홀속으로의 스퍼터링을 위한 일반적인 기술은, 스퍼터링된 원자가 이온화되게 하고, 추가적으로 웨이퍼를 음으로 바이어스시켜, 양으로 하전된 스퍼터링 금속 원자가 웨이퍼를 향하여 가속하도록 한다. 그로 인하여, 스퍼터링 패턴은 비등방성이 되고, 홀의 바닥으로 향하게 된다. 음의 자기-바이어스(self-bias)는 전기적 플로팅 페데스탈(pedestal) 상에 자연스럽게 나타난다. 그러나 보다 개선된 제어를 위하여, 페데스탈에 전압이 가해질 수 있다. 전형적으로, RF 전원장치는 결합 커패시터를 통하여 페데스탈 전극과 결합되며, 음의 DC 자기-바이어스 전압은 플라즈마에 인접한 페데스탈 상에 나타난다.
- <9> 스퍼터링 챔버내의 플라즈마 밀도를 증가시키고, 그에 따라 이온화된 스퍼터링 원자 분율을 증가시킬 수 있는 적어도 2개의 기술이 이용된다.
- <10> 이온화 금속 도금(IMP)으로 불리는 한 방법은 MHz 주파수 범위의 RF 에너지를 처리 공간과 결합시키기 위해 타겟과 웨이퍼 사이의 처리 공간 부근에서 RF 유도성 코일 래퍼(wrapper)를 이용한다. 코일은 플라즈마 내에 축방향의 RF 자계를 생성하며, 플라즈마의 에지에서 원주 형태의 전계를 생성시키고, 그에 따라 에너지를 웨이퍼로부터 떨어진 영역의 플라즈마 안으로 결합시켜 플라즈마 밀도가 증가되며 금속 이온화 비율을 증가시킨다. 통상적으로 IMP 스퍼터링은 50 내지 100 밀리토르(milliTorr)의 비교적 높은 아르곤 압력에서 수행된다.
- <11> IMP는 깊은 홀 충전에 매우 효과적이다. 이온화 분율은 50% 이상이 바람직하다. 그러나 IMP 설비는 비교적 비싸다. 더욱 중요하게도, IMP는 많은 아르곤 이온 또한 웨이퍼를 향하여 가속화되는, 뜨겁고, 많은 에너지가 필요하고, 고압인 공정이다. IMP로 생성된 막 품질이 모든 분야에서 최적인 것은 아니다.
- <12> 최근에 개발된 자기 이온화 플라즈마(self-ionized plasma)(SIP) 스퍼터링 기술은 플라즈마 스퍼터링 리액터가 단지 조금 변경되도록 허용하지만 그럼에도 불구하고, 저온, 저압 공정에서 높은 중형비의 홀 속에 효과적인 금속의 충진을 얻게된다. 이러한 기술은 Fu 등이 2000년 4월 11일자로 출원한 미국 특허 출원 제 09/546,798호와 Chiang 등이 1999년 10월 8일 출원한 미국 특허 출원 제 09/414,614호에 개시되었으며, 상기 문헌들은 본 명세서에서 참조 된다.
- <13> 상기 인용된 특허에서 상술된 SIP 스퍼터 리액터는 단일 웨이퍼 처리를 위해 구성된 종래 마그네트론 스퍼터 리액터로부터 개조된다. SIP 스퍼터링은 타겟에 부근에 고밀도 플라즈마를 생성시키고 플라즈마를 확장시켜 금속 이온이 웨이퍼를 향해 유도되도록 하기 위하여 통상적인 용량적으로 결합된 마그네트론 스퍼터 리액터에서의 다양한 개조를 사용한다. 200mm 웨이퍼용으로 설계된 챔버에 대해 비교적 높은 양의 DC 전력 예를 들면, 20 내지 40kW가 타겟에 인가된다. 더욱이, 마그네트론은 비교적 작은 면적을 가져서 타겟 전력이 마그네트론의 더 작은 면적에 집중되며, 마그네트론에 인접한 HDP 영역에 공급된 전력 밀도가 증가된다. 작은 면적의 마그네트론은 타겟 중심의 측면에 배치되며 더욱 균일한 스퍼터링과 증착을 제공하기 위하여 중심에 대하여 회전된다.
- <14> SIP 스퍼터링의 한 형태에서, 마그네트론은 불균형한 극을 가지는데, 보통 하나의 자기 극성중 강한 외부 극은 더 약한 내부 극을 둘러싼다. 더 강한 극으로부터 나오는 자계선은 타겟 표면에 인접한 통상적인 수평 자계 뿐만 아니라 웨이퍼를 향하여 연장하는 수직 자계로 분해될 수 있다. 수직 자계선은 웨이퍼에 더 근접하게 플라즈마를 연장시키고 금속 이온이 웨이퍼를 향하도록 유도한다. 더욱이, 챔버 벽에 가까운 수직 자기선은 플라즈마에서 접지된 실드로 전자의 확산을 차단하도록 작용한다. 감소된 전자 손실로 플라즈마 밀도가 증가되어 처리 공간에 대해 플라즈마가 효과적으로 확장된다.
- <15> SIP<sup>+</sup> 스퍼터링으로 불리는 SIP 스퍼터링의 다른 형태는 Gopalraja 등이 2000년 3월 2일 출원한 미국 특허 출원 제 09/518,180호에 개시되어 있으며, 본 명세서에서 참조된다. SIP<sup>+</sup> 스퍼터링은 웨이퍼와 대향하는 고리모양의 천장형태를 갖는 타겟에 의존한다. 천장의 대향하는 측벽 뒤에 배치된 반대 극성의 자석들은 천장 내에 고밀도 플라즈마를 생성한다. 자석은 통상적으로 천장 측벽을 따라 작은 원주 범위를 가지며, 균일한 스퍼터링을 제공하기 위하여 타겟 중심 부근에서 회전한다. 어떤 설계에서는 비대칭적인 크기의 자석이 사용되지만, 자계는 대부분 천장의 부피로 한정된다.
- <16> SIP 스퍼터링은 RF 유도 코일을 사용하지 않고 달성될 수 있다. 작은 HDP 영역은 깊은 홀에 도달하기에 충분한 것으로 추정되는 10과 25% 사이로, 금속 이온들의 상당 분율을 이온화시키는데 충분하다. 특히 높은 이온화 분

