



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월12일

(11) 등록번호 10-1479639

(24) 등록일자 2014년12월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H05H 1/46 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)

C23F 4/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0006127

(22) 출원일자 2013년01월18일

심사청구일자 2013년01월18일

(65) 공개번호 10-2014-0026234

(43) 공개일자 2014년03월05일

(30) 우선권주장

JP-P-2012-184847 2012년08월24일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

JP2001085394 A

JP2010288285 A

JP2001085395 A

US05562952 A

전체 청구항 수 : 총 9 항

(73) 특허권자

가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지스

일본국 도쿄도 미나토구 니시신바시 1쵸메 24-14

(72) 발명자

모리모토 미치카즈

일본국 야마구치켄 구다마즈시 오야자 히가시토요 이 794, 가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지스 가사도사업소 내

오고시 야스오

일본국 야마구치켄 구다마즈시 오야자 히가시토요 이 794, 가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지스 가사도사업소 내

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인(유)화우

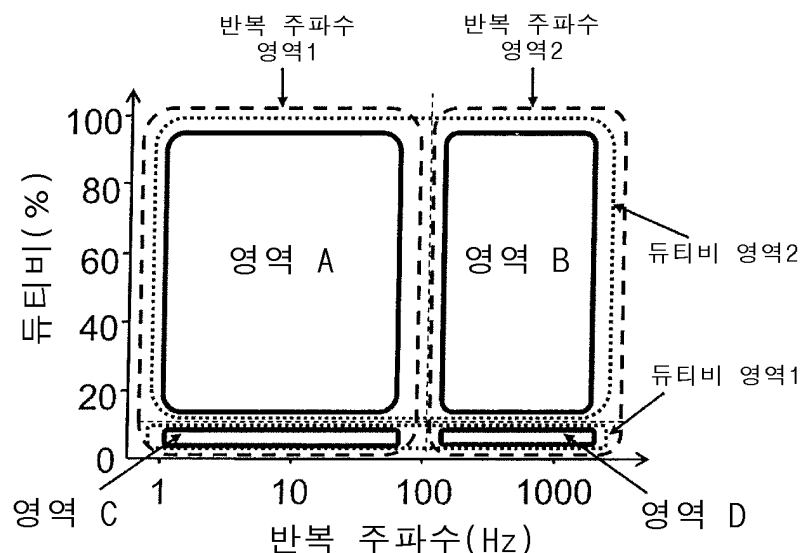
심사관 : 이민형

(54) 발명의 명칭 플라즈마 처리 장치 및 플라즈마 처리 방법

(57) 요약

본 발명은, 광범위하며 고정밀도로 제어 가능한 시간 변조된 고주파 전력을 공급하는 고주파 전원을 구비하는 플라즈마 처리 장치 및 상기 플라즈마 처리 장치를 사용한 플라즈마 처리 방법을 제공한다. 본 발명은 진공 용기와, 상기 진공 용기 내에 플라즈마를 생성하기 위한 제1 고주파 전원과, 상기 진공 용기 내에 배치되어 시료를 제치하는 시료대와, 상기 시료대에 고주파 전력을 공급하는 제2 고주파 전원을 구비하는 플라즈마 처리 장치에 있어서, 상기 제1 고주파 전원 또는 상기 제2 고주파 전원 중 적어도 어느 하나는, 시간 변조된 고주파 전력을 공급하고, 상기 시간 변조를 제어하는 파라미터 중 하나는, 2개 이상의 다른 제어 범위를 가지며, 상기 제어 범위 중 하나는, 정밀도 높은 제어를 행하기 위한 제어 범위인 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도15



(72) 발명자

오히라바루 유조

일본국 야마구치켄 구다마즈시 오아자 히가시토요
이 794, 가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈
가사도사업소 내

오노 테츠오

일본국 야마구치켄 구다마즈시 오아자 히가시토요
이 794, 가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈
가사도사업소 내

특허청구의 범위

청구항 1

진공 용기와, 상기 진공 용기 내에 플라스마를 생성하기 위한 제1 고주파 전원과, 상기 진공 용기 내에 배치되어 시료를 재치하는 시료대와, 상기 시료대에 고주파 전력을 공급하는 제2 고주파 전원을 구비하는 플라스마 처리 장치에 있어서,

