



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0107017
(43) 공개일자 2009년10월12일

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(51) Int. Cl.
C23C 16/24 (2006.01) C23C 16/511 (2006.01)
C23C 16/46 (2006.01) H01J 37/32 (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2009-7011231
(22) 출원일자 2006년11월14일
심사청구일자 없음</p> <p>(85) 번역문제출일자 2009년06월01일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2006/003960
(87) 국제공개번호 WO 2008/053271
국제공개일자 2008년05월08일</p> <p>(30) 우선권주장
06301114.2 2006년11월02일
유럽특허청(EPO)(EP)</p> | <p>(71) 출원인
다우 코닝 코포레이션
미국 미시간주 48686-0994 미드랜드 피오박스 994
웨스트 살즈버그 로드 2200
에플레 폴리테크닉
프랑스공화국 에프-91128 빠라이소, 루트 드 사크
레이</p> <p>(72) 발명자
로카 아이 까바로까스 페르
프랑스 에프-91140 빌봉 쉬르 이베뜨 비스 튀
라르도 13
벨긴 빠벨
프랑스 에프-91140 빌봉 쉬르 이베뜨 아비뉴 두
제네랄 드 가울르 35 레지딩스 끌로 달렌콩 4씨
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
리엔목특허법인</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

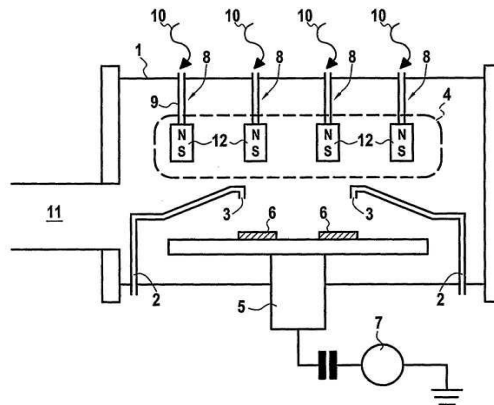
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 전자 사이클로트론 공진에 의한 비정질 실리콘 막들의 증착

(57) 요약

플라즈마 증착에 의해 기판 상에 비정질 실리콘(a-Si:H)의 막을 형성하는 방법이 개시된다. 기판은 인클로저 내에 위치되고, 막 전구체 가스는 인클로저 내로 인입되며, 인클로저 내에 낮은 압력을 제공하도록 반응되지 않고 분해된 가스가 인클로저로부터 추출된다. 배분된 전자 사이클로트론 공진(DECOR)에 의해 플라즈마를 그 내에서 생성하고, 플라즈마로부터 기판 상에 물질이 증착되도록, 마이크로파 에너지가 인클로저 내부의 가스에 도입된다. 증착 동안, 기판은 200 내지 600 °C, 바람직하게는 225 내지 350 °C 범위 내의 온도로 유지되며, 바람직하게는 기판 지지부의 50 내지 250 mW/cm²의 영역 범위 내에 RF 전력의 소스를 사용하여, 시스 전위를 -30 내지 -150V의 범위로 증가시키는 수준으로 기판에 바이어스 전압이 인가된다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

다이네카 드미트리

프랑스 에프-91120 팔레쏘 레지딩스 빠르크 다르드
네이 7

다오 띠엔 하이

프랑스 에프-91128 팔레쏘 루뜨 드 싸크레이 에 꾸
슈 망스 (엘페이쎬엠) 라보라뚜아르 드 피지끄 데
앵떼르파스 에꼴 폴리테크니끄

림보엘 파트릭

벨기에 비-1180 브뤼셀 아브뉴 돌레즈 500

데스강 피에르

벨기에 비-1330 리크상짜르 끌로 드 라 마르 오 루
44

게르맹 드 메랑드르 띠볼르

벨기에 비-1150 브뤼셀 아브뉴 익스 앵라 2

특허청구의 범위

청구항 1

인클로저(enclosure) 내에 기판을 위치시키는 단계;

상기 인클로저내에 유동 속도로 막 전구체 가스(film precursor gas)를 인입하는 단계;

상기 인클로저 내에 낮은 압력을 제공하도록, 반응되지 않고 분해된 가스를 상기 인클로저로부터 추출하는 단계;

배분된 전자 사이클로트론 공진(distributed electron cyclotron resonance, DECR)을 이용하여 그 내에서 플라즈마를 생성하고, 상기 플라즈마로부터 상기 기판 상에 물질이 증착되도록, 상기 인클로저 내에서 상기 가스에 마이크로파 에너지를 인가하는 단계;를 포함하고,

상기 기판은 증착 동안 200 내지 600 °C의 범위의 온도로 유지되고,

시스 전위(sheath potential)를 -30 내지 -150V의 범위로 증가시키는 수준으로 바이어스 전압을 상기 기판에 인가시키는 것을 특징으로 하는 플라즈마 증착에 의해 기판 상에 비정질 실리콘 막을 형성하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 시스 전위는 -35 내지 -85V의 범위인 것을 특징으로 하는 플라즈마 증착에 의해 기판 상에 비정질 실리콘(a-Si:H) 막을 형성하는 방법.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 기판은 전도성 접착 부재를 이용하여 기판 지지부에 부착되고,

상기 기판 지지부에 열을 공급하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 증착에 의해 기판 상에 비정질 실리콘 막을 형성하는 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 기판은 비전도성이고,

상기 바이어스 전압이 RF 전력의 소스에 의해 상기 기판에 인가되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 증착에 의해 기판 상에 비정질 실리콘 막을 형성하는 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 RF 전력은 이온 수집 표면의 영역에서 50 내지 250 mW/cm²의 범위인 것을 특징으로 하는 플라즈마 증착에 의해 기판 상에 비정질 실리콘 막을 형성하는 방법.

청구항 6

선행하는 어느 한 항에 있어서,

상기 온도는 350°C에 비하여 높지 않은 것을 특징으로 하는 플라즈마 증착에 의해 기판 상에 비정질 실리콘 막을 형성하는 방법.

청구항 7

선행하는 어느 한 항에 있어서,

상기 온도는 적어도 225°C인 것을 특징으로 하는 플라즈마 증착에 의해 기판 상에 비정질 실리콘 막을 형성하는

방법.

청구항 8

선행하는 어느 한 항에 있어서,

상기 막 전구체 가스는 상기 기판을 향하는 방향으로 상기 인클로저 내에 인입되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 증착에 의해 기판 상에 비정질 실리콘 막을 형성하는 방법.

명세서

기술분야

<1> 본 발명은 비정질 수소화 실리콘(a-Si:H)의 막을 형성하는 방법에 관한 것으로서, 이하에서는, 작업 표면 상으로 플라즈마 증착에 의한 "비정질 실리콘"이라 간단히 지칭한다. 통상적으로, 비정질 수소화 실리콘은 3 내지 20%의 수소를 포함하며, 이들의 존재는 결합들인 땀글링 본드들(dangling bonds)을 부동태화하는 역할을 한다. 더욱 상세하게는, 본 발명은, 플라즈마 화학 기상 증착(plasma-enhanced CVD)으로 알려진 공정에서, 예를 들어 SiH₄, Si₂H₆ 또는 높은 차수의 저중합체(oligomer)와 같은 실란(silane)을 분해시키기 위해 전자 사이클로트론 공진을 이용하는 플라즈마를 제조하기 위한 마이크로파 에너지의 사용과 관련된다. 비정질 실리콘을 증착하기 위하여 사용될 수 있는 다른 전구체 가스들은 실리콘이 하나 또는 그 이상의 탄소, 산소, 또는 질소, 선택적으로 수소와 함께 조합되어 존재하는 분자들을 포함한다.

배경기술

<2> 비정질 실리콘 막들의 사용과 관련하여 특정한 관심 분야의 하나는 태양 에너지를 전기적 전력으로 변환하는 장치들이다. 이러한 비정질 실리콘 물질은 또한 디스플레이를 위한 TFT와 같은 전자적 어플리케이션에서 사용할 수 있다.

<3> 플라즈마를 전자 사이클로트론 공진(electron cyclotron resonance, 이하에서는 약어로서 "ECR"이라함)으로 여기하는 기술 분야에 있어서, 정적(static) 자기장 또는 준정적(quasi-static) 자기장 내의 전자의 회전 주파수가 인가된 가속 전기장의 주파수와 동일한 경우에 공진을 얻는다. 이러한 공진은 여기 주파수(f)에서 자기장(B)에 대하여 얻을 수 있고, 주파수(f)와 자기장(B)의 관계는 다음과 같다.

수학식 1

$$B = 2\pi m f / e$$

<4>

<5> 여기에서, m은 질량이고, e는 전자의 전하이다.

<6> 플라즈마가 전자 사이클로트론 공진 주파수에서 여기되면, 상기 가스를 해리하거나 또는 이온화하기 위하여 필요한 임계 에너지에 도달하도록 상기 수학식 1의 ECR 조건이 일치할 때에, 전자들은 전기장과 동조하여(in phase) 회전하고, 외부 여기 소스로부터 연속적으로 에너지를 얻는다. 이러한 조건을 만족하기 위하여, 첫째, 상기 전자는 자기장 라인들 내에 갇혀있으며, 즉, 전자에 대한 정적(static) 자기장 기울기에 대하여 그의 회전(gyration) 반경이 충분히 작아 회전하는 동안 실질적으로 균일한 자기장으로 나타나고, 둘째, 회전 주파수는 전자들 및 원자들 및/또는 분자들과 같은 중성 요소들 사이의 충돌 주파수에 대하여 상대적으로 크다. 다시 말하면, 플라즈마를 전자 사이클로트론 공진으로 여기하기 위한 가장 좋은 조건들은 가스 압력이 상대적으로 낮으며, 동시에 여기 주파수(f)가 높은 경우에 얻을 수 있다고 기대할 수 있고, 이는 또한 자기장 강도(B)가 높음을 의미한다.

<7> 종래의 발산형(divergent) ECR의 주요 문제점은 넓은 면적에 걸쳐서 실질적으로 균일한 밀도의 플라즈마를 형성하기가 불가능하다는 것이다. 이러한 점은, 예를 들어 넓은 크기의 작업 표면 상에 물질의 실질적으로 균일한 층을 증착하기 위하여 사용할 수 없다는 것을 의미한다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여, 작업 표면 상에 실질적으로 균일한 밀도를 가지는 플라즈마를 통합적으로 발생하는 장치들을 포함하는 배분된 전자 사이클로트론 공진(distributed electron cyclotron resonance, DECR)으로 알려진 기술이 개발되었고, 이는 복수의 플라즈마 여기 장치들이 네트워크로 형성되어 있는 장치를 포함한다. 플라즈마 여기 장치들 각각은 마이크로파 에너지의

와이어 인가부(applicator)로 구성되어 있고, 그 일단부는 마이크로파 에너지를 형성하기 위한 소스와 연결되고, 그 타단부는 균일하고 전자 사이클로트론 공진에 상응하는 강도의 자기장을 가지는 적어도 하나의 표면을 생성하기 위한 적어도 하나의 자기 쌍극자와 정합한다. 상기 쌍극자는 극(pole)들 사이에서 진동하는 전자 사이클로트론 공진으로 가속된 전자들을 보장하도록 상기 마이크로파 인가부의 일단부에 설치되고, 이에 따라 상기 인가부의 일단부로부터 이격된 쌍극자의 측부상에 위치한 플라즈마 확산 구역을 생성한다. 여기 장치들 각각은 서로에 대하여 상대적으로 배분되고, 작업 표면에 인접하게 위치하고, 상기 작업 표면에 대하여 균일한 플라즈마를 함께 형성한다.

<8> 이러한 DECR 장치는 미국특허번호 제6,407,359호 (유럽특허번호 제1075168호에 상응함)에 개시되어 있고, 상기 장치의 보다 상세한 설명은 도면을 참조하여 하기에 개시되어 있다. 도면으로부터 명백한 바와 같이, 기관으로부터 볼 때에, 여기 장치들은 통상적으로 직사각형 어레이의 형태를 가지며, 또한 상기 직사각형이 정사각형인 특정한 경우를 포함하고, 이에 따라 이러한 장치는 종종 매트릭스 DECR(matrix distributed electron cyclotron resonance, MDECR) 장치로 지칭된다. 그러나, 본 발명은 또한 여기 장치들이 직사각형이 아닌 2차원 네트워크, 예를 들어 육각형 네트워크로서 배열되거나, 여기 장치들이 두 개의 평행한 라인들로 배열되고 하나의 라인의 장치들이 서로에 대하여 오프셋(offset)인 DECR 장치에 적용될 수 있음을 이해할 수 있다. 육각형 어레이의 일례가 라가데(T. Lagarde), 아르날(Y. Arnal), 라코스테(A. Lacoste), 펠레티어(J. Pelletier)의 "Determination of the EEDF by Langmuir probe diagnostic in a plasma excited at ECR above a multipolar magnetic field" (Plasma Sources Sci. Technol. 10, 181-190, 2001)에 개시되어 있다. 이러한 장치들은 또한 원형 어레이, 반원형 어레이 또는 원형에 가까운 어레이로서 위치할 수 있다. 본 발명자들에 의하여 수행된 일부 연구들에 있어서, 증착들은 세 개 또는 여섯 개의 장치들로 둘러싸인 중앙 플라즈마 여기 장치에 의하여 수행되었음을 유의하여야 하며, 둘러싸인 장치들은 상기 중앙 장치의 자석에 대하여 반대로 위치한 자석의 극성들을 가지고, 각각 삼각형 어레이 또는 육각형 어레이로 배열되어 있다. 또한, 본 발명은 MDECR형이 아닌 DECR 장치 장치에 적용될 수 있다. 이에 따라, 예를 들어, 역사적으로 MDECR에 비하여 선행하는 DECR 반응기에 적용될 수 있고, 상기 반응기는 실린더 형상을 가지고, 상기 실린더의 상측에서 하측으로 연장된 긴 안테나들과 자석들을 사용한다. 이러한 배열은 모이산(Michel Moisan)과 펠레티어(Jacques Pelletier)의 "Microwave Excited Plasmas" (Elsevier, 1992)에 개시되어 있고, 튜브와 같은 실린더형 기관 또는 플라즈마 2극성 평균 자유 경로(mean free path)와 비교하여 작은 치수(길이, 반경)에 의하여 특징되는 목적물을 균일하게 코팅하기에 적절하다 (상술한 참조의 첨부 9.1 페이지 269-271를 참조). 이러한 목적물은 플라즈마의 중앙부에 위치하고 실린더의 축에 대하여 수직으로 방위된 평평한 표면을 가질 수 있다.