를에서, 이온화되고 스퍼터링된 금속 원자는 다시 타겟으로 끌려가, 더 많은 금속 원자를 스퍼터링한다. 그 결과로서, 아르곤 작업 압력은 플라즈마를 약화시키지 않으면서도 감소될 수 있다. 그러므로, 웨이퍼의 아르곤 가열은 문제가 거의 없으며, 금속이온과 아르곤 원자의 충돌 가능성이 감소되어, 이온 밀도가 감소되고 금속 이온 스퍼터링 패턴이 무작위화된다.

- <17> 그러나, SIP 스퍼터링은 여전히 개선될 수 있다. 이온화 분율은 적절히 높다. 스퍼터링된 금속 원자의 나머지 75 내지 90%는 중성이며 바이어스된 웨이퍼를 향해 가속화되지 않는다. 이런 일반적으로 등방성의 중성 자속은 높은 중형비의 홀에 쉽게 들어가지 못한다. 더욱이, 더 넓은 중성 자속 패턴을 고려할 때, 중심은 단부보다 타겟의 더 넓은 면적으로부터 증착되기 쉽기 때문에, 중성 자속은 웨이퍼 중심과 단부 사이의 비균일한 두께를 생성한다.
- <18> 이온화된 자속에 비해 중성 자속을 감소시키는 한 방법은 스퍼터 리액터의 동작거리(throw)를 증가시키는 것이다. 즉, 타겟과 페데스탈 사이의 공간을 증가시키는 것이다. 200mm 웨이퍼에서, 통상적인 동작거리는 190mm인 반면에 긴 동작거리는 290mm가 될 수 있다. 긴 동작거리는 웨이퍼 직경의 125% 보다 더 큰 동작거리로서 형성될 수 있다. 긴 동작거리에서, 더 많은 등방성인 중성 자속은 우선적으로 실드상에 증착되는 반면에, 비등방성 이온화된 자속은 실질적으로 감소되지 않는다. 즉, 중성자들은 제거된다.
- <19> 그러나, 긴 동작거리 스퍼터링은 웨이퍼를 향해 자계를 투사하기 위한 불균형한 마그네트론에 의존하는 SIP와 결합될 때 결점을 갖는다. 수직 자기성분은 마그네트론으로 복귀할 필요가 있기 때문에 비교적 약하며, 타겟으로부터 급격히 약해진다. 통상적인 불균형 마그네트론이 타겟에 1킬로가우스 수평 자계를 생성하는 동안에, 타겟으로부터 100mm 지점에 단지 10 가우스 수직 자계가 생성되며, 이는 급격히 감소한다. 그러므로, 긴 동작거리 스퍼터 리액터내의 불균형 마그네트론은 자기 플라즈마 지원과 SIP 스퍼터링의 유용한 결과를 얻기 위하여 요구되는 웨이퍼에 인접한 자기 가이드스(magnetic guidance)를 제공하지 않는다.
- <20> 매우 불균형한 마그네트론을 사용하는 SIP 스퍼터링에서 또 다른 문제가 발생되며, 이는 웨이퍼와 근접한 자계의 수직 성분이 다시 마그네트론을 향해 유인됨에 따라 불균일해지기 때문이다. 자계내의 이러한 비균일성은 웨이퍼 전체의 스퍼터링 균일성을 악화시키게 된다.