상기 제1 고주파 전원 또는 상기 제2 고주파 전원 중 적어도 어느 하나는, 시간 변조된 고주파 전력을 공급하고, 상기 시간 변조를 제어하는 파라미터 중 하나는, 2개 이상의 상이한 제어 범위를 가지며, 상기 제어 범위 중 하나는, 다른 상기 제어 범위에 비해 정밀도 높은 제어를 행하기 위한 제어 범위인 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 파라미터는, 듀티비, 반복 주파수, 온 시간 또는 오프 시간 중 적어도 어느 하나인 것 특징으로 하는 플라스마 처리 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 고주파 전원 또는 상기 제2 고주파 전원 중 적어도 어느 하나는, A/D 컨버터와 펄스 발생기를 구비하고,

상기 A/D 컨버터는, 상기 2개 이상의 상이한 제어 범위를 각각 상이한 타이밍으로 수신하고,

상기 펄스 발생기는, 상기 A/D 컨버터가 수신한 상기 2개 이상의 상이한 제어 범위의 각각으로부터 제어 범위 전환 신호에 의해 선택된 제어 범위로 제어되는 펄스를 발생하는 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 고주파 전원 또는 상기 제2 고주파 전원 중 적어도 어느 하나는, 상기 제2 고주파 전원인 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 장치.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 제1 고주파 전원 또는 상기 제2 고주파 전원 중 적어도 어느 하나는, 상기 2개 이상의 상이한 제어 범위의 수와 동(同)수의 고주파 전원을 구비하는 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 장치.

청구항 6

진공 용기와, 상기 진공 용기 내에 플라스마를 생성하기 위한 제1 고주파 전원과, 상기 진공 용기 내에 배치되어 시료를 재치하는 시료대와, 상기 시료대에 고주파 전력을 공급하는 제2 고주파 전원을 구비하는 플라스마 처리 장치를 사용한 플라스마 처리 방법에 있어서,

상기 제1 고주파 전원 또는 상기 제2 고주파 전원 중 적어도 어느 하나는, 시간 변조된 고주파 전력을 공급하고, 2개 이상의 상이한 제어 범위를 가지는 파라미터에 의해 상기 시간 변조를 제어하며, 상기 제어 범위 중 하나는, 다른 상기 제어 범위에 비해 정밀도 높은 제어를 행하기 위한 제어 범위인 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 시간 변조된 고주파 전력이 인가되지 않는 기간은, 10~1000ms인 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 시간 변조된 고주파 전력이 인가되지 않는 기간이 반응 생성물의 체재 시간 이상인 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 방법.

청구항 9

Poly-Si막과 SiO₂막과 아몰퍼스 카본막과 SiN막과 BARC막을 가지는 시료에 시간 변조된 고주파 전력을 공급하면서 플라즈마 에칭하는 플라즈마 처리 방법에 있어서,

반복 주파수는, 제1 제어 범위와 제2 제어 범위를 가지고,

듀티비는, 제3 제어 범위와 제4 제어 범위를 가지며,

상기 SiN막을 상기 제1 제어 범위 및 상기 제4 제어 범위에서 에칭하고,

상기 아몰퍼스 카본막을 상기 제2 제어 범위 및 상기 제4 제어 범위에서 에칭하며,

상기 SiO₂막을 상기 제1 제어 범위 및 상기 제3 제어 범위에서 에칭하고,

상기 Poly-Si막의 일부를 상기 제1 제어 범위 및 상기 제3 제어 범위에서 에칭하며,

상기 제1 제어 범위는, 상기 제2 제어 범위보다 정밀도 높은 제어가 필요한 제어 범위이고,

상기 제3 제어 범위는, 상기 제4 제어 범위보다 정밀도 높은 제어가 필요한 제어 범위인 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, 플라즈마 처리 장치 및 플라즈마 처리 방법에 관한 것으로, 특히 반도체 소자 등의 시료를 가공하기 위하여, 플라즈마를 사용하여 정밀도 높은 에칭 처리를 실시하는데에 바람직한 플라즈마 처리 장치 및 플라즈마 처리 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 종래, 반도체 소자의 표면을 처리하는 방법으로서, 반도체 소자를 플라즈마로 에칭하는 장치가 알려져 있다. 여기서는, 전자 사이클로트론 공명(Electron Cyclotron Resonance: ECR, 이하, ECR라고 약칭한다) 방식의 플라즈마 에칭 장치를 예로 종래 기술을 설명한다.