<9> DECR 기술이 높은 증착 속도에서 물질을 증착할 수 있는 가능성을 제공한다 하더라도, 특히 태양 전지들과 관련하여, 이러한 방법으로 증착을 하는 경우 높은 품질의 물질을 얻기가 어렵다는 것이 밝혀졌다. 우리는 이온 에너지와 기관의 온도와 같은 두 가지 요소들의 정확한 제어를 통해 특정한 특성들의 바람직한 조합이 달성될 수 있다는 것을 알아냈다. 이러한 두 요소들과 특히 중요하게 관련이 있다고 밝혀진 특성들은 밴드갭(bandgap, 낮은 밴드갭이 바람직하다), 밀도(높은 밀도가 바람직하다), 무질서 파라미터(disorder parameter, 낮은 수준이 바람직하다), 및 표면 거칠기(낮은 수준의 거칠기가 바람직하다)이다. 이러한 특성들 중 처음 세 가지 특성들은 수소 함량과 차례로 관련되고, 바람직한 범위의 수소 함량(3 내지 20%)은 상기 특성들의 바람직한 값들의 달성에 기여한다. 이온 에너지와 기관의 온도의 적절한 조합은 높은 광학적 및 전기적 품질을 가지는 층들의 성장을 허용하는 것으로 밝혀졌고, 이들은 태양광의 포획(capture)을 최적화하고 충분한 전하의 이동을 촉진시키므로 박막 태양 전지에 사용될 수 있다.

발명의 상세한 설명

<10> 본 발명에 따르면, 증착에 의해 기관 상에 비정질 실리콘(a-Si:H) 막을 형성하는 방법이 제공되며, 상기 방법은 인클로저(enclosure) 내에 기관을 위치시키는 단계, 상기 인클로저내에 유동 속도로 막 전구체 가스(film precursor gas)를 인입하는 단계, 상기 인클로저 내 낮은 압력을 제공하도록, 반응되지 않고 분해된 가스를 상기 인클로저로부터 추출하는 단계, 배분된 전자 사이클로트론 공진을 이용하여 플라즈마를 생성하고, 상기 플라즈마로부터 상기 기관 상에 물질이 증착되도록, 상기 인클로저 내 가스에 마이크로파 에너지를 인가하는 단계를 포함하고, 상기 기관은 증착 동안 200 내지 600 °C의 범위의 온도로 유지되고, -30 내지 -150V의 범위의 시스 전위(sheath potential) 수준까지 증가하도록 바이어스 전압이 상기 기관에 인가된다.

<11> 바람직하게는, 상기 시스 전위는 -35 내지 -85V의 범위이다. 바람직하게는, 상기 온도는 225 내지 350°C의 범위이다.

<12> 여기서 전자 감금 포락선(hot electron confinement envelope)"을 언급한다. "열전자 감금 포락선"의 정의는 먼저 "열전자 구성성분 구역들(hot electron component zones)"의 정의가 필요하다. 상기 열전자 감금 구역들은 뜨거운(빠른) 주 전자들이 갇힌 영역들이다. 이들은 서로 반대의 극성의 두 개의 인접한 자석 극들 사이에서 전자들이 진동하는 영역들이다. 상기 자석 극들은 단일 자석의 두 개의 극들(이하에서는, "자석 내 극들(intra-magnet poles)"로 지칭함)이거나 또는 두 개의 인접한 자석들의 극들(이하에서는, "자석 간 극들(inter-magnet poles)"로 지칭함)이며, 상기 영역에서는, 단일 근사 조건을 만족하고(자기장 기울기에 대하여 라모어(Larmor) 반경이 작다), ECR 커플링 조건을 만족하는 영역들을 가로지르면서 전자들이 에너지를 얻는다.

<13> 상기 자석들과 상기 열전자 감금 구역들은 열전자 감금 포락선을 정의한다. 이는 자석들의 어레이의 포락선의 부피이고, 자석 간 구역들(존재하는 경우)이 자석들의 단부들을 넘어서 연장되는 거리로 양방향으로 상기 자석들의 자기 축들에 대하여 평행하게 연장되고, 상기 자석 내 구역들이 자석들의 외측 방향으로 대면하는 표면들을 넘어서 연장되는 거리로 모든 방향으로 자석들의 자기 축들에 대하여 수직으로 연장된다.

실시예

<25> 도 1 및 도 2는 그 상에 막이 증착되는 기관에 대하여 플라즈마를 발생하는 장치를 도시한다. 상기 장치는, 개략적으로 도시된 바와 같이, 가스를 인입하고 반응되지 않고 분리된 가스를 (출구(11, exit)를 통해) 펌핑하여 배출하는 장치들(도 1에 미도시)과 정합하는 밀봉된 인클로저(enclosure, 1)를 포함한다. 상기 장치들은 이온화되거나 분해된 가스의 압력을, 가스의 특성과 여기 주파수에 의존하여, 예를 들어 대략 10^{-2} 내지 2×10^{-1} 파스칼(Pascals)과 같은 원하는 수치에서 유지되도록 한다. 그러나, 10^{-2} Pa 이하(예를 들어, 10^{-4} Pa 까지 낮아짐)의 가스 압력, 또는 2×10^{-1} Pa 이상(5×10^{-1} 까지 높아지거나 또는 심지어는 1 Pa 또는 그 이상으로 높아짐)의 가스 압력을 사용할 수 있다. 예를 들어, 펌핑은 1600 l/s 알카텔 터보-분자 펌프(Alcatel Turbo-molecular pump)에 의하여 수행될 수 있고, 이는 상기 인클로저에서 가스를 추출한다.

<26> 물질 유동 제어기(mass flow controller, MFC)의 제어에 의하여, 적절한 가스 소스, 예를 들어 가압된 가스 실린더로부터 상기 인클로저로 가스가 인입된다. 상기 가스는, 예를 들어 막 전구체 가스로서 SiH_4 을 포함할 수 있고, 또는 비정질 실리콘의 증착에 관련하여 상술한 다른 가스들 중의 하나를 포함할 수 있다. 상기 막 전구체에 추가하여, 헬륨(He), 네온(Ne) 또는 아르곤(Ar)과 같은 불활성 희석 가스, 수소, 질소 또는 산소와 같은, 반응성 가스, 또는 디보란(diborane), 트리메틸보론(trimethyl boron) 또는 포스핀(phosphine)과 같은 도판트 가스를 또한 인입시킬 수 있다. 통상적으로, 동일한 포트(port) 또는 포트들을 통하여 막 전구체 가스로서 다른 가스들이 상기 인클로저 내로 인입되고, 상기 가스들은 서로 혼합되지만, 개별적으로 인입될 수 있다. 가스 공급 시스템은 가스들의 적절한 유동, 통상적으로 반응기 내로 1 내지 1000 sccm (standard cubic centimetre per minute)의 범위의 유동을 보장하여야 한다.

<27> 상기 가스를 위한 주입 포트는 일반적으로 단일 튜브, 또는 복수의 튜브들(2)로 구성되고, 증착 챔버로 인입된다. 증착 챔버 내의 더 균일한 가스 배분을 보장하기 위하여, 상기 튜브는, 또는 하나보다 많은 경우에는 각각의 튜브는, 그리드에 의하여 연장될 수 있다. 주입은 상기 반응기 내의 어느 위치에서도 수행될 수 있으나, 기관 표면을 향하여 막 전구체 가스가 향하는 것이 바람직하다.

<28> 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 상기 기관 표면을 향하여 상기 가스를 향하게 배열된 상기 출구의 언급은 상기 가스가 막이 그 상에 증착되는 상기 기관 표면에 직접적으로 향해지는 경우뿐만 아니라, 상기 출구로부터, 그곳에서부터 가스 유동의 방향으로 상기 출구로부터 연장되는 라인과 그에 대하여 수직이고 상기 출구를 지나가는 라인 사이에 정의된 각도 내에 상기 기관 표면이 전체적으로 위치하는 모든 경우를 포함한다. 이러한 상황들 하에서, 상기 출구로부터 발생하는 가스 유동은 상기 표면의 모든 부분을 향하는 벡터 컴포넌트(vector component)를 가질 것이다.

<29> "점(point)" 주입으로 지칭되는 상기 주입을 수행하는 하나의 방법이 도 1에 개략적으로 도시되어 있다. 이러한 배열에서는, 상기 막 전구체는 파이프, 또는 복수의 파이프들(두 개가 도시됨)을 통하여 인입되고, 상기 파이프들 각각은, 열전자 감금 포락선(4, 점선으로 도시됨) 및 기관 표면 사이에 위치하고 상기 표면을 향하는, 출구(3)를 가진다.

<30> 이러한 주입 배열 및 다른 주입 배열들의 상대적인 장점들이 본 출원과 동일자에 출원되고 출원절차가 함께 계류 중인(copending) 출원인 "Method and apparatus for forming a film by deposition from a plasma"와 "Device for forming a film by deposition from a plasma" (우리의 참조번호 제G28331EP호 및 제G28332 EP

호)에서 설명되어 있다. 또한, 본 출원과 동일자에 출원되고 출원절차가 함께 계류 중인(copending) 출원인 "Method for forming a film of an amorphous material by deposition from a plasma" (우리의 참조번호 제 G27557EP호) 에서 형성된 막들의 특성들 상에 막 전구체 가스의 유동 속도 및 체류 시간(residence time)의 영향에 관한 논의가 있음을 유의한다.

- <31> 플라즈마 챔버는 가열된 기관 지지부(5)를 가지도록 설비된다. 도시된 바와 같이, 적어도 하나의 기관(6), 및 선택적으로 다수의 기관들은 상기 지지부(6) 상에 탑재된다. 상기 기관 지지부와 상기 기관 사이의 관계는 하기에 더 설명된다.
- <32> 상기 기관 지지부의 기능 중 하나는 요구되는 증착 온도까지 상기 기관들을 가열하는 것이다. 이는 통상적으로 실온 내지 600°C 사이이고, 비정질 실리콘을 증착하는 경우에는 200°C를 초과하는 것이 바람직하고, 더 바람직하게는 225°C 내지 350°C 사이이다. 이는 상기 기관 지지부 내부에 고온 유체를 순환시킴으로써 얻어질 수 있고, 상기 기관 지지부 내부에 삽입된 저항체를 전기적으로 가열함으로써 또한 얻어질 수 있다. 그러나, 선택적으로, 예를 들어 적외선 램프들을 이용하여 상기 기관을 직접적으로 가열할 수 있다. 적절한 온도로 가열하는 것의 중요성이 하기에 더 논의된다.
- <33> 상기 기관 지지부의 다른 기능은 상기 기관을 향하여 이온들의 에너지를 제어하기 위하여 상기 기관 표면에 분극(polarization)을 허용하는 것이다. 분극은 RF 전압의 소스를 이용하거나 DC 전압을 이용하여 구현될 수 있고, 상기 기관 지지부가 접지로부터 전기적으로 절연될 것을 요구한다. RF 분극의 경우에 있어서, 전기적으로 절연된 기관 지지부를 적절한 정합 회로와 함께 적절한 RF 또는 DC 발전기(16)에 연결시켜 분극을 구현할 수 있다. 절연 기관 상에 증착하거나, 또는 기관(절연물 또는 절연물이 아닐 수 있음) 상에 먼저 증착된 절연층 상에 증착하는 경우에 있어서, RF 발전기의 사용이 바람직하고, 이는 도 1에서 참조 번호 7에 의해 표시된 RF 발전기에 나타나 있다. 도전물 기관 상에 증착하거나, 도전물이거나 도전물이 아닌 기관 상에 먼저 증착된 도전층 상에 증착하는 경우에 있어서, 상기 기관 표면에 적절한 전기적 연결을 가지는 RF 발전기 또는 DC 발전기에 의하여 바이어스(bias)가 인가될 수 있다. 특정한 실시예에 있어서, RF-바이어스는 자동 튜닝 박스(automatic tuning box)를 통하여 상기 기관 지지부에 연결된 13.56 MHz 드레시어(Dressier) 발전기를 이용하여 인가될 수 있다. RF 발전기를 사용하는 경우라고 하여도, 상기 기관 표면 상의 결과적인 바이어스는, 상기 플라즈마 내의 조건들의 결과로서, DC 바이어스 성분을 포함한다. 이에 대한 설명이, 완전히 다른 플라즈마 공정의 설명을 기초하여, 스즈키 등(Suzuki et al)에 의한 "Radio-frequency biased microwave plasma etching technique: A method to increase SiO₂ etch rate", (J. Vac. Sci. Technol. B 3(4), 1025-1033, Jul/Aug 1985)에 개시되어 있다. 적절한 레벨의 바이어스를 사용하는 것의 중요성이 하기에 더 논의된다.
- <34> 상기 플라즈마 제조 장치는 일련의 개별적인 플라즈마 여기 장치들(8)을 포함하고, 상기 플라즈마 여기 장치들은, 서로 이격되고, 상기 기관들에 대하여 균일한 플라즈마를 생성하기 위하여 함께 작동한다. 개별적인 플라즈마 여기 장치들 각각은 연장된 마이크로파 에너지 인가부(9)를 포함한다. 에너지 인가부(9) 각각은 그 단부들 중 하나가 인클로저(1)의 외부에 위치하는 마이크로파 에너지 소스(10)와 연결된다. 그러나, 선택적으로 단일 마이크로파 에너지 소스가 모든 인가부들에 마이크로파들을 공급할 수 있고, 또는 인가부들의 갯수에 비하여 작은 갯수의 복수의 에너지 소스들이 있을 수 있다. 예를 들어, 16개의 인가부들의 어레이는 통상적으로 두 개의 2.45 GHz 마이크로파 발전기들에 의하여 공급될 수 있고, 상기 발전기들 각각은 2 kW의 최대출력을 가지고 전력 스플리터(power splitter) 및 각각의 슬러그 튜너들(slug tuners)을 통하여 여덟 개의 인가부들에 각각 공급한다. 상기 마이크로파 에너지가 플라즈마로 적절하게 변환되는 것을 보장하기 위하여, 각각의 인가부는 반사되는 출력을 최소화하거나 또는 적어도 감소시키기 위하여 정합 장치와 함께 설치되는 것이 바람직하다.
- <35> 각각의 마이크로파 인가부는 적어도 하나의 영구 자석(12)과 연결된 자유 단부를 가진다. 각각의 자석은 자석 자체의 장축과 평행한 자기 축을 (바람직하게는) 가진다. 이러한 배열의 특정한 형태에 있어서, 플라즈마 여기 장치들 모두는 동일한 방향으로 방위된(단극 구성) 자석들을 가지며, 즉 그들의 모든 북극이 상측에 있고 모든 남극이 하측에 있거나, 또는 이와 반대이다. 다른 경우에는, 각각의 극들 중의 일부는 상측에 있고, 다른 일부는 하측에 있다(다극 구성). 후자의 예는 어레이이며, 도 2의 일단에서 보이는 바와 같이, 장치들의 어떠한 주어진 열 또는 행을 따라서 지나고, 하나는 교대하는 극성의 극들과 연속적으로 교차된다. 다른 실시예에서는, 주어진 열(또는 행) 내의 모든 자석들은 동일한 극성을 가지고, 행(또는 열)은 교대하는 극성을 가진다. 그러나, 배열들은 상기 자석들의 자기 축들이 상기 자석들 자체의 장축과 평행하지 않도록 사용될 수 있으며, 자기장의 라인들이 마이크로파들의 전파 벡터와 평행한 중요한 영역들을 제공한다. 이것은 ECR 댐핑(damping)이 발생할 수 있는 중요한 영역들의 존재를 보장하기 위하여 필요하다.