- <21> 물론, 등극 천장으로 된 타겟을 이용하는 SIP<sup>+</sup> 스퍼터링에서도, 플라즈마를 지원하고 금속 이온을 웨이퍼로 유도하기 위해 비교적 적은 자계가 천장 밖으로 확장한다.
- <22> 따라서, 자기 제한을 위한 개선된 대안과 이온화되고 스퍼터링된 원자의 유도를 제공하는 것이 바람직하다.

**발명의 구성 및 작용**

- <23> 본 발명의 플라즈마 스퍼터링 리액터(10)의 제 1 실시예는 도 1의 도식적인 횡단면도에 도시된다. 진공 챔버(12)는 일반적으로 원통형 측벽(14)을 포함하며, 상기 원통형 측벽은 전기적으로 접지된다. 통상적으로, 도시되지 않은 접지된 교체가능 실드는 스퍼터링 코팅되는 것을 보호하기 위하여 상기 측벽(14) 내부에 위치되지만, 그것들은 진공을 유지하는 것 외에는 챔버 측벽으로서 작용한다. 스퍼터링될 금속을 포함하는 스퍼터링 타겟(16)은 절연체(18)를 통하여 챔버(12)에 봉인된다. 페데스탈 전극(22)은 타겟의 반대편의 평행한 위치에서 스퍼터 코팅될 웨이퍼(24)를 지지한다.
- <24> 스퍼터링 작업 가스, 바람직하게는 아르곤이 가스 공급부(26)로부터 질량 흐름 제어기(28)를 통하여 챔버에서 측정된다. 진공 펌핑 시스템(30)은 상기 챔버(12)의 내부를 통상적으로 10<sup>-8</sup> Torr 또는 그 이하의 매우 낮은 기본 압력으로 유지한다. 플라즈마 점화 동안, 아르곤 압력은 대략 5 밀리토르(milliTorr)의 챔버 압력을 생성하는 정도로 공급되며, 이하에서 설명될 것이지만, 그런 후에 압력은 감소된다. DC 전원장치(34)는 아르곤 작업 가스가 전자와 양의 아르곤 이온을 함유하는 플라즈마 속에서 여기되도록 대략 -600 VDC가 타겟(16)에 음으로 바이어스된다. 양의 아르곤 이온은 음으로 바이어스된 타겟으로 끌려가, 타겟으로부터 금속 원자를 스퍼터링한다.
- <25> 본 발명은 특히 SIP 스퍼터링에 유용하며, 상기 SIP 스퍼터링내의 작은 마그네트론(36)은 타겟(16) 뒤의 미도시된 후면 플레이트 상에 지지된다. 미도시된 모터와 중심축(38)에 정렬된 드라이브 샤프트는 중심축(38) 부근에서 상기 후면 플레이트와 마그네트론을 회전시킨다. 일반적으로 챔버(12)와 타겟(16)은 중심축(38) 부근에서 일반적으로 원형으로 대칭이다. SIP 마그네트론(36)은 한 자극의 내부 자석 극(40)과 이를 둘러싸는 다른 자극의 외부 자석 극(42)을 포함하며, 양자는 자기 요크(44)에 의해 지지되며 자기 요크(44)를 통해 자기적으로 결합된다. 마그네트론(36)을 구성하는 자석들의 도시되지 않은 다른 자극들 또한 자기 요크(44)에 의해 자기적으