[0003] 이 ECR 방식에서는, 외부로부터 자장을 인가한 진공 용기 중에서 마이크로파에 의해 플라즈마를 발생시킨다. 자장에 의해 전자는 사이클로트론 운동하고, 이 주파수와 마이크로파의 주파수를 공명시킴으로써 효율적으로 플라즈마를 생성할 수 있다. 반도체 소자에 입사하는 이온을 가속하기 위하여, 고주파 전력을 개략 정현파로 연속파형으로서 시료에 인가하고 있다. 여기서, 시료에 인가하는 고주파 전력을 이하, 고주파 바이어스라고 칭한다.

[0004] 또, 플라즈마가 되는 가스에는 염소나 불소 등의 할로젠 가스가 널리 사용되고 있다. 플라즈마에 의해 발생한 라디칼이나 이온과 피(被)에칭재가 반응함으로써 에칭이 진행된다. 에칭에 의해 발생하는 반응 생성물은 패턴으로의 재부착을 야기하여, 에칭 형상을 테이퍼로 한다. 따라서, 에칭 가공의 고(高)정밀도를 도모하기 위해서는 에칭 시에 발생하는 반응 생성물의 제어가 중요해진다.

[0005] 반응 생성물 농도를 적게 하기 위해서는, 반응 생성물의 체재 시간을 짧게 하는 방법이 있다. 플라즈마 처리실 내의 가스의 체재 시간을 τ 라고 하면, τ 는 P를 처리 압력, V를 플라즈마 처리실의 용량, Q를 가스 유량이라고 한 경우, $\tau=PV/Q$ 의 관계가 있고, 장치 구성에서 상기 P, V, Q의 한계가 규정된다.

[0006] 이 관계로부터 가스가 된 반응 생성물의 체재 시간은 처리 압력을 낮추는 것이나 가스 유량을 증가시킴으로써 짧게 할 수 있지만, 가스 유량을 증가하는 것과, 처리 압력을 낮추는 것은 트레이드 오프의 관계에 있어 개선이 곤란하다.

[0007] 또, 특허문헌 1에는, 반응 생성물을 제어하여, 에칭 가공 정밀도를 높이는 방법으로서, 플라즈마 고주파 바이어스의 시간 변조가 개시되어 있다. 또, 특허문헌 2에는, 고주파 바이어스를 2개 이상으로 나누어 이온 에너지를 고정밀도로 제어하는 시간 변조된 고주파 바이어스의 제어의 방법이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 평8-250479호 공보
(특허문헌 0002) 일본 특허 공개 제2001-85395호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 고주파 바이어스 전원의 시간 변조를 제어하는 파라미터로서, 반복 주파수 및 반복 주파수의 1 주기에 대한 온(on) 시간의 비(이하, 듀티비라고 칭한다)가 있다.

[0010] 에칭을 실시할 때, 반복 주파수와 듀티비 및 에칭 가스나 압력 등의 에칭 조건을 입력 수단에 의해 제어부에 설정한다. 설정된 값은, 제어부 내에서는 디지털 신호로서 취급되지만, 제어부와 고주파 바이어스 전원이 아날로그로 접속되어 있는 경우, 제어부 내의 디지털-아날로그 컨버터(이하, D/A 컨버터라고 칭한다)에서 아날로그 신호로 변환한 후, 송신할 필요가 있다. 아날로그 신호의 송신 시 신호에 대한 노이즈 등으로 오차가 생기면 설정값에 대하여, 출력값이 달라지게 된다.

[0011] 예를 들면, 듀티비의 신호를 0~100%의 범위에서 0.5% 단위로 입력할 수 있는 경우, 12비트의 디지털 신호 처리에서는, 1디지트당 약 0.098%의 분해능이 된다. 여기서, 디지트란 2진수의 자리수를 의미한다.

[0012] 도 11에 나타내는 바와 같이, 12비트의 디지털 신호 처리에 대하여, 아날로그 신호가 0~10V에서 사용되는 경우, 1디지트당의 전압은 약 4.9mV이다. 아날로그 신호가 노이즈 등의 이유로 4.9mV 이상 어긋난 경우에는 디지털 신호 변환 후에 1디지트 이상의 차이가 생길 가능성이 있다. 이 경우, 분해능은 1디지트당 약 0.098%이기 때문에, 듀티비가 약 0.1% 이상의 오차가 생길 가능성이 있다.