- <36> 상술한 바와 같은 소정의 바람직한 특성들을 제공함에 있어서 예은 에너지와 기판 온도의 중요성과, 이온 에너지와 기판 온도를 적절하게 제어하는 방법에 대한 논의가 제공된다.
- <37> 이온 에너지
- <38> 플라즈마가 형성되면, 플라즈마는 벌크(bulk)에서 전기적으로 중성이고, 이는 전자들의 갯수가 양성 전하의 갯수와 동일함을 의미한다. 그러나 그 경계들에서는, 중이온들(heavy ions)들의 이동도에 비하여 매우 높은 상기 전자들의 이동도(mobility)로 인해, 전자들은 벽들에 의해 수집되므로, 플라즈마 전자-중성(electro-neutrality)은 상기 경계들과 인접한 곳에서는 존재하지 않는다. 상기 전자-중성이 존재하지 않는 상기 영역을 시스(sheath)라 부른다. 이는 도 3에 도시되어 있다.
- <39> 따라서 상기 플라즈마는 시스를 통해 상기 벽과 연결되고, 전압 강하는, 양이온들을 당기고 음전하들(전자들)을 반사시킴으로써, 상기 이온 및 전자 전류들을 평형하게 한다(준중성상태(quasi neutrality)는 손실된 전자들의 갯수가 손실된 이온들의 갯수와 동일할 것을 요구함). 빠른 전자들을 제한하기 위해, 상기 플라즈마 전위는 상기 벽들에 대하여 포지티브(positive)이다. 이는 양이온들은 추출되고 상기 시스에 의해 상기 벽들까지 가속되는 반면에, 느린 전자들과 음이온들은 상기 시스에 의해 상기 플라즈마 내에서 반발력을 받음을 의미한다.
- <40> 상기 시스 내 이루어지는 충돌에서의 최종적인 손실 에너지 또는 최종적인 이득 에너지와 마찬가지로, 상기 시스 내에서 가속된 상기 이온들에 의해 얻어진 에너지는 상기 플라즈마와 상기 기판 사이의 전위 강하(시스 전위)의 함수이다.
- <41> RF 플라즈마들을 제외하고, 상기 시스의 두께는 수 드바이(Debye) 길이들의 차수이다. 후자는 상기 전자 움직임과 관련된 플라즈마의 특성 길이 척도(scale)이다. 이는 전자 온도 및 플라즈마 밀도로부터 계산될 수 있고 이는 하기와 같다.

수학식 2

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{n e^2}} = 743 \sqrt{\frac{T_e}{n_e}} (cm)$$

- <42>
- <43> 따라서 상기 시스 두께는 하기와 같다.

수학식 3

$$x_s = a \lambda_D = a \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{n e^2}} (cm)$$

- <44>
- <45> a는 2 내지 5의 범위이다.
- <46> 비정질 실리콘 증착에 사용된 DECR 플라즈마의 특성을 고려하여, 상기 기판 지지부의 위치에서 전자 온도와 전자 밀도는 $kT_e = 1.5 \text{ eV}$ 이고, $n_e = 10^{16} \text{ m}^{-3}$ 또는 10^{10} cm^{-3} 로 측정된다. 따라서, λ_D 는 $90 \mu\text{m}$ 의 차수이고 따라서 시스 두께는, 180 내지 $450 \mu\text{m}$ 범위이고, 이는 매우 작다.
- <47> 상기 DECR 플라즈마는 또한 매우 낮은 압력에서 작동한다; 통상적으로 1 내지 10 mTorr (약 0.133 내지 1.33 Pa) 범위이다. 이러한 조건들에서 상기 중들의 평균 자유 경로(mean free path, 입자가 다른 입자와 충돌하기 전까지 이동할 수 있는 평균 거리)는 50,000 내지 $5,000 \mu\text{m}$ 의 차수이고, 이는 상기 시스 두께보다 훨씬 더 크다. 이는 상기 시스에 들어가는 이온들이 전기장에 의해 상기 표면에 대하여 수직으로 인도될 것이고, 다른 이온들과 충돌함이 없이 상기 표면에 대부분 항상 도달함을 의미한다.
- <48> 높은 밀도 플라즈마 및 낮은 작동 압력의 조합은 상기 시스를 효율적인 무충돌영역화 할 수 있다. 따라서 초기

에너지(상기 플라즈마 소스와 상기 기관 사이의 통상적인 거리 [10 cm 까지임] 때문에 낮은 경향이 있음)를 갖는 것 이외에, 상기 이온들은 상기 시스 내에서 상기 전기장에 의해 가속되고, 시스 전위에 직접적으로 비례하는 에너지와 함께 상기 표면에 도달한다.

<49> 어떠한 분극이 상기 기관(상기 논의의 문맥상 "벽"에 해당)에 인가될 경우 이는 상기 플라즈마 전위에 더해질 것이고, 이로 인해 상기 이온 에너지가 이러한 바이어스 전위만큼 조정될 것이다.

수확식 4

<50> $E_{ion} = e(V_p - V_{dc}) = eV_{sheath}$

<51> 이 경우,

<52> - V_p : 상기 플라즈마와 기준으로서 제시된 접지 간 전위차

<53> - V_{dc} : 상기 RF 분극에 따른 DC 바이어스

<54> 상기 상황은 도 4에 개략적으로 요약되어 있다.

<55> 시스 전위

<56> 상술한 바와 같이, 상기 기관에 충돌하기 전에 상기 이온의 가속을 결정하는 상기 시스 전위는 결정되어야 할 중요한 값이다.

<57> 어떠한 외부 분극도 없는 경우에, 전하들의 상기 비대칭적 수집에 의해 상기 기관은 자동적으로 분극화된다. 이는 상기 바이어스되지 않은(unbiased) 시스 전위로 지칭되는 V_{us} , 다시 말해, 상기 플라즈마 벌크(bulk)와 상기 플라즈마 경계 사이의 (상기 기관 지지부에서의) 전위 차이를 정의한다.

<58> $V_{us} = V_p - V_f$

<59> 이 경우,

<60> - V_f : "플로팅(floating)" 기관(즉, 접지되지 않음)과 기준으로서 제시된 접지 간 전위차. 플로팅 전위는 상기 바이어스 전압으로 정의되고, 프로브(기관)는 순전류가 없고, 상기 프로브(probe)에 대한 전자들 및 이온 전류들의 균형에 의해 결정된다.

<61> 과잉 전하들의 초기 존재로 인해 상기 기관에 바이어싱(biasing) 하는데 필요한 전력이 예상보다 높을 수 있으므로, 기관을 외부에서 바이어싱 하는 경우, 이러한 과잉 전하들을 고려하여야 한다.

<62> 상술한 바와 같이, 상기 바이어싱은 통상적으로 상기 기관 상에 13.56Mhz RF 전압을 인가하여 구현되고, 이는 도전성 및 유전성 물질 모두의 분극을 가능하게 한다. 상기 플라즈마에서 상기 기관의 다이오드 타입의 I-V 응답으로 인해, 상술한 스즈키(Suzuki) 등의 인용참증에서 설명된 바와 같이, DC 전압이 상기 표면에서 구축된다. 이러한 전압은 상기 플라즈마 전위에 더해져 상기 시스를 가로질러 전체 전위 차이를 나타내고, 상기 이온들은 가속시킬 수 있다.

<63> 상기 플로팅 전위를 결정하기 위해, 상기 기관 지지부에 변화하는 RF 바이어스를 인가하고, 평형에 도달하는데 필요한 결과적인 DC 분극(V_{dc}) 및 RF 전력 모두를 측정함으로써 실험들을 수행하였다. 이는 또한 상기 기관 지지부에서의 상기 이온 전류를 결정하도록 할 수 있다.

<64> 유사한 조건들에서 다른 실험들이 수행되었고, 이들은 하기 표에 설명되어 있다. 모든 경우들에서, 각 안테나에는 동일한 MW 전력이 공급되나 4 또는 16 안테나들만이 사용되어, 상기 이온 전류에 거의 영향을 미치지 않는다(아래 참조).

표 1

샘플	온도 °C	캐리어 플레이트	은(Ag) 접착부재	안테나	거리 cm	주입	SiH ₄ sccm	PMW kW
d170405	275	Yes	No	16	10	점	100	2
d070705	275	Yes	No	16	10	점	100	2
d120705	275	Yes	No	16	10	점	100	2
d020905	285	Yes	No	16	10	점	100	2
d201005	275	Yes	No	16	10	점	100	2
d180206	310	Yes	No	16	10	점	100	2
d040206	250	No	Yes	16	11	튜브	105	2
d210605	275	Yes	No	4 center	10	점	100	0.5
d240605	275	Yes	No	4 center	5	점	100	0.5
d240605a	275	Yes	No	4 center	5	점	100	0.5

<65>

<66> 상기 결과들이 도 5에 도시되어 있고, 상기 유도된 DC 바이어스 전압과 상기 주입된 RF 전력 사이에 선형 관계가 있음을 나타낸다. 완성도를 위해, 상기 표 1은 증착이 수행된 조건들에 대한 실질적인 양의 정보를 제공하고, 표 1의 다양한 열들의 의미는 하기에 간단하게 요약되어 있다. 그러나, 상기 논의의 이 부분의 의미에서 문제되는 것은 다양한 조건들 하에서도 상기 선형 관계가 존재한다는 것이다.

<67> 표 1에서:

<68> "온도(Temp)"는 상기 기관의 명목상의 온도를 나타낸다, 하기에 설명된 이유들 때문에, 샘플 d040206의 경우를 제외하고, 이는 실제 온도가 아니다.

<69> 캐리어 플레이트는 상기 기관이 캐리어 플레이트 상에 위치되었는지 여부를 나타내고, 이는 가열된 기관 지지부 상에 위치되었거나, 직접적으로 상기 기관 지지부 상에 직접적으로 위치되었다.

<70> "은" 접착 부재(glue)의 "Yes"는 상기 샘플이 상기 기관 지지부에 접착됨을 의미하고, 이는 상기 온도 제어와 관련하여 더 논의된다.

<71> "안테나" 열은 존재하는 안테나들의 개수를 나타내고, 4개의 안테나 배열의 경우, 위에서 볼 때에, 상기 안테나들은 상기 리액터의 중앙 영역에 위치한다.

<72> "거리"는 상기 기관과 상기 안테나들의 자석들의 하부와의 수직 거리를 의미한다.

<73> "주입"은 주입의 종류를 의미한다. "점 주입" 용어는 위에 설명되어 있다. "튜브(tube)" 주입에서는 상기 전구체 가스가 상기 열전자 감금 포락선 바로 위의, 혹은 그 내의 위치로부터 상기 기관을 향하는 방향으로 주입된다.

<74> 표 1의 뒤에서 두 번째 열은 상기 전구체 가스가 도입되는 속도(sccm, standard cubic cm per minute)를 나타낸다.

<75> 표 1의 마지막 열은 펄스된 마이크로파 소스(pulsed microwave source)의 전력을 kW로 나타낸다.