로 결합된다. 불균형한 마그네트론에서, 외부 극(42)은 그것의 면적 상에 통합된 총 자속을 가지는데, 이는 내부 극(40)에 의해 생성된 것보다 더 크다. 반대 자석 극은 고밀도 플라즈마를 발생시키기 위하여 타겟(16)의 표면에 평행하고 인접한 강한 성분을 지닌 자계  $B_0$ 을 챔버(12) 내부에 발생시킴으로써, 스퍼터링 비율이 증가되고, 스퍼터링된 금속 원자의 이온화 비율이 증가된다. 예를 들면, 13.56MHz 주파수를 갖는 RF 전원장치(50)는 웨이퍼(24)상의 음의 자기 바이어스(self-bias)를 발생시키기 위하여 페테스탈 전극(22)에 연결된다. 바이어스는 인접한 플라즈마의 시스(sheath)를 통해 양으로 하전된 금속 원자를 끌어당김으로써, 높은 중형비 홀의 측면과 홀을 코팅한다.

<26> SIP 스퍼터링에서, 마그네트론은 작으며, 높은 자기력을 가지며, 높은 양의 DC 전력이 타겟에 인가되어 플라즈마 밀도는 타겟(16) 근처에서  $10^{10} \text{ cm}^{-3}$  이상 올라간다. 이러한 플라즈마 밀도가 나타날 때, 많은 스퍼터링된 원자들은 양으로 하전된 금속 이온으로 이온화된다. 금속 이온 밀도는 충분히 높아서, 많은 금속 이온들은 더 많은 금속 이온들이 스퍼터링되도록 타겟으로 다시 끌리게 된다. 그 결과, 금속 이온은 스퍼터링 공정에서 효과적인 작업 중인 아르곤 이온으로 적어도 부분적으로 대체될 수 있다. 즉, 아르곤 압력이 감소될 수 있다. 감소된 압력은 금속 이온의 산란과 탈이온화를 감소시키는 이점을 가진다. 구리 스퍼터링의 경우에, 일정 조건하에서 지속 자기 스퍼터링(sustained self-sputtering)(SSS)이라 불리는 공정에서는, 플라즈마가 점화되었다면 아르곤 작업 가스를 완전히 없앨 수 있다. 알루미늄 또는 텅스텐 스퍼터링의 경우, SSS는 가능하지 않지만, 아르곤 압력은 통상적인 스퍼터링에서 사용되는 압력에서 충분히 감소될 수 있다. 예를 들면, 1 밀리토르(milliTorr) 미만으로 감소될 수 있다.

<27> 본 발명에 따르면, 전자석(41)은 챔버 측벽(14) 주위에 위치되어, 타겟(16)과 웨이퍼(24) 사이의 챔버측(38)에 대체로 평행하게 확장되는 자계  $B_c$ 가 생성된다. 전자석(41)은 통상적으로 측벽(14) 주위에 감겨진 코일이며, 전원장치(43)로부터 DC 전력이 공급된다. 코일은 중심축에 대하여 집중되므로 챔버(12)와 타겟(16)과 동축을 이룬다.

<28> 불균형 마그네트론(36)의 자계는 챔버 측벽의 최상부 근처에 전자를 제한하는데 유용하기 때문에, 코일 필드 방향은 외부 마그네트론 극(42)에 의해 생성된 자계와 대체로 평행이 되는 것이 바람직하다.

<29> 코일 자계  $B_c$ 는 2 가지 유용한 효과를 생성하기 위해 플라즈마 전자를 차단할 정도로 충분히 강하다. 미도시된 접지 실드(또는 접지된 챔버 측벽(14))에 대한 전자 손실이 감소됨으로써, 플라즈마 밀도는 증가한다. 더욱이, 자계선이 웨이퍼(24)를 향해 확장되며, 플라즈마 전자는 나선형 패턴으로 자계선 주위를 선회하며 웨이퍼(24)를 향해 이동한다. 자계선에 의해 차단되지 않는다 할지라도, 금속이온은 플라즈마를 따라 웨이퍼(24) 향한다. 그 효과는 웨이퍼 상에 입사되는 스퍼터링된 금속 이온 자속을 증가시키는 것이다. 이온화된 자속은 깊고, 좁은 홀을 충전하거나 또는 상기 홀의 측면을 코팅하는데 효과적이다.