[0013] 예를 들면, 반복 주파수가 10Hz에서 듀티비가 2.0%일 때, 고주파 바이어스의 온 시간은 2.0ms가 된다. 반복 주파수가 10Hz에서 듀티비가 2.1%인 경우, 온 시간은 2.1ms가 된다. 듀티비의 제어 정밀도의 오차가 0.1% 있는 경우, 듀티비의 설정 값을 2.0%로 하여도, 결과적으로 2.1%가 될 가능성이 있어, 이 경우의 온 시간의 오차는 0.1ms가 된다.

[0014] 일반적으로 온 시간에 에칭이 진행된다. 에칭이 진행되는 시간의 오차는, 에칭 레이트나 에칭의 반응 생성물 농도에 영향을 준다. 도 12에 듀티비와 에칭 레이트의 관계를 확인한 실험 결과를 나타낸다. 에칭 레이트는, HBr 가스와 Ar 가스와 O₂ 가스의 혼합 가스를 사용하여, 10Hz의 반복 주파수로, 듀티비를 변경하여 Poly-Si의 에칭 레이트를 측정한 것이다.

[0015] 이 실험에서는, 듀티비가 0.1% 변경되면 에칭 레이트가 1.3nm/min 변화되는 결과가 되었다. 또, 듀티비가 2%일 때, 에칭 레이트는 21.7nm/min이었지만, 노이즈 등에 의해 듀티비가 +1디지트 어긋난 경우, 듀티비가 2.1%가 되며, 에칭 레이트는 23.0nm/min이 된다. 또, 노이즈 등에 의해 듀티비가 -1디지트 어긋난 경우, 듀티비가 1.90%가 되며, 에칭 레이트는 20.4nm/min이 된다.

[0016] 이와 같이 듀티비가 2.0% 설정이어도 ± 1 디지트의 오차가 있는 경우, 에칭 레이트는 21.7nm/min에 대하여, 오차율로서 약 12% 정도의 오차를 가지게 되어, 에칭 성능의 편차가 약 12% 발생할 가능성이 있다. 이 편차가 에칭 성능의 재현성이나 장치간 차이를 야기하는 원인이 된다.

[0017] 이러한 문제에 대하여 사용하는 아날로그 전압값에 대한 듀티비의 사용 영역을 좁게 함으로써, 분해능을 높이는

것이 가능하지만, 에칭 가스나 피에칭 대상 구조에 따라, 최적의 듀티비가 다르다. 이 때문에, 각종 에칭 가스나 각종 피에칭 대상 구조에 대응하기 위해서는, 가능한 한 넓은 듀티비 영역이 필요해진다. 따라서, 듀티비의 사용 가능 영역의 광역화와 듀티비 분해능 향상의 양립이 필수가 된다.

[0018] 또, 반복 주파수에 대해서도 듀티비와 동일한 것을 말할 수 있다. 에칭 가스나 피에칭 대상 구조에 의해, 최적의 반복 주파수가 다르기 때문에, 각종 에칭 가스나 각종 피에칭 대상 구조에 대응하기 위해서는, 가능한 한 넓은 반복 주파수 영역이 필요해진다. 이 때문에, 반복 주파수에 대해서도 반복 주파수의 광역화와 고분해능화의 양립은 필수적이다.

[0019] 또한 플라즈마의 해리를 제어하는 방법으로서 알려지는 펄스 플라즈마에 대해서도, 펄스 플라즈마를 생성하기 위하여 인가되는 고주파는 시간 변조되어, 펄스화되어 있기 때문에, 상기 서술한 듀티비와 반복 주파수와 동일한 문제가 발생할 수 있다.

[0020] 이 때문에, 본 발명은, 이상의 과제를 감안하여, 광범위하며 고정밀도로 제어 가능한 시간 변조된 고주파 전력을 공급하는 고주파 전원을 구비하는 플라즈마 처리 장치 및 상기 플라즈마 처리 장치를 사용한 플라즈마 처리 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0021] 본 발명은, 진공 용기와, 상기 진공 용기 내에 플라즈마를 생성하기 위한 제1 고주파 전원과, 상기 진공 용기 내에 배치되어 시료를 재치(載置)하는 시료대와, 상기 시료대에 고주파 전력을 공급하는 제2 고주파 전원을 구비하는 플라즈마 처리 장치에 있어서, 상기 제1 고주파 전원 또는 상기 제2 고주파 전원 중 적어도 어느 하나는, 시간 변조된 고주파 전력을 공급하고, 상기 시간 변조를 제어하는 파라미터 중 하나는, 2개 이상의 다른 제어 범위를 가지며, 상기 제어 범위 중 하나는, 정밀도 높은 제어를 행하기 위한 제어 범위인 것을 특징으로 한다.