<76> 상술한 선형 관계는 상기 네가티브(negative) RF 바이어스가 증가하더라도 상기 이온 전류가 현저하게 변하지 않음을 나타내고, 상기 DC 바이어스는 상기 인가된 RF-전력에 직접적으로 정비례함을 나타낸다. 상기 전류는 상기 기관 상에서뿐만 아니라 상기 기관 지지부 전체 상에서의 전하 수집에 의한 것이다. 이미 알려진 바와 같이, 상기 바이어스가 평평한 기관들에서 더 네가티브가 될수록, 상기 이온 전류는 매우 빠르게 상수값(constant value)에 도달한다. 상기 전하 수집이 일정하고, 상기 인가된 전압의 제공근으로서 변화하는 것으로 알려진, 상기 시스 두께의 변경은 평평한 기관(에지 효과들이 중요한 기관, 즉 작은 표면 면적의 경우를 제외함)에서의 전하 수집에 영향을 미치지 않는다.

<77> 플로팅 전위

<78> 일부 RF 전력은 상기 기관을 접지에 대하여 0V로 유지할 필요가 있다. 이는 상기 플로팅 전위가 명백하게 접지

에 대하여 포지티브이고, 상기 바이어스 전위가 상기 플로팅 전위보다 더욱 네가티브가 될 때 가능한 한 빨리 전하 보상이 필요하다는 사실 때문이다.

<79> 상기 RF 발전기에 의해 전달된 상기 전력은, 상기 기관 지지부에 연결되자마자, 하기의 표현과 같이 근사화될 수 있음을 발견하였다.

수학식 5

<80> $P_{RF} = I * V_{sheath} = I * (V_{dc} - V_f)$

<81> P_{RF} = 인가된 RF 전력

<82> I = 이온 전류(V_{dc} 가 V_{us} 보다 더 네가티브인 경우)

<83> V_{dc} = 접지에 대한 유도된 DC 바이어스 전압

<84> V_f = 접지에 대한 플로팅 전위

<85> 이는 상기 디커플링(decoupling) 커패시터에서 손실된 상기 전력을 고려하지 않는다는 점에서 다소 지나친 단순화이므로, 상기 기관 지지부에 인가된 상기 실제 RF-전력을 정확히 알 수 없다. 또한, 상기 선형 관계에도 불구하고, 특히 상기 플로팅 전위에 가까울 경우, 상기 RF-전류는 상기 DC-바이어스에 항상 직접적으로 정비례하지 않을 수 있다.

<86> 따라서 상기 플로팅 전위는 P_{RF}/V_{dc} 선의 상기 기울기와 상기 절편으로부터 계산되는 반면, 상기 이온 전류는 상기 선의 상기 기울기로부터 결정된다. 상기 결과들이 하기 표에 나타나 있다.

표 2

샘플	온도 °C	캐리어 플레이트	은(Ag) 접착부재	안테나	거리 cm	주입	SiH ₄ sccm	PMW kW	V _f V	J _i mA/cm ²
d170405	275	Yes	No	16	10	점	100	2	16	3.0
d070705	275	Yes	No	16	10	점	100	2	29	2.2
d120705	275	Yes	No	16	10	점	100	2	12	1.1
d020905	285	Yes	No	16	10	점	100	2	0	1.7
d201005	275	Yes	No	16	10	점	100	2	8	1.7
d180206	310	Yes	No	16	10	점	100	2	9	1.8
d040206	250	No	Yes	16	11	튜브	105	2	17	1.5
d210605	275	Yes	No	4 center	10	점	100	0.5	0	2.1
d240605	275	Yes	No	4 center	5	점	100	0.5	1	2.2
d240605a	275	Yes	No	4 center	5	점	100	0.5	7	2.4

<87>

<88> 상기 플로팅 전위는 유사한 증착 조건들에서도 상당히 변화하기 쉽다. 상기 가용 데이터를 검토하면, 16개의 안테나들로 증착들이 수행되는 경우 V_f 는 +8V에서 +29V의 범위에 있으나, 4개의 안테나들로 생성된 경우 0V에서 +6V의 범위에 있다. 양 경우들에 있어서, 상기 변화는 매우 크고 심지어 동일한 날에 행해진 두 측정값들(d240605 및 d240605a)의 차이가 6V에 달한다. 상기 공정 파라미터들에 대한 상관관계를 찾으려는 시도가 있었으나, 16개의 안테나들을 사용하는 경우 더 큰 V_f 값을 보인다는 것 이외에, 상기 데이터들로부터 아무런 경향도 발견되지 않았다.

<89> 상기 플라즈마 전위의 값은, 랑뮈르(Lanmuir) 프로브와 유사한 장치를 이용하여 수소 플라즈마 내의 상기 플로팅 전위에 대하여 결정되었다. 실리콘 막이 상기 프로브 상으로 증착되기 때문에, 실란 플라즈마 내에서 이러한 측정을 수행하는 것은 어렵다. 하기 표로부터 상기 플라즈마 전위는 상기 플로팅 전위보다 약 5V 높고, 이 값은 바이어스된 조건들과 실란 증착 하에서 상기 시스 전위의 재계산을 허용한다.

표 3

가스	유동 속도 sccm	Pg mTorr	안테나	안테나 당 MW 전력 W	플라즈마 전위 Pp(V)	플로팅 전위 Vf(V)	시스 전위 Vus(V)
H ₂	100	2.66	16	125	25.3	20	5.3
H ₂	140	4.23	16	125	24.9	21.1	3.8
H ₂	50	1.22	16	125	29.1	23.9	5.2
H ₂	50	4.24	16	125	26.9	23.1	3.8
H ₂	50	2.65	16	125	28.2	23.4	4.8
H ₂	100	2.6	16	125	27.2	23	4.2
H ₂	100	2.6	16	125	26.5	22.1	4.4
H ₂	100	2.8	4	125	29.8	20.9	8.9
H ₂	100	2.8	4	125	20.5	15	5.5
SiH ₄	100	1.3	4	125	19.5	14.9	4.6

<90>

<91>

상기 증착 조건들을 비교할 때, 주의해서 고려할 점은, 시스에 들어갈 때에 이온들이 겪는 실제 전위차이다. 외부 바이어스가 상기 기관 지지부에 인가되는 경우, 상기 이온 가속 전위는 상기 외부 바이어스 전압과 상기 플라즈마 전위의 합이 될 것이다. 상기 플라즈마 전위는 상기 정의된 바처럼 5V가 더해진 상기 플로팅 전위로부터 결정된다. 상기 다른 증착 조건들에서 밝혀진 값들이 주어지고, 상기 시스 전위를 결정하기 위하여 상기 플라즈마 전위가 고려되어야 하기 때문에, -30V의 DC 바이어스는 필연적으로 30V의 가속 전압을 제공하지 않을 것이다(표 1 참조). 예를 들어, d070705 샘플의 경우(표 2의 2행), 상기 가속 전압은 30 + 29 + 5 = 64 V가 될 것이다. 따라서 이온 가속은 상기 바이어스 전압의 값을 기준으로 예상되는 것보다 훨씬 더 클 수 있다. 이는 박막들 상의 상기 증착을 제어하는 경우에 고려되어야 할 중요한 효과이다.

<92>

이온 에너지의 영향

<93>

DECR PECVD에 의하여 증착된 비정질 실리콘 층들의 품질에 미치는 이온 에너지의 영향이 여러 공정 조건들에서 연구되었고, 특히 실란(실란 혹은 디실란) 전구체 가스 및 (연속파(CW) 모드 또는 고주파 또는 저주파 모드에서) 상기 리액터에 상기 MW(microwave, 마이크로파)를 공급하는 방법을 검토하여 연구되었다.

<94>

각 데이터셋(dataset)은 구체적으로 설명될 것이다.

<95>

실란 - CW(continuous wave, 연속파) DECR 모드

<96>

상기 이온 에너지가 증착된 비정질 실리콘 층의 품질에 미치는 영향을 결정하기 위하여, 열 가지 종류들(series)의 막들을 증착한 결과들이, 이전에 정의한 바와 같이 상기 플라즈마 전위를 고려하여 계산된, 상기 시스 전위와 상호연관된다. 표 1에서 나타난 상기 다른 요소들의 다양성을 고려하여 상기 열 가지 종류들은 서로 다르나, 각각의 종류들 내에서 이러한 요소들은 일정하게 유지되고, 상기 바이어스 전위가 변화된다.

<97>

$$E_{ion} = e(V_p - V_{dc}) = eV_{sheath}$$

<98>

상기 막들의 광학적 특성들은, 타우크-로렌츠(Tauc-Lorentz) 모델에 의한 분광식 두께 측정(spectroscopic ellipsometry) 데이터로부터 결정되고, 전하 이동 특성들은 SSPG(정상 상태 포토캐리어 회절격자, steady state photocarrier grating)에 의해 측정되는 반면에, 상기 결과들은 표면 거칠기, 무질서 파라미터(C) 및 $\epsilon_i(\max)$ 에 대하여 각각 도 6a, 6b, 및 6c에 도시되어 있다. 이들을 결정하는 방법들에 대한 설명이, 예를 들어 모랄(A. Fontcuberta i Morral), 카바로카스(P. Roca i Cabarocas), 클레르크(C. Clerc)의 "Structure and hydrogen content of polymorphous silicon thin films studied by spectroscopic ellipsometry and nuclear measurements" (PHYSICAL REVIEW B 69, 125307/1-10, 2004)에 개시되어 있다.

<99>

상기 그래프들로부터 알 수 있듯이, 상기 시스 전위가 더욱 네가티브가 됨에 따라, 상기 표면 거칠기와 상기 무질서 파라미터 모두가 개선되고, 50/60V보다 큰 가속 전압의 점근값(asymptotic)에 도달한다. 적절한 개선을 구현하기 위해, 상기 시스 전위가 네가티브가 되어야만 하는 사실은, 이 농후화(densification) 공정에 연관된

층들이 양이온들임을 보여준다.

- <100> 굴절 지수(refractive index), $\epsilon_i(\max)$ 의 허수 부분의 상기 최대값에 의해 나타나는 상기 물질 밀도는 이의 최대값인 -35V 주위에 도달하고, 이후 이온 충돌이 더욱 활발해짐에 따라 천천히 감소한다. 이는 상기 이온 에너지가 너무 커질 경우 손상이 일어날 수 있으며, 상기 기관 분극의 작동 범위가 정의되어야 함을 보여준다.
- <101> 도 6d에 도시된 바와 같이, 충돌 이온 에너지가 증가됨에 따라, 전하 이동 특성들 또한 개선되었고, 100nm를 초과하는 홀 확산 길이(L_d)를 얻기 위해서는 적어도 -40V의 시스 전위가 필요하다.
- <102> 상기 시스 전위와의 데이터 연관관계는 상당히 주목할만하며, 상기 이온 가속 전압이 DECR 증착 공정에서 중요한 역할을 함을 나타낸다.
- <103> 상기 거칠기, 상기 무질서 파라미터 및 $\epsilon_i(\max)$ 의 데이터를 기초로 하여, 유용한 "최대(full)" 바이어스(시스 포텐셜)의 범위는 -30 내지 -105V 이다. 16 안테나들 모드에 대한 L_d 데이터를 기초로, 이러한 "최대(full)" 바이어스 범위는 100nm를 초과하는 L_d 의 물질을 생성한다. 적어도 상기 이용된 특정 조건들 하에서, 4개의 안테나 모드에서의 L_d 는 더 적은 것으로 알려졌다. 그러나, 이러한 모드에서도 동일 범위의 시스 포텐셜은 전체적으로 바람직한 것으로 여겨진다.
- <104> 상기 시스 포텐셜로 DECR에 의해 증착된 비정질 실리콘 층들의 광학적 특성 및 전하 이동 특성들에 대하여 상술한 상관관계들은 상기 RF 파워로 또한 얻어진다. 이는 상기 논의한 바에 따라 기대되고, 이는 상기 기관 표면의 DC 분극을 유도하기 위하여 인가된 상기 RF 전력이 바이어스되지 않은 조건들 하의 상기 표면의 자동-분극(auto-polarization)을 고려함을 보여준다. 상기 RF 전력은 접지에 대하여 측정된 상기 바이어스 전압 및 상기 플라즈마와 상기 기관 사이의 전위 강하에 비례한다.
- <105> -30 내지 -105V의 유용한 시스 전위 범위는 25 내지 120W의 RF 전력 범위에 상응한다. 하기에 설명하는 바와 같이, 이러한 관계는 기관 지지부의 주어진 면적에서만 유지된다. 본 경우에서 이는 484cm^2 이었다. "결론" 부분에서, 어떠한 기관 지지부 영역에 적용되도록 어떻게 RF 전력 요건을 표준화할 수 있는지에 대한 설명이 제공된다. 또한 이러한 시스 전위 및 RF 전력의 상관관계가 2kW의 마이크로파 전력, 100sccm의 실란 유동 속도, 및 상기 기관과 상기 자석의 하부 사이의 10cm 간격을 이용하여 얻어졌다. 상기 사용된 RF 전력은 다른 공정 조건들에 상응하여 조절되어야 할 것이다.
- <106> 디실란 - CW DECR 모드
- <107> 전구체 가스로서 디실란을 사용할 경우, 비정질 실리콘 층의 광학적 및 전기적 특성들에 대한 시스 전위의 효과가 결정되었다. 이러한 가스의 사용은, 실란으로 가능한 상기 속도보다 약 두 배의 속도로, a-Si:H 층의 증착을 허용하고, 50 Å/s 보다 큰 속도가 측정되었다.
- <108> 디실란을 사용할 경우 관찰된 표면 거칠기, 무질서 파라미터, 및 $\epsilon_i(\max)$ 의 경향이 도 7a 내지 7c에 도시되어 있고, 상기 막 전구체 가스로서 실란을 사용한 경우에서 나타난 경향들과 동일하다.
- <109> 먼저 정의된 실란의 최적의 시스 전위 범위(-30 내지 -105V)는 디실란의 경우에 있어서도 적합한 것으로 보인다. 따라서, 실란 혹은 디실란을 사용하는 경우, 후자의 증착 속도가 전자보다 두배인 것을 제외하고, 중요한 차이가 없다고 보여진다.
- <110> 실란 - 고주파 펄스 DECR 모드
- <111> 펄스된 MW 조건들과 결합하여 전구체 가스로서 실란을 사용하는 경우, 시스 전위가 비정질 실리콘 층의 광학적 및 전기적 특성에 미치는 효과 또한 결정되었다. MW 에너지를 펄스하는 것을 원하는 이유가, 본 출원권과 동일자에 출원되고 출원절차가 함께 계류 중인 출원인 "Method for forming a film with a graded bandgap by deposition of an amorphous material from a plasma using distributed electron cyclotron resonance" (참조 번호 제G28555EP호)에 설명되어 있고, 이는 구배화된 밴드갭 구조를 제조하는 부분에서 논의된다.
- <112> 이러한 MW 인가 모드는 고주파 및 저주파들에서 평가된다. 상기 주파수 범위의 평가 이외에도, 이는 RF 바이어스를 MW 펄스와 동기화할 경우의 충돌에 대한 평가를 허용하였다.
- <113> 상기 MW를 고주파수(이러한 실험들에서는 10kHz)에서 펄싱(pulsing)하는 것은, 상기 기관 지지부 설정(setup)의 응답 시간(response time)이 너무 느리고, 두 MW 펄스들 간의 분극이 완전히 완화되지 않기 때문에, RF-바이어

스 동기화의 효과를 허용하지 않는다. 이는 다음 섹션에서 설명될 저주파의 경우에는 해당하지 않는다.