<30> 전술된 SIP 스퍼터링은 웨이퍼를 향해 자계를 투사하기 위한 매우 불균형한 마그네트론 즉, 전체 세기가 매우 상이한 하나의 자극을 가지는 마그네트론에 의존한다. 불균형한 접근법은 투사된 자계가 웨이퍼의 근처에서 명백히 불균일하게 되는 불이익을 갖는다. 이와는 달리, 도 1의 스퍼터 리액터는 자계를 투사하기 위하여 매우 불균형한 마그네트론을 요구하지 않는다. 대신, 전자석(41)은 타겟에서 웨이퍼(24)로 대체로 균일하고, 축방향의 자계  $B_c$ 를 투사한다.

<31> 자계를 투사하기 위한 불균형한 마그네트론을 사용하는데 또 다른 어려움은 단지 불균형한 부분이 투사되며, 이러한 부분은 마그네트론의 후면에 되돌아와야 한다는 것이다. 그러한 자계는 거리에 따라, 통상적으로 거리의 4 제곱에 의존하여 약화된다. 예시적으로 1000 가우스 자계는 100mm 상에서 10 가우스로 감소된다. 더욱이, SIP 이온화 비율은 약 25%로 제한된다. 스퍼터링된 금속 원자의 나머지 75%는 중성이며, 웨이퍼 바이어싱은 높은 중형비 홀내에서 중성 성분을 깊은 곳으로 향하게 하는데 비효과적이다. 스퍼터 리액터의 동작거리를 확장함으로써, 예를 들면, 200mm 웨이퍼 경우 290mm로 확장하여 중성 성분을 여과하여 제거하는 것이 바람직하다. 긴 동작거리는 중심-대-단부 균일성을 증가시키는 장점을 갖는다. 그러나, 불균형 마그네트론은 이러한 증가된 거리에 대해 자계를 쉽게 투사할 수 없다.

<32> 그러므로, 본 발명은 불균형 마그네트론에 대한 요구조건을 감소시킨다. 특히, 본 발명의 자기 코일을 사용하는 SIP 스퍼터링의 많은 이점은 상반되는 자극의 동일한 또는 대체로 동일한 자기력을 지닌 내부 및 외부 폐쇄 자기 밴드를 갖는 작은 회전 가능한 마그네트론으로 달성될 수 있다. 평행 밴드 구조를 갖는 폐쇄된 마그네트론은 공지되어 있으며, 폐쇄 형태로 배열된 말굽 형태 자석으로 쉽게 얻어지고, 말굽 형태 자석의 극 사이에 강

한 자계를 제공하며, 이는 Parker의 미국 특허 제 5,242, 566호와 Tepman의 미국 특허 제 5,320,728호에 개시되어 있다. 그러나, 이러한 마그네트론은 큰 마그네트론으로 SIP 마그네트론이 사용 가능한 면적중 타겟 중심에서 주변으로 연장하는 원보다 더 작은 둘리싸는 면적을 가져야 하는 요구에 따르지 못하거나, 또는 타겟은 분할되어 중심축을 통하여 지나는 평면에 의해 2 개의 절반인 공간으로 분리되고, 마그네트론은 원칙적으로 하나의 절반 공간에 배치되며 타겟 반경의 15% 이상까지 다른 절반 공간으로 확장되지 않는다.

<33> 이와는 달리, 본 발명의 자기 코일은 코일의 길이에 따라 대체로 축방향으로 균일한 자계를 생성하며, 코일의 외부에서조차도 자기력이 급격히 감소되지 않는다. 따라서, 스퍼터 리액터의 동작거리는 금속이온 자속을 불필요하게 감소시키지 않으면서 증가될 수 있다.