[0022] 또, 본 발명은, 진공 용기와, 상기 진공 용기 내에 플라즈마를 생성하기 위한 제1 고주파 전원과, 상기 진공 용기 내에 배치되어 시료를 재치하는 시료대와, 상기 시료대에 고주파 전력을 공급하는 제2 고주파 전원을 구비하는 플라즈마 처리 장치를 사용한 플라즈마 처리 방법에 있어서, 상기 제1 고주파 전원 또는 상기 제2 고주파 전원 중 적어도 어느 하나는, 시간 변조된 고주파 전력을 공급하고, 2개 이상의 다른 제어 범위를 가지는 파라미터에 의해 상기 시간 변조를 제어하며, 상기 제어 범위 중 하나는, 정밀도 높은 제어를 행하기 위한 제어 범위인 것을 특징으로 한다.

[0023] 또, 본 발명은, Poly-Si막과 SiO₂막과 아몰퍼스 카본막과 SiN막과 BARC막을 가지는 시료에 시간 변조된 고주파 전력을 공급하면서 플라즈마 에칭하는 플라즈마 처리 방법에 있어서, 반복 주파수는, 정밀도 높은 제어가 필요한 제1 제어 범위와 정밀도 높은 제어가 필요하지 않은 제2 제어 범위를 가지고, 듀티비는, 정밀도 높은 제어가 필요한 제3 제어 범위와 정밀도 높은 제어가 필요하지 않은 제4 제어 범위를 가지며, 상기 SiN막을 상기 제1 제어 범위 및 상기 제4 제어 범위에서 에칭하고, 상기 아몰퍼스 카본막을 상기 제2 제어 범위 및 상기 제4 제어 범위에서 에칭하며, 상기 SiO₂막을 상기 제1 제어 범위 및 상기 제3 제어 범위에서 에칭하고, 상기 Poly-Si막의 일부를 상기 제1 제어 범위 및 상기 제3 제어 범위에서 에칭하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 의해, 광범위하며 고정밀도로 제어 가능한 시간 변조된 고주파 전력을 공급할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 실시예에 관련된 마이크로파 ECR 플라즈마 에칭 장치의 종(縱)단면도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 관련된 제어부와 고주파 바이어스 전원의 개략도이다.

도 3a는 실시예 1에 있어서의 아날로그 신호의 송신을 나타낸 도면이다.

도 3b는 실시예 2에 있어서의 아날로그 신호의 송신을 나타낸 도면이다.

도 4a는 실시예 1에 있어서의 A/D 컨버터의 개략도이다.

도 4b는 실시예 2에 있어서의 A/D 컨버터의 개략도이다.

- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 관련된 제어부와 고주파 바이어스 전원의 개략도이다.
- 도 6a는 실시예 1에 있어서의 채널의 설정예를 나타낸 도면이다.
- 도 6b는 실시예 2에 있어서의 채널의 설정예를 나타낸 도면이다.
- 도 7은 반응 생성물 농도의 에칭 처리 시간 의존성을 나타낸 도면이다.
- 도 8a는 실시예 1에 있어서의 듀티비에 대한 SiO₂ 선택비를 나타낸 도면이다.
- 도 8b는 실시예 2에 있어서의 반복 주파수에 대한 에칭 형상의 테이퍼 각도 의존성을 나타낸 도면이다.
- 도 8c는 실시예 2에 있어서의 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력의 오프 시간에 대한 에칭 형상의 테이퍼 각도 의존성을 나타낸 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 관련된 제어부와 고주파 전원의 개략도이다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 관련된 제어부와 고주파 바이어스 전원의 개략도이다.
- 도 11은 종래의 아날로그 신호 설정예를 나타낸 도면이다.
- 도 12는 듀티비에 대한 Poly-Si의 에칭 레이트 의존성을 나타내는 도면이다.
- 도 13은 평균 고주파 전력에 대한 Poly-Si의 에칭 레이트 의존성을 나타내는 도면이다.
- 도 14는 실시예 3에 있어서의 A/D 컨버터의 개략도이다.
- 도 15은 본원 발명의 개념을 나타내는 도면이다.
- 도 16은 실시예 4에 있어서의 플라즈마 처리 방법을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 플라즈마를 생성하기 위한 고주파 전원과 시료에 고주파 전력을 공급하는 고주파 전원 중 적어도 일방의 고주파 전원으로부터 공급되는 고주파 전력을 시간 변조 하는 경우의 제어용 파라미터로서, 반복 주파수, 듀티비, 반복 파형의 진폭이 높은 기간의 시간(예를 들면, 온 시간), 반복 파형의 진폭이 낮은 기간의 시간(예를 들면, 오프 시간)이 있다.
- [0027] 본 발명은, 상기의 제어용 파라미터 중 적어도 하나의 제어 범위를 적어도 2개의 다른 영역으로 분할하고, 상기 영역 중 하나는, 정밀도 높은 제어가 필요한 영역인 것을 특징으로 한다.
- [0028] 예를 들면, 반복 주파수와 듀티비를 제어용 파라미터로서 시료에 고주파 전력을 공급하는 고주파 전원으로부터 공급되는 고주파 전력을 시간 변조하는 경우, 도 15에 나타내는 바와 같이 크게 4개의 영역으로 분류할 수 있다.
- [0029] 영역 A는, 저반복 주파수(예를 들면, 1에서부터 100Hz의 반복 주파수)이면서 저듀티비(예를 들면 10% 이하의 듀티비)보다 높은 듀티비의 영역이고, 영역 B는, 저반복 주파수보다 높은 반복 주파수이면서 저듀티비보다 높은 듀티비의 영역이다.또, 영역 C는, 저반복 주파수이면서 저듀티비인 영역이며, 영역 D는, 저반복 주파수보다 높은 반복 주파수이면서 저듀티비인 영역이다.
- [0030] 또한, 상기의 저반복 주파수와 저듀티비는, 정밀도 높은 제어가 요구되는 범위이다. 이 때문에, 본 발명은, 플라즈마를 생성하기 위한 고주파 전원 또는 시료에 고주파 전력을 공급하는 고주파 전원 중 적어도 어느 하나의 고주파 전원으로부터 공급되는 고주파 전력을 시간 변조하는 경우, 상기 고주파 전력의 시간 변조의 제어 영역은 다른 복수의 영역으로 이루어지고, 상기 다른 복수의 영역 중 적어도 하나는, 영역 A와 영역 C와 영역 D 중 적어도 하나의 영역인 것을 특징으로 한다.
- [0031] 먼저, 시료에 고주파 전력을 공급하는 고주파 전원으로부터 공급되는 고주파 전력을 시간 변조하여, 듀티비를 제어 파라미터로 하는 경우, 영역 C와 영역 D로 이루어지는 듀티비 영역 1과, 영역 A와 영역 B로 이루어지는 듀티비 영역 2를 제어 영역으로 하는 일 실시예를 이하, 설명한다.

실시예 1

- [0032] 이하, 본 발명을 실시하기 위한 형태를 도면을 참조하면서 설명한다. 도 1에 본 발명의 일 실시예에 관련된 마

이크로파를 사용한 ECR 플라즈마 에칭 장치의 개략 중단면도를 나타낸다. 또한, 동일한 부호는 동일한 구성 요소를 나타낸다.