<114> 상기 고주파 펄스 모드에 대한 결과들이 도 8a, 8b 및 8c에 도시되어 있다. 이들로부터, 상기 CW 모드에서 나타난 상기 경향들은, 상기 플라즈마 조성(composition)이 다소 다르다는 사실에도 불구하고, 고주파수에서 상기 MW를 펄싱할 경우에도 여전히 관찰된다. 이는 또한 높은 품질의 층들을 증착하기 위한 이온 충돌의 중요성을 강조한다.

<115> 낮은 표면 거칠기, 낮은 무질서 파라미터 및 높은 밀도를 구현하기 위한 CW 모드에서의 실란에 대하여 최적화되도록 결정된 시스 전위 범위(-30 내지 -105V)는 상기 펄스된 모드에서도 적합한 것으로 보인다. 흥미롭게도, 펄스된 MW 모드에서의 실란에 대하여, 밴드갭이 또한 개선(다시 말해, 줄어듦)될 수 있다는 것을 발견하였고, 이는 CW 모드에서 관찰되지 않은 효과이다.

<116> 실란 - 저주파 펄스 DECR 모드

<117> 저주파 펄스 MW 조건들과 결합하여 전구체 가스로서 실란을 사용하는 경우, 시스 전위가 비정질 실리콘 층의 광학적 및 전기적 특성에 미치는 효과 또한 결정되었다.

<118> 상기 고주파 경우와는 반대로, 상기 펄스된 MW 신호 및 상기 RF-바이어스 신호의 동기화가 가능하며, 상기 MW 펄스된 신호들이 오프(OFF) 모드일 때 바이어스가 인가되지 않은 경우에 대한 조건들이 얻어질 수 있다. 상기 얻어진 데이터는 도 9a 내지 9d에 도시되어 있다.

<119> 상기 데이터로부터, 상기 RF-전력과 상관계가 수립되었고, 상기 시스 전위를 결정하기 위한 실험들은 수행되지 않았다. 그러나, 상기 RF-전력 및 상기 시스 전위 사이의 관계 때문에, RF-전력과 상관계는 시스 전위와의 상관계와 균등하다. 상기 저주파 펄스 모드에 대하여, 최적 RF-전력의 범위는, 상기 CW 및 고주파 모드들에 대하여 최적이 되도록 결정된 상기 RF-전력 범위(35 내지 120W)보다 낮게 이동될 수 있다.

<120> 다른 중요한 점이 강조되어야 한다. 도 9a, 9b, 및 9c에 도시된 바와 같이, 상기 표면 거칠기, 상기 무질서 파라미터 및 상기 굴절율, $\epsilon_i(\max)$ 의 허수부의 최대값(즉, 상기 물질 밀도)에 대하여, 상기 RF-바이어스를 상기 낮은 주파수 MW 펄스로 동기화하는 것은 매우 바람직하다. 성장하는 막의 품질을 개선시키기 위해 상기 성장하는 막 상에의 이온 충돌의 중요성을 설명한 바와 같이, 상기 RF-바이어스와 상기 MW 펄스 동기화하는 것은 상기 이온들의 사용을 최적화할 것이다. 이온들이 실제로 생성되지 않은 경우에는 상기 기판을 분극화할 필요가 없다. 반면에, 이온들의 생성은 상기 MW 펄스의 초기에 더욱 증가할 것이며, 동기화는 상기 이온들의 최적 사용을 보증할 것이다.

<121> 이온 에너지와 관련한 결론들

<122> 상기 데이터를 기초로 하여, 상기 전하 이동 특성과 마찬가지로, 상기 물질의 광학적 성질들(엘립소메트리(ellipsometry)에 의해 결정됨) 대부분과 상기 기판에서의 상기 시스 전위(또는 인가된 상기 RF 전력) 사이에 매우 우수한 관계들이 존재하게 된다. 이는 높은 품질의 층들의 증착을 위한 상기 이온 충돌의 중요성을 나타낸다.

<123> 모든 데이터 셋들(실란, 디실란, CW-MW 모드 및 펄스된 MW 모드), 및 이들의 조합으로부터, 최적의 범위들은 다음과 같다:

<124> - RF-전력: 25 내지 120W

<125> - 시스 전위: -30 내지 -105V

<126> 이는 이온들이 수집되고 상기 실험에서 484cm^2 의 영역을 가지는 상기 기판 지지부의 크기로 정정되어야 한다. 이러한 정정은 상기 기판 지지부가 상기 기판보다 크거나 또는 동일한 크기일 것을 가정한다. 이는 일반적인 경우일 것이나, 상기 기판 지지부가 상기 기판보다 작은 경우, 정정을 위한 상대적인 면적은 상기 기판의 면적일 것이다. 어떠한 경우든 수행될 것은 전체 이온 수집 표면에 대한 표준화이다. 최적 증착 조건을 위한 전력 밀도는 따라서 다음과 같다:

<127> - RF-전력: 50 내지 250 mW/cm^2

<128> - 시스 전위: -30 내지 -105V

<129> 온도의 영향

<130> 비록 선행기술로부터 플라즈마 증착에 의하여 상부에 비정질 막이 증착되는 기판이 가열되어야 함이 알려졌다고 하더라도, 본 발명자들은 기판 온도가 전에 알려진 정도에 비하여 더욱 중요하고, 지금까지 상기 기판을 가열하는데 사용된 방법들은 실제로 주어진 온도로 신뢰성 있게 기판을 가열하지 않았다는 사실을 발견하였다.

<131> 중간 캐리어 플레이트(intermediate carrier plate)를 사용하지 않고, 열전도성 접착 부재(은(Ag)이 채워진 접착 부재)를 사용하여 상기 기판 지지부 상에 직접적으로 접착된 상기 기판에 대한 연구 결과가 설명되어 있다. 상기 접착 부재는 실리콘(silicone) 레진(대신에, 예를 들어, 에폭시(epoxy)와 같은 다른 레진이 쓰일 수 있음), 솔벤트(solvent), 및 은 조각들(flakes)을 포함할 수 있다. 상기 솔벤트가 증발할 경우 상기 조각들이 서로 접촉되는 것을 보장하도록, 충분히 높은 농도의 조각들이 사용되고, 이에 따라 접착 부재의 결과적인 층들이 열전도성 및 전기 전도성을 갖는다. 사용될 수 있는 다른 접착 부재들은 카본 블랙(carbon black)으로 채워진 레진, 및 알루미늄 산화물 페이스트(aluminium oxider paste)를 포함한다. 후자는 전기 전도성을 갖추고 있지 않더라도, 열전도성을 가질 수 있고, 전자 어플리케이션들에서 사용되고 있다. 은이 채워진(Ag-filled) 접착 부재의 사용은, 아래 표에 설명된 바와 같이, 상기 기판 표면의 온도의 우수한 제어 및 우수한 결과적인 기판 특성들을 허용하는 것으로 설명되었다. 선택적인 가능성은, 비록 열등한 것으로 보이더라도, 상기 캐리어 플레이트를 포함하고, 상기 설명된 바와 같이 접착 부재를 이용하여 상기 캐리어 플레이트에 상기 기판을 접착시키며, 상기 기판 지지부와 상기 캐리어 플레이트 사이에, 예를 들어, 탄소 포일(carbon foil)과 같은, 열전도성인 층을 위치시키는 것이다. 다른 가능성은 "백사이드 가스 히팅(backside gas heating)"으로 지칭되는 것을 사용하는 것이다. 이는 통상적으로, 상기 기판 지지부와 상기 캐리어 플레이트 사이에 헬륨 가스를 주입하는 것을 포함하여, 이 공간 내부에 높고 충분한 압력을 가져, 우수한 열 전달을 보장하도록 한다.

표 4

	T ℃	바이어스 V	RF 전력 W	속도 Å/s	거칠기 Å	E _g eV	C	ε _i (max)	Ld mm
d030206-2	250	-60	81	27.0	7	1.796	2.41	23.63	155
d050206-1-1	225	-25	44	24.4	31	1.773	2.39	24.40	100
d090206-3 avg	225	-25	37	25.5	28	1.760	2.45	24.85	140
d040206-1 avg	250	-25	44	28.7	22	1.726	2.38	25.07	145
d080206-1 avg	275	-25	44	34.4	23	1.740	2.38	25.78	110
d050262	285	-25	44	23.1	24	1.727	2.36	25.48	
d200106-2 avg	197	-60	75	37.4	17	1.736	2.29	23.68	70
d190196-2 avg	250	-60	75	36.6	13	1.770	2.27	25.85	105
d200106-1 avg	297	-60	75	36.8	13	1.701	2.28	24.96	70
d190106-1 avg	350	-60	75	34.5	20	1.719	2.27	28.45	120

<132> 상기 표에서 나타난 바와 같이, 대부분의 데이터 점들은 두 개의 측정들의 평균이다.

<133> 도 10a 내지 도 10e에서 도시된 그래프들로부터, 상기 온도의 영향을 더욱 명확하게 볼 수 있다.

<134> 따라서, 유전 상수의 허수 부분의 최대값(도 10c 참조) 및 상기 물질 밴드갭(도 10d 참조)의 온도의 영향은 매우 명확하고, 어떠한 RF-전력이 인가되더라도 본질적으로 동일하다. 양쪽 경우들 모두, 상기 온도를 증가시키는 것은 상기 물질의 광학적 특성을 현저하게 향상시킨다.

<135> 상기 물질서 파라미터는 또한 상기 온도에 의해 영향을 받지만(도 10b 참조), 상기 그래프에서, 상기 바이어스의 매우 큰 영향 또한 명확하게 볼 수 있어, 상기 막 매트릭스(matrix) 내의 상기 원자들의 중간 범위 차수(medium range order)와 연관된 이러한 특성은, 온도에 의한 것이라기보다는, 상기 막 표면 상에 충돌하는 상기 이온들의 상기 에너지에 의해 대부분 영향을 받는다는 것임을 나타낸다. 이는 SiH₄/DECR 플라즈마 내 이온들

대부분들이 H_x^+ 이고, 상기 성장하는 막에 재배열을 위한 운동 에너지를 많이 공급하지 않는다는 사실 때문일 수 있다. 상기 이온이 미치는 영향(ion contribution)은 수소 재결합, 확산 또는 상기 막 내부로의 주입과 더 연관된 것일 수 있다. 온도 및 바이어스와 관련된 상기 무질서 파라미터의 성질은, 상기 바이어스가 가장 중요한 요소이고, 상기 온도는 상기 바이어스가 증가할 경우 그 영향을 잃는다는 점에서 매우 흥미롭다.

<137> 상기 표면 거칠기(도 10a 참조)도 또한 상기 온도보다 상기 이온 에너지에 의해 더 영향을 많이 받는다.

<138> 확산 거리의 경우(도 10e 참조), 비록 상기 이온 충돌 에너지가 또한 주요 영향력을 가지고 있더라도, 상기 온도가 미치는 영향(contribution of temperature)은 매우 명확하다. 도 10을 참조하면, 상기 확산 거리는 온도가 증가함에 따라 개선됨을 알 수 있으나, 상기 기판 바이어스의 상기 영향을 간과해서는 안된다.

<139> 온도와 관련한 결론들

<140> 상술한 데이터를 기초로 하여, 그리고 이러한 막들이 성장해온 상기 바이어스 범위를 고려하면, 비정질 실리콘의 증착이 적어도 200°C의 온도에서 수행되어야 함이 명확하다. 그러나, 비정질 실리콘은 600°C를 초과하는 온도에서 열적으로 결정화될 수 있다는 사실이 알려져 있다. 따라서 이러한 값은 절대적인 상한으로서 고려되어야 한다. 그러나, 박막 태양 전지들과 같은 장치의 제조에서 상기 비정질 실리콘이 상기 진성 층으로서 쓰이는 경우, 더 작은 상한이 설정되어야 한다. 그 이유는 상기 장치들은 또한 p형-도핑된 층과 n형-도핑된 층을 가지기 때문이고, 상기 n형-도핑된 층은 일반적으로 내성이 있으나, p형-도핑된 층은 특히 매우 온도에 민감하고, 일반적으로 350°C 이상의 온도를 견뎌낼 수 없기 때문이다. 상기 장치들을 제조함에 있어서 350°C보다 더 높은 온도가 사용되는 경우, 보론을 상기 하층(bottom layer)에 후-확산(post-diffusing)하는 것, 다시 말해, 상기 진성 층의 상기 고온 증착 동안 혹은 그 이후에, 상기 기판으로부터 상기 진성 층의 하부로 보론을 확산시키도록 하는 것과 같은, 상기 공정의 수정이 필요할 것이다(이 경우 보론 대신에 인과 같은 물질을 사용하여, 상기 진성 층의 고온 증착 이후에, 유사한 공정이 n형 층을 생성하는데 사용될 수 있다).