<34> 대형 마그네트론 주위에 감겨진 DC 코일은 Okubo 등의 미국 특허 제 5,744,011호에 개시되어 있다. 그러나, 이들의 구성은 고정된 대형 마그네트론상에 놓여져서, 마그네트론과 코일계의 결합은 코팅될 기관 근처에 수평 자계를 생성한다. 이와는 달리, 본 발명의 코일은 웨이퍼에 수직 자계를 생성시키며, 마그네트론의 자계는 대체로 타겟의 근처로 실질적으로 제한된다. 정량화하여 표현하면, 결합된 마그네트론과 코일 자계는 법선으로부터 단지 20°, 바람직하게는 단지 10° 로 웨이퍼의 모든 부분에 입사한다. 법선 입사 자기와 관련된 요소를 구분시키는 다른 것은 본 발명의 코일은 적어도 타겟 만큼 페데스탈에 가까운 지역의 웨이퍼를 향해 연장되며, 바람직하게는 타겟에서 페데스탈까지의 경로의 75% 거리를 지나쳐 연장된다는 것이다. 그 결과, 코일 자계는 코일의 외부로 복귀될 때 편향될 기회가 적게된다. 이와는 달리, Okubo 등에 의한 DC 코일은 타겟에 인접하게 위치시켜서 코일 자계가 웨이퍼의 근처에서 거의 수평이 된다.

<35> 본 발명은 챔버 측벽(14) 주위에 전선을 300 내지 400회 감아서 시험되었다. 2 A의 코일 전류는 약 100 가우스(G)의 축 자계 B<sub>c</sub>를 생성시킨다.

<36> 구리 타겟과 Fu 등에 의해 상술된 것과 비슷한 트랙 마그네트론을 갖는 스퍼터 리액터는 그러한 전자석으로 시험되었다. 타겟에는 DC 전력 35kW가 공급되며, 페데스탈은 챔버속으로 5sccm의 아르곤이 유입되면서 13.56MHz의 300W 전력으로 바이어스된다. 페데스탈 전극의 이온 전류는 코일 전류의 함수로서 측정되었다. 그 결과는 도 2의 그래프에 도시된다. 50 가우스의 코일 자계를 생성시키는 1A의 코일 전류는 2개 이상 요인에 의해 페데스탈에 대한 이온 전류를 증가시킨다. 예시된 자계는 중심에 가까운 코일의 내경에서 측정된다. 매우 얇은 코일의 경우 중심축 자계는

$$B_C = NI \frac{a^2}{2(a^2 + z^2)^{3/2}},$$

<37> 로 근사될 수 있으며, I는 코일 전류, N은 권선 수, a는 코일의 반경, 그리고 z는 코일로부터 축거리이다.

<39> 깊은 홀 속으로의 스퍼터링의 경우에, 높은 이온 전류가 바람직하다. 그러나, 2A 및 100 가우스로 더 증가시키는 것은 측정된 이온 전류를 감소시키는 원인이 된다. 상기 감소는 축 코일 자계가 수평 마그네트론 자계의 전자 차단을 방해함으로써 발생하는 것으로 여겨진다. 이러한 결과로부터, 통상적인 SIP 마그네트론의 경우, 코일 자계가 15 가우스보다 크며 100 가우스보다 작아진다는 것이 명백해진다.

<40> 본 발명의 DC 자기 코일은 챔버만큼 긴 챔버의 외부에 놓여질 수 있으며, 실드는 비자성 재료로 이루어진다는 점에서 IMP 리액터의 RF 코일과는 유리하게 구별된다. 이와는 달리, 유도적으로 결합된 IMP 리액터에서 사용되는 RF 코일은 챔버의 내부 및 실드의 내부에(만약 실드가 패러데이 실드로 전환되지 않는다면) 위치될 필요가 있다. 만약 그렇지 않다면, 도전성 챔버와 실드는 RF 필드를 짧게 할 것이다.

<41> 본 발명의 여러 가지 이점들은 코일을 축을 따라 자화된 고리모양의 자석 또는 챔버 측벽의 주변에 배열된 축으로 분극화된 일련의 자석과 같은 것으로 대체함으로써 사용될 수 있다. 그러나, 코일은 균일한 자계를 생성시키는데 매우 효과적이며, 자계의 다른 값에 대해 제어될 수 있다.