- [0033] 상부가 개방된 진공 용기(101)의 상부에, 진공 용기(101) 내에 에칭 가스를 도입하기 위한 샤워 플레이트(102) (예를 들면 석영제)와, 유전체창(103)(예를 들면 석영제)을 설치하고, 밀봉함으로써 처리실(104)을 형성한다. 샤워 플레이트(102)에는 에칭 가스를 흘려보내기 위한 가스 공급 장치(105)가 접속된다.
- [0034] 또, 진공 용기(101)에는 배기용 개폐 밸브(117) 및 배기 속도 가변 밸브(118)를 개재하여 진공 배기 장치(106)가 접속되어 있다. 처리실(104) 안은 배기용 개폐 밸브(117)를 열림으로 하고, 진공 배기 장치(106)를 구동함으로써 감압되어, 진공 상태가 된다. 처리실(104) 내의 압력은 배기 속도 가변 밸브(118)에 의해 원하는 압력으로 조정된다. 에칭 가스는, 가스 공급 장치(105)로부터 샤워 플레이트(102)를 통하여 처리실(104) 내에 도입되고, 배기 속도 가변 밸브(118)를 개재하여 진공 배기 장치(106)에 의해 배기된다. 또, 샤워 플레이트(102)에 대하여 진공 용기(101)의 하부에 시료대인 시료 재치용 전극(111)이 설치된다.
- [0035] 플라즈마를 생성하기 위한 전력을 처리실(104)로 전송하기 위하여, 유전체창(103)의 상방에는 전자파를 전송하는 도파관(107)이 설치된다. 도파관(107)으로 전송되는 전자파는 전자파 발생용 전원(109)으로부터 발진시킨다. 또한, 본 실시예의 효과는, 전자파의 주파수에 특별히 한정되지 않지만, 본 실시예에서는 2.45GHz의 마이크로파를 사용한다. 처리실(104)의 외부에는, 자장을 형성하는 자장 발생 코일(110)이 설치되어 있고, 전자파 발생용 전원(109)으로부터 발진된 전자파는, 자장 발생 코일(110)에 의해 형성된 자장과 상호 작용에 의해, 처리실(104) 내에 고밀도 플라즈마를 생성하고, 시료 재치용 전극(111) 상에 배치된, 시료인 웨이퍼(112)에 에칭 처리를 실시한다.
- [0036] 샤워 플레이트(102), 시료 재치용 전극(111), 자장 발생 코일(110), 배기용 개폐 밸브(117), 배기 속도 가변 밸브(118) 및 웨이퍼(112)는 처리실(104)의 중심축 상에 대하여 동축으로 배치되어 있기 때문에, 에칭 가스의 흐름이나 플라즈마에 의해 생성된 라디칼 및 이온, 또한 에칭에 의해 생성된 반응 생성물은 웨이퍼(112)에 대하여 동축으로 도입, 배기된다. 이 동축 배치는 에칭 레이트, 에칭 형상의 웨이퍼면 내 균일성을 축 대칭에 가깝게 하여, 웨이퍼 처리 균일성을 향상시키는 효과가 있다.
- [0037] 시료 재치용 전극(111)은 전극 표면이 용사막(溶射膜)(도시 생략)으로 피복되어 있고, 고주파 필터(115)를 개재하여 직류 전원(116)이 접속되어 있다. 또한, 시료 재치용 전극(111)에는, 매칭 회로(113)를 개재하여 고주파 바이어스 전원(114)이 접속된다. 고주파 바이어스 전원(114)은, 고주파 바이어스 출력부(126)와 펄스 발생기(108)를 구비하고(도 2 참조), 시간 변조된 간헐적인 고주파 전력 또는, 연속적인 고주파 전력을 선택적으로 시료 재치용 전극(111)에 공급할 수 있다. 또, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력은 고주파 바이어스 전력을 인가하는 기간(온 기간)과 인가하지 않는 기간(오프 기간)을 단위 시간당 반복하는 회수인 반복 주파수와, 1 주기(반복 주파수의 역수)당의 온 기간인 듀티비에 의하여, 제어된다.
- [0038] 상기 서술한 ECR 에칭 장치를 사용한 에칭 처리를 제어하는 제어부(120)는, 입력 수단(도시 생략)에 의해 입력된 반복 주파수, 듀티비, 에칭을 실시하는 가스 유량, 처리 압력, 마이크로 전력, 코일 전류 등의 에칭 파라미터의 처리를 행하는 퍼스널 컴퓨터(121)와, 신호 처리를 행하는 마이크로 컴퓨터(122)와, 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환하는 디지털-아날로그 컨버터[이하, D/A 컨버터(123)라고 칭한다]를 구비한다(도 2 참조).
- [0039] 또, 고주파 바이어스 전원(114)은, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 아날로그-디지털 컨버터[이하, A/D 컨버터(124)라고 칭한다]와, 마이크로 컴퓨터(122)로부터 송신된 신호와 A/D 컨버터(124)로부터 송신된 신호를 처리하는 신호 처리부(125)와, 신호 처리부(125)로부터 지시된 반복 주파수와 듀티비의 펄스 파형을 발생시키는 펄스 발생기(108)와, 신호 처리부로부터 지시된 고주파 바이어스를 출력하는 고주파 바이어스 출력부(126)를 구비한다(도 2 참조).
- [0040] 이하, 고주파 바이어스 전원(114)으로부터 시간 변조된 간헐적인 고주파 전력을 시료 재치용 전극에 공급하는 경우의 제어부(120)의 기능에 대해서, 도 2를 사용하여 설명한다.
- [0041] 입력 수단(도시 생략)에 의해, 퍼스널 컴퓨터(121)에 입력된 반복 주파수와 듀티비는, 디지털 신호로서 마이크로 컴퓨터(122)에서 처리되고, D/A 컨버터(123)를 통하여, 아날로그 신호로 변환되어 고주파 바이어스 전원(114)으로 송신된다. 고주파 바이어스 전원(114)이 수신한 아날로그 신호는, A/D 컨버터(124)에서 디지털 신호로 변환되고, 신호 처리부(125)에서 처리되어 고주파 바이어스 출력부(126)와 펄스 발생기(108)로부터 각각 고주파 바이어스 전력과 펄스 파형이 출력된다. 출력된 고주파 바이어스 전력에 출력된 펄스 파형이 중첩되어, 시간 변조된 간헐적인 고주파 전력을 고주파 바이어스 전원(114)으로부터 시료 재치용 전극(111)으로 공급한다.