<141> 전체적인 결론들

<142> 상기 논의로부터, 이온 충돌 에너지와 기판 온도가 비정질 수소화 실리콘(a-Si:H) 막의 상기 특성들에 주요한 영향을 미침을 알 수 있고, 고품질 물질을 성장하기 위해 양자의 정확한 선택이 필수적임을 알 수 있었다.

<143> 표면 거칠기와 상기 무질서 파라미터에 대하여, 상기 이온 에너지가 미치는 영향은 고품질 막의 성장에 절대적으로 필수적이다. 다른 특성들, 특히 물질 밴드갭의 경우, 가장 중요한 것은 온도이고, 큰 바이어스 없이 우수한 품질의 물질이 성장될 수 있다. 그러나, 유전 상수의 허수부의 최대값 및 전하 확산 거리와 같은 다른 특성들도 있고, 이들은, 상기 물질이 우수한 품질을 갖기 위하여, 온도와 이온 충돌이 일정한 범위 내에 포함될 것을 요구한다. 이는, 이러한 두 개의 증착 파라미터들을 서로 분리시켜 고려할 수 없으며, 이들 모두 고품질의 물질의 성장에 필수적임을 의미한다.

산업상 이용 가능성

<144> 상기 생성된 데이터를 기초로, DECR 플라즈마 증착은 아래와 같은 범위에서 동작되어야 한다.

<145> - RF-전력: 50 내지 250 mW/cm²

<146> - 시스 전위: -30 내지 -105V

<147> - 온도: 200 내지 600 °C

<148> 이러한 조건들 하에서, Si-계 막 전구체 가스들로부터 높은 품질의 비정질 수소화 실리콘(a-Si:H)이 매우 높은 속도(>20 Å/s)로 성장될 수 있다. 이는 리액터에 MW를 공급하는 모든 모드에서도 적용된다. 또한, 저주파 펄스 모드에서, MW 펄스와 RF-바이어스를 동기화하는 것은 물질의 품질에 유익함을 발견하였다.

도면의 간단한 설명

<14> 본 발명은 하기에 첨부된 도면들에 따라 더 설명된다.

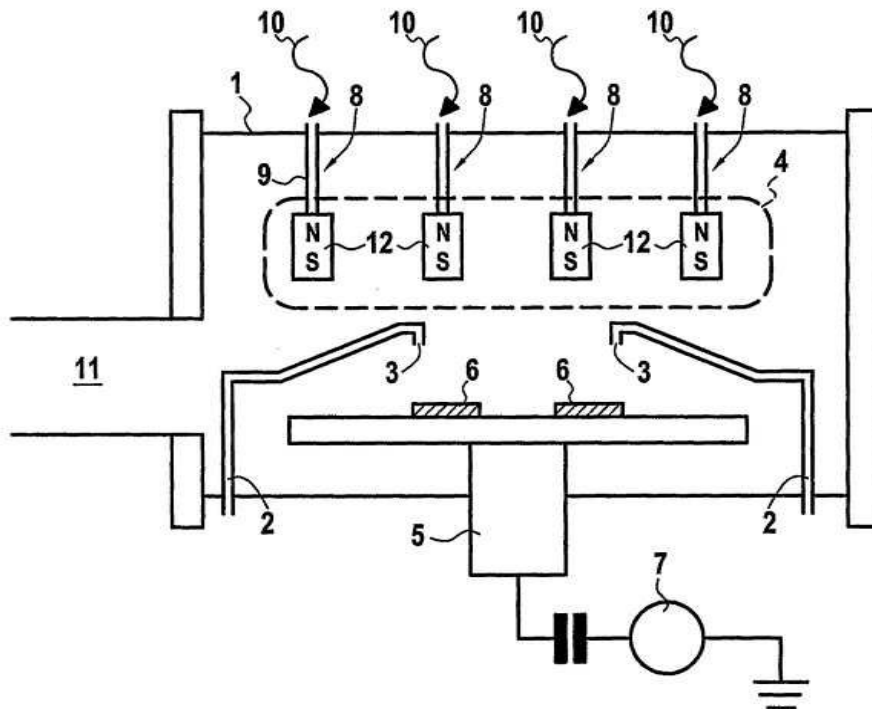
<15> 도 1은 본 발명을 수행하기 위하여 사용하는 플라즈마 제조 장치를 개략적으로 도시한 정면도이다.

<16> 도 2는 도 1의 장치의 종류의 일 예의 평면도이다.

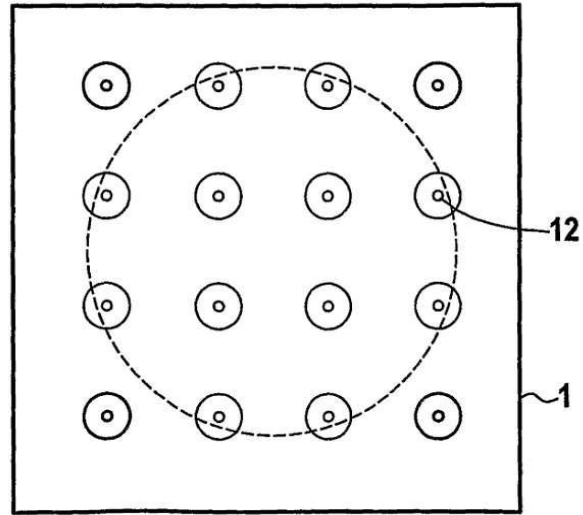
- <17> 도 3은 플라즈마 본체(main body)로부터 플라즈마와 접촉해 있는 벽까지 연장된 영역 내의 전하 분포 및 결과적인 전압을 도시한다.
- <18> 도 4는 이온에너지 E_{ion} 의 구성을 개략적으로 도시한다.
- <19> 도 5는 기판 전압의 유도된 DC 바이어스 구성요소와 기판에 인가된 RF 전력간의 상기 선형관계를 도시하는 그래프이다.
- <20> 도 6a 내지 도 6d는, 실란이 막 전구체 가스로 사용되는 경우, 시스 전위에 대하여, 거칠기, 무질서 파라미터, $\epsilon_i(max)$, 및 L_d 각각의 관계를 도시하는 그래프이다.
- <21> 도 7a 내지 도 7c는 도 6a 내지 도 6c에 상응하는 그래프들이고, 디실란이 막 전구체 가스로 사용된 경우이다.
- <22> 도 8a 내지 도 8c는 도 6a 내지 도 6c에 상응하는 그래프들이고, 마이크로파 에너지가 고주파(10kHz)에서 펄스 인가되고 세 개의 다른 에너지 수준(500W, 1000W, 및 250W)이다.
- <23> 도 9a 내지 도 9d는 도 6a 내지 도 6d에 상응하는 그래프들이고, 마이크로파 에너지는 더 낮은 주파수들에서 펄스된다.
- <24> 도 10a 내지 도 10e는 기판 온도가 거칠기, 무질서 파라미터, $\epsilon_i(max)$, 밴드갭 및 확산 거리(L_d)에 미치는 영향을 보여주는 그래프들이다.