<42> 본 발명은 코일에 보조-킬로헤르츠 AC 전력을 공급하는 것도 가능하다. 그러나, 무효 전력이 없고 최대 효과를 항상 생성하는 DC 코일 전력이 최적이다.

<43> 본 발명의 자기 코일은 SIP<sup>+</sup> 스퍼터링을 위한 Gopalraja 등에 의해 상술된 것과 같은 둥근 천장으로 된 타겟을 지닌 스퍼터 리액터에도 부착될 수 있다. 천장의 대향하는 측면 상에 위치한 자석을 포함하는 제한된 형상은

매우 불균형한 마그네트론을 획득하는 것이 어렵기 때문에 코일은 등근 천장으로 된 타겟에 특히 유리하다.

<44> 본 발명은 유도적으로 결합된 IMP 스퍼터 리액터를 위한 대체용으로 상술되었지만, 본 발명의 동축 자기 코일은 그러한 IMP 스퍼터 리액터와 결합될 수도 있다. RF 코일에 의해 생성된 RF 자계와는 달리, 본 발명의 DC 또는 낮은 AC 자계는 IMP 스퍼터 리액터의 고밀도 플라즈마를 깊이 통과할 수 있다.

<45> 그러므로, 본 발명은 표준 및 경제적인 코일을 추가함으로써 마그네트론 스퍼터링을 위한 추가적인 제어를 제공한다. 본 발명은 깊은 홀 충전에 유용한 스퍼터링된 금속 원자의 고이온화 분률을 발생시키는데 효과적이라는 것을 보여준다.

<46> 마그네트론 스퍼터 리액터에서, 코일은 타겟과 스퍼터링 코팅되는 기판을 지지하는 페데스탈 사이의 처리 공간 주위에 감겨진다. 상기 코일은 에너지가 공급되어, 바람직하게는 DC 전력이 공급되어 상기 스퍼터 리액터내에 축방향 자계를 생성시킨다. 상기 축방향 자계는 바람직하게는 15 내지 100 가우스의 범위내이다.

<47> 마그네트론은 바람직하게는 더 강한 극이 반대 자기 극성의 더 약한 내부극을 둘러싸고 있으므로 불균형하다. 상기 더 강한 극은 바람직하게는 상기 동축형태의 DC 코일에 의해 발생된 자속에 평행한 자속을 생성한다.

**발명의 효과**

<48> 본 발명에 따르면 표준 및 경제적인 코일을 추가함으로써 마그네트론 스퍼터링을 위한 추가적인 제어가 제공되며, 깊은 홀 충전에 유용한 스퍼터링된 금속 원자의 고이온화 분률을 효과적으로 발생시킨다.

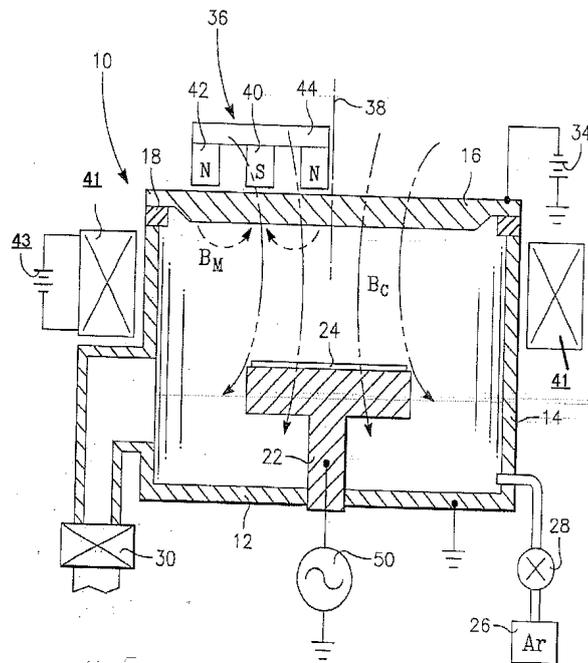
**도면의 간단한 설명**

<1> 도 1은 본 발명의 자기 코일을 포함하는 스퍼터 리액터(sputter reactor)의 도식적인 횡단면도이다.

<2> 도 2는 인가된 자계에 따른 이온 자속(ion flux)의 의존도를 나타낸다.

**도면**

**도면1**



도면2