도면

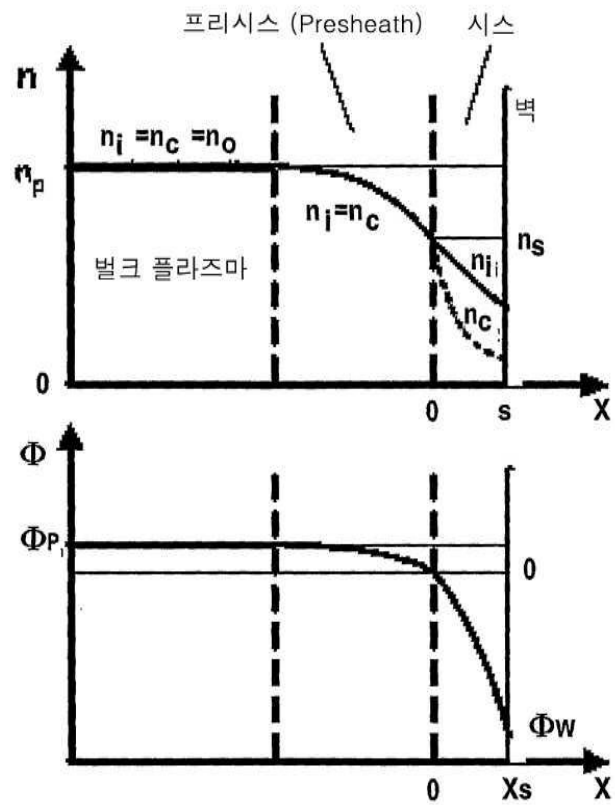
도면1



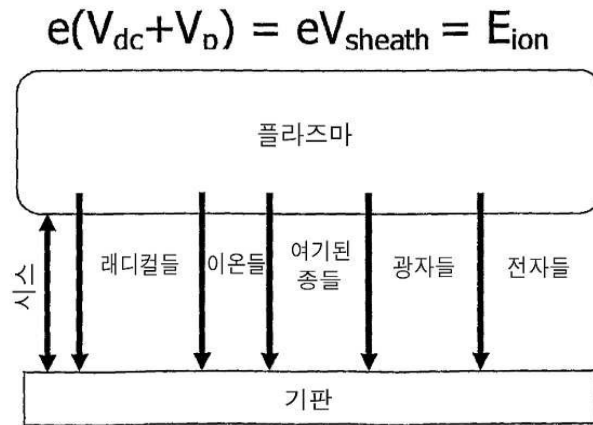
도면2



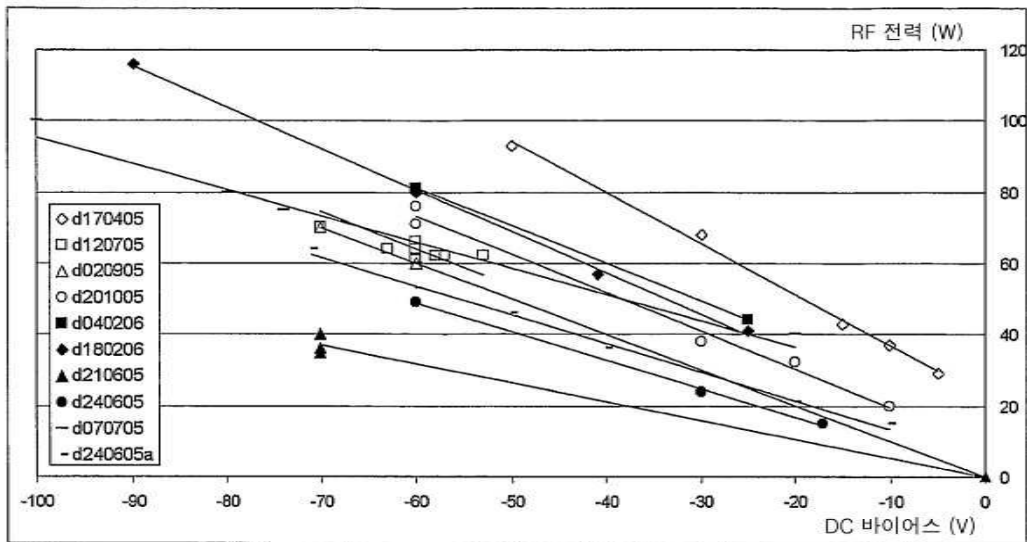
도면3



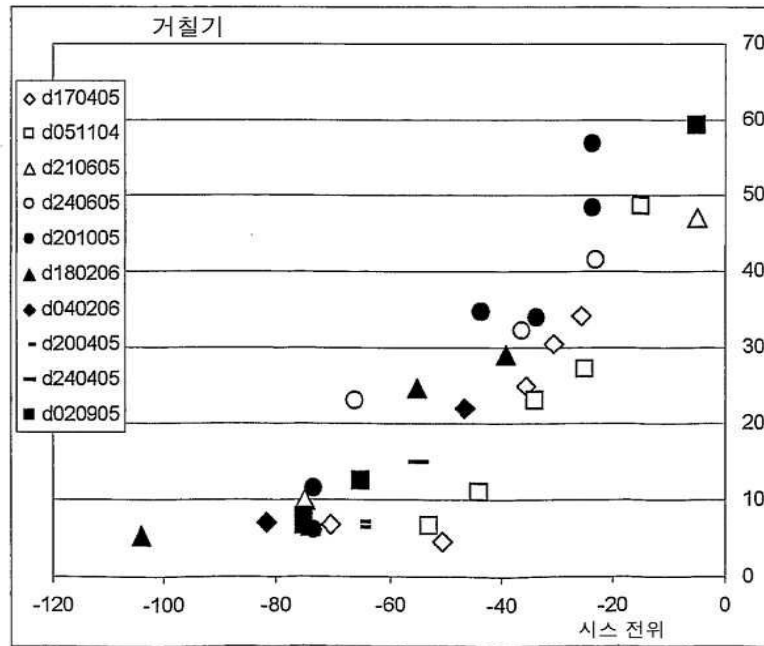
도면4



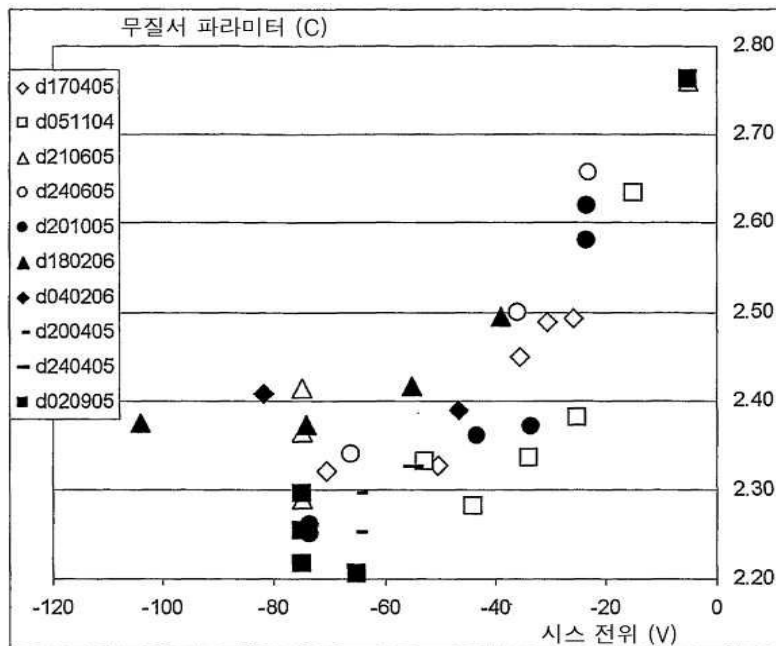
도면5



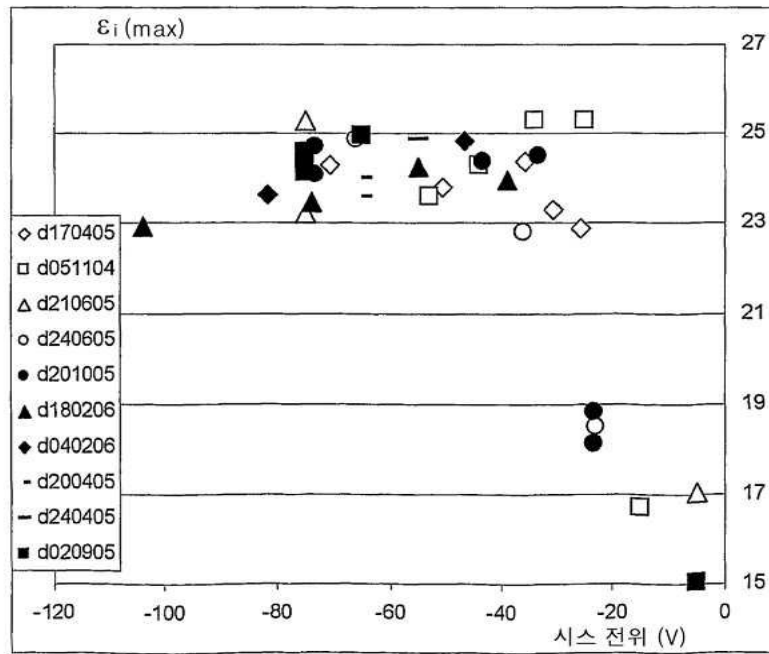
도면6a



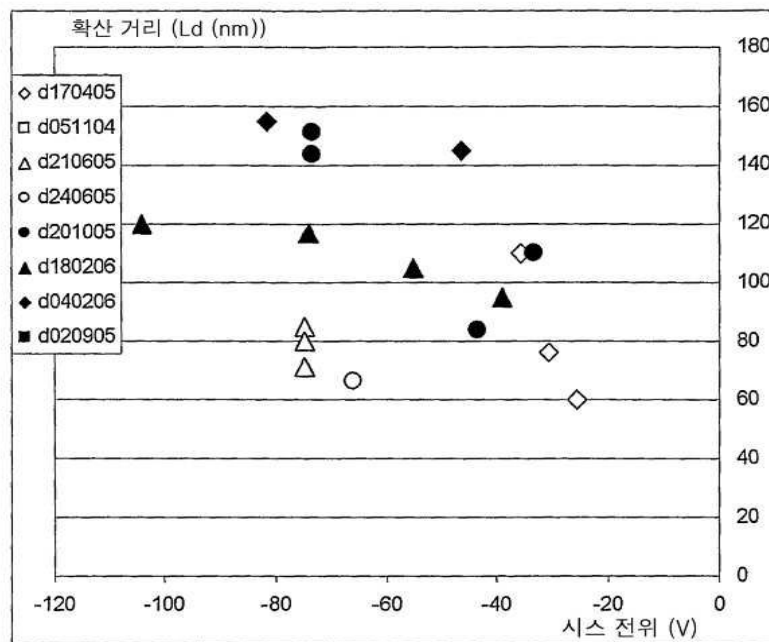
도면6b



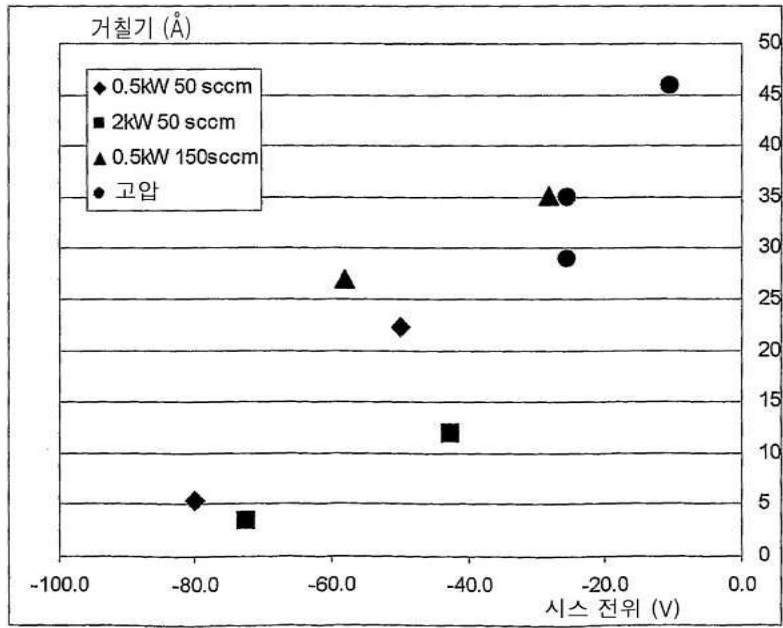
도면6c



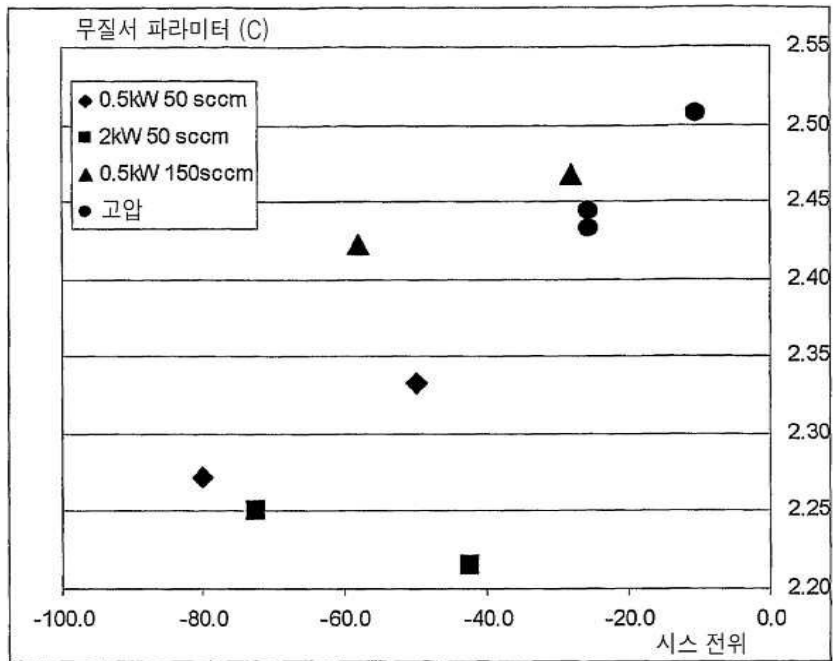
도면6d



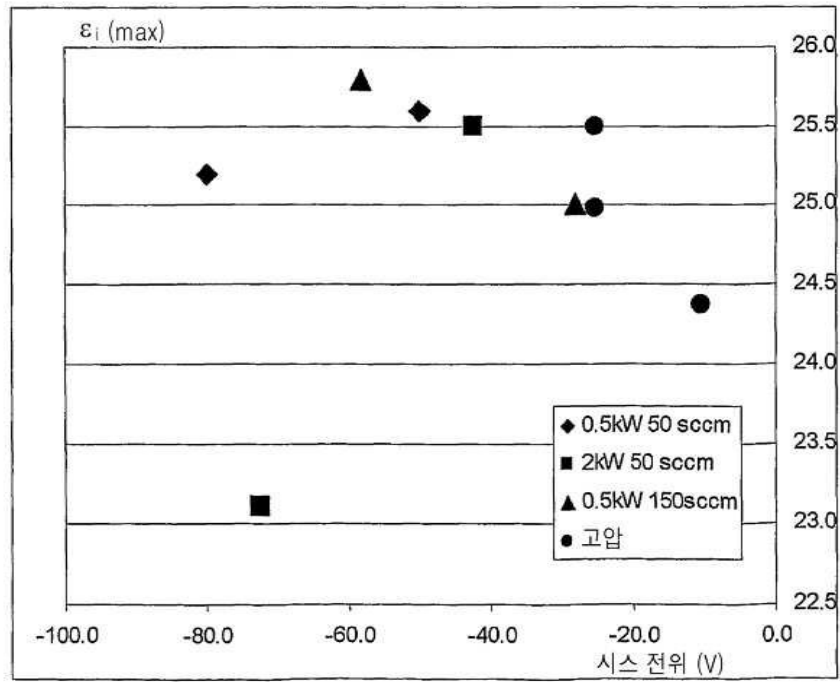
도면7a



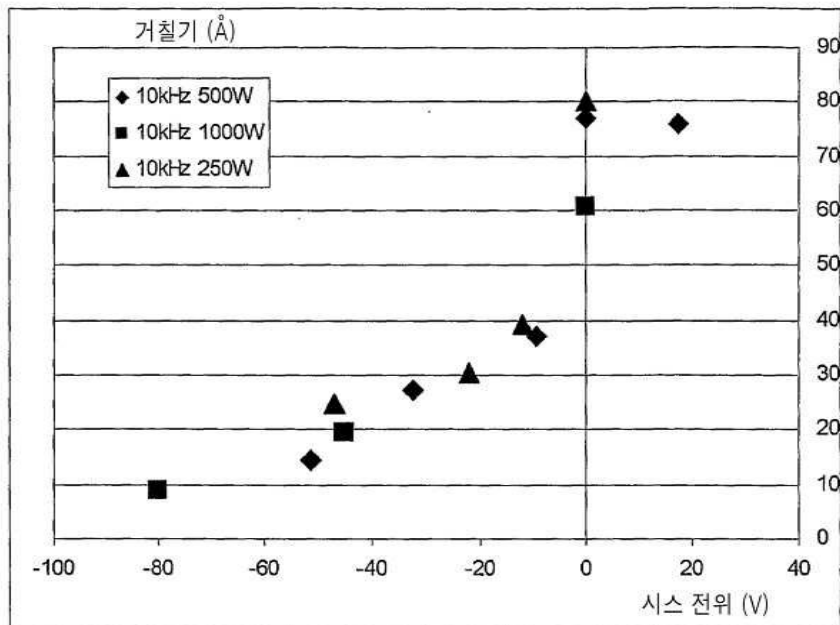
도면7b



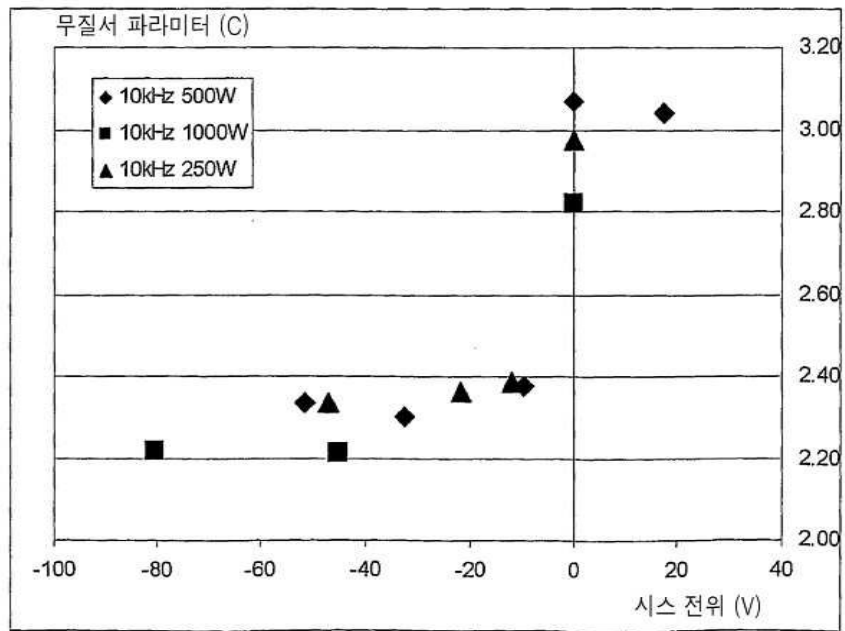
도면7c



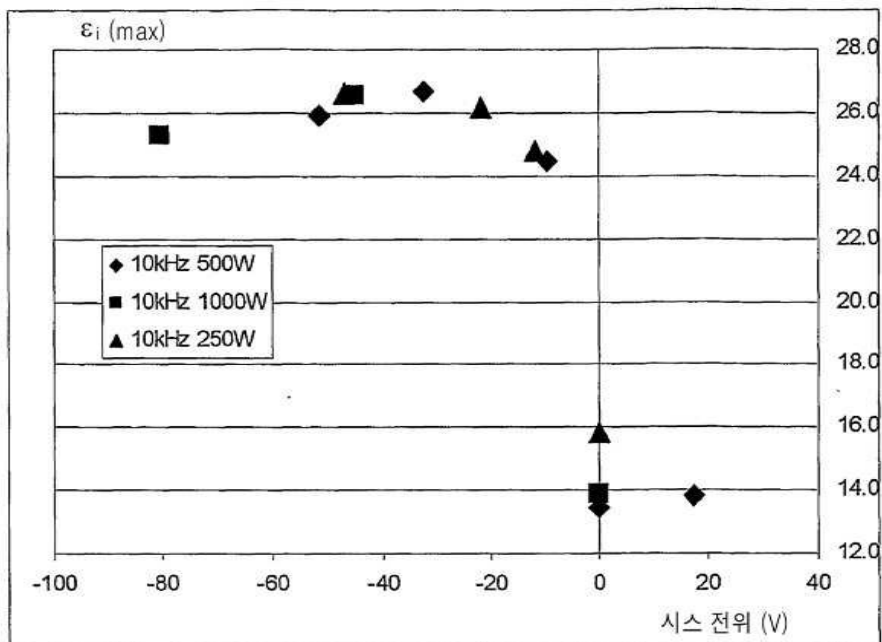
도면8a



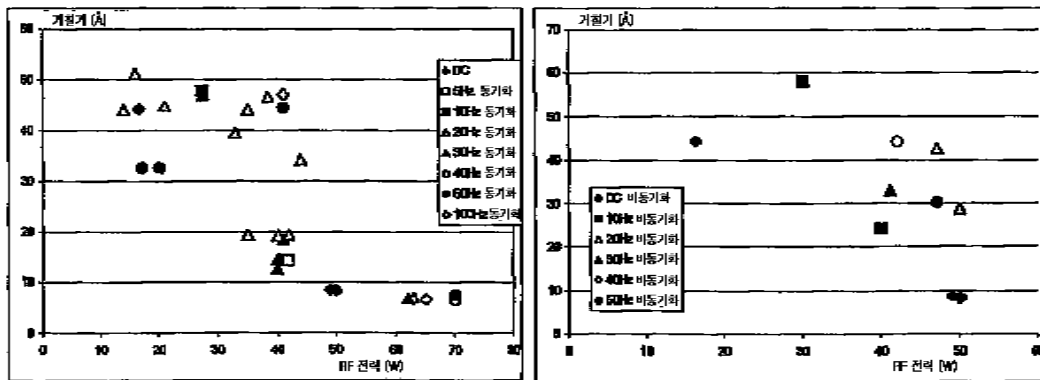
도면8b



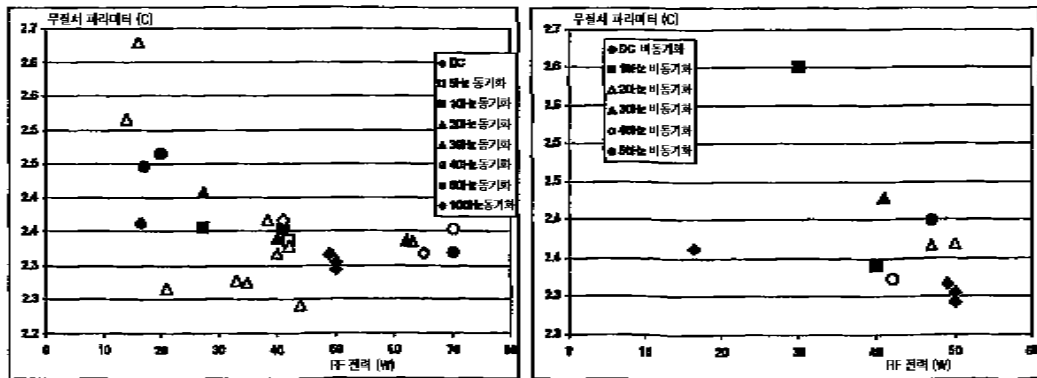
도면8c



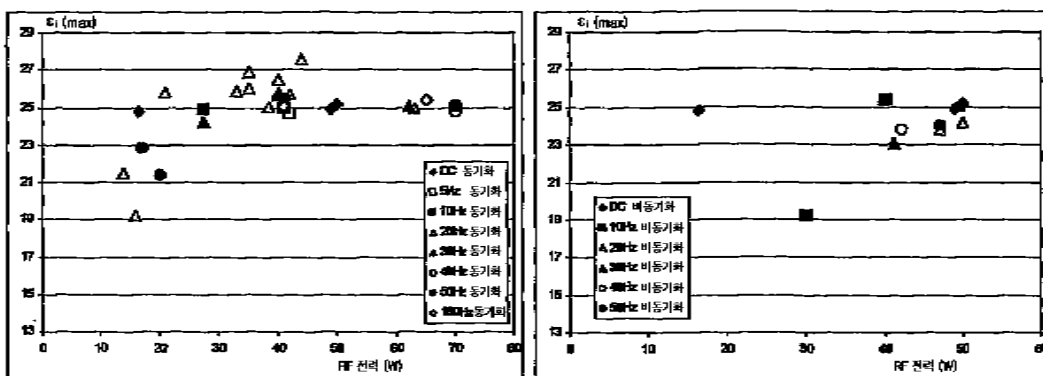
도면9a



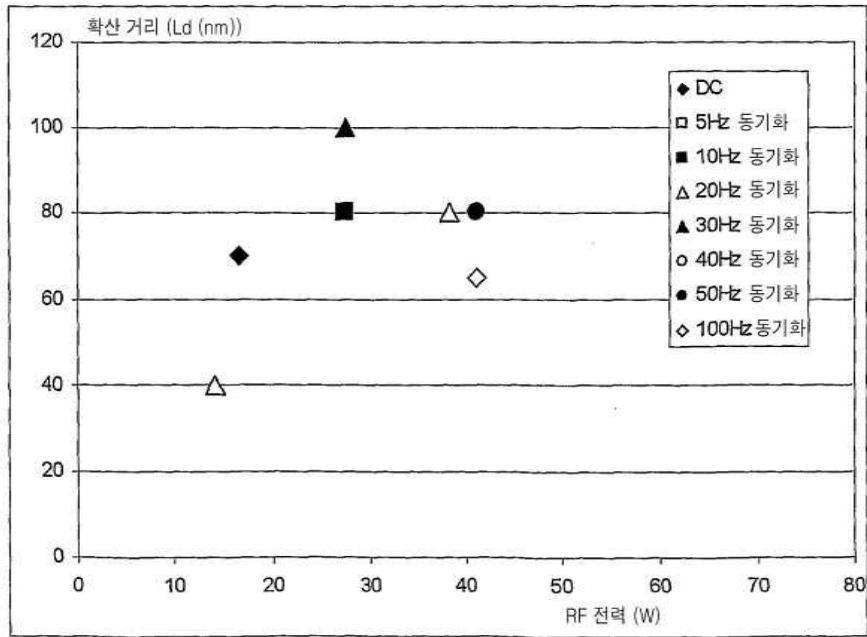
도면9b



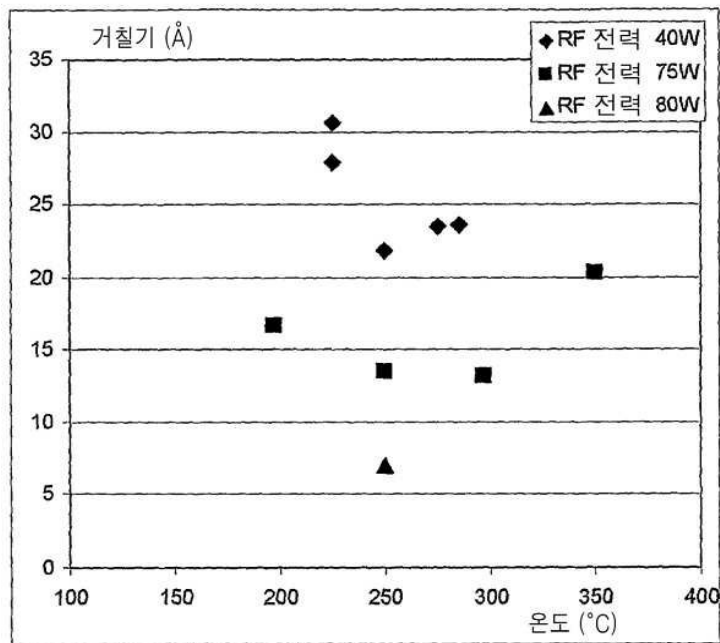
도면9c



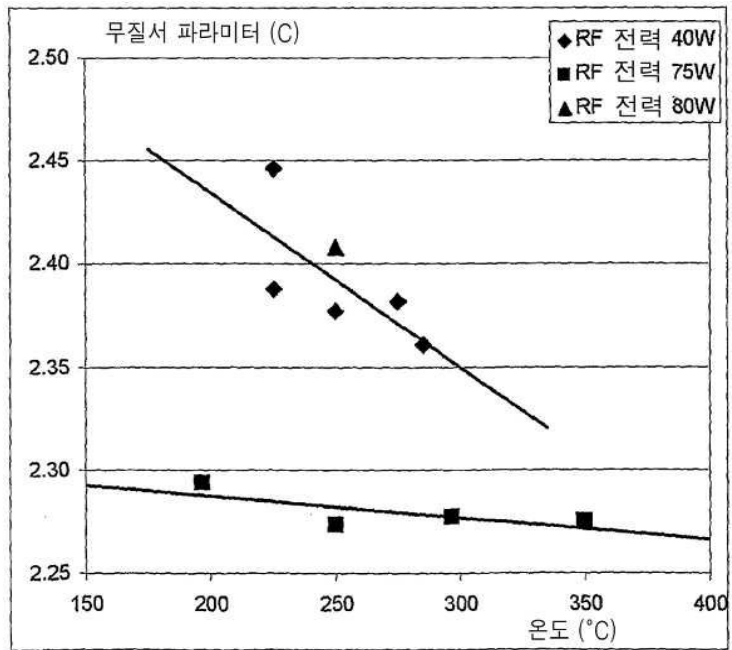
도면9d



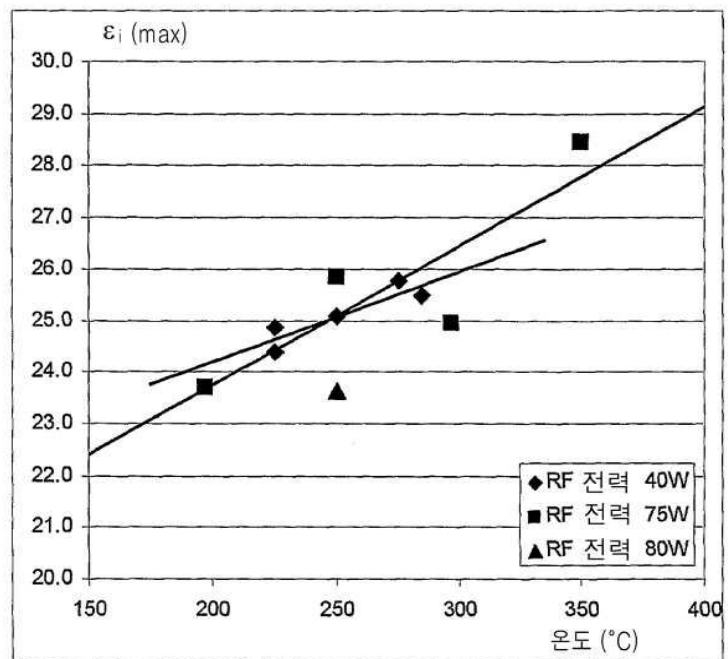
도면10a



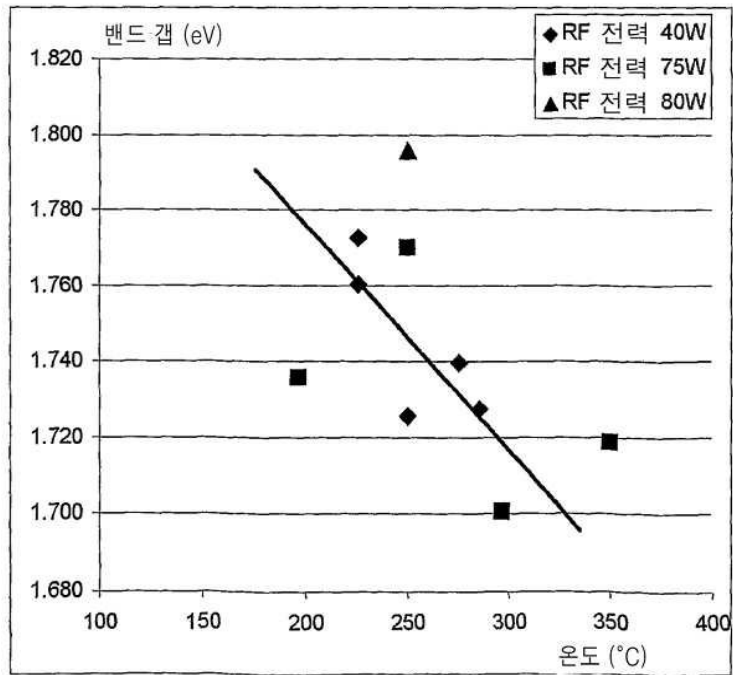
도면10b



도면10c



도면10d



도면10e