- [0042] 다음으로, 고주파 바이어스 전원(114)의 듀티비는, 0~100%의 범위를 0.5% 마다의 설정으로 사용되고, 특히 0~10%의 듀티비의 영역을 고분해능으로 제어하는 경우에 대하여, 설명한다.
- [0043] 0~10%의 듀티비의 영역을 채널 1, 10.5~100%의 듀티비의 영역을 채널 2라고 한다. 또, 12비트의 D/A 컨버터(123) 및 A/D 컨버터(124)를 사용하고, 아날로그 신호의 전압값은 $\pm 10V$ 의 범위로 하고 있다. 또한, 아날로그 신호가 $\pm 10V$ 의 범위인 경우, 아날로그 신호는, 일반적으로 0~10V가 사용된다. 아날로그 전압값의 범위는 임의의 범위로 설정할 수 있지만, 본 실시예에서는 일반적으로 사용되는 0~10V를 사용하였다.
- [0044] 예를 들면, 퍼스널 컴퓨터(121)에 2%의 듀티비가 입력되면, 도 3a에 나타내는 바와 같이 마이크로 컴퓨터(122)로부터 D/A 컨버터(123)를 통하여 채널 1과 채널 2의 신호가 양쪽 모두 시간이 어긋나 주기적으로 A/D 컨버터(124)로 송신된다. 신호 처리부(125)는, 마이크로 컴퓨터(122)로부터 송신된 채널 1을 선택하기 위한 채널 전환 신호에 따라, 타이밍 A(채널 1)와 신호 수신을 동기시킴으로써, A/D 컨버터(124)로부터 송신된 채널 1과 채널 2의 신호로부터 채널 1의 신호를 선택한다.
- [0045] 채널 1의 신호를 선택한 신호 처리부(125)는, 펄스 발생기(108)로부터 2%의 듀티비의 펄스 파형을 발생시키고, 2%의 듀티비의 시간 변조된 간헐적인 고주파 전력을 고주파 바이어스 전원(114)으로부터 출력한다.
- [0046] 또, 신호 처리부(125)의 채널 선택의 다른 방법으로서, 도 4a에 나타내는 바와 같이, A/D 컨버터(124)에 복수의 입출력 단자(이하 포트라고 한다)가 있는 경우, 채널 전환 신호에서 어느 채널을 선택하는 것을 판단하여, 특정한 포트의 신호를 채용하는 방법이어도 된다. 예를 들면, 2%의 듀티비의 경우, 포트 1을 선택하도록 신호 처리부(125)에 판단시키면 된다(도 4a).
- [0047] 또, 사용하는 채널만을 마이크로 컴퓨터(122)로부터 D/A 컨버터(123)를 통하여, A/D 컨버터(124)로 송신해도 된다. 예를 들면, 2%의 듀티비를 설정하는 경우, 채널 1의 신호만을 송신하고, 채널 2의 신호는 송신하지 않도록 한다. A/D 컨버터(124)가 도 4a와 같은 구성의 경우, 신호 처리부(125)가 포트의 수신 신호의 유무를 판정함으로써, 포트 1에는 신호 있음, 포트 2에는 신호 없음의 상태이면, 신호 처리부(125)는, 포트 1, 즉 채널 1을 선택할 수 있다. 이 경우, 채널 전환 신호는 필요 없기 때문에, 도 5의 구성이어도 된다.
- [0048] 그러나, 예칭 처리는, 복수 단계에서 연속으로 처리하는 경우가 있고, 각 단계 사이에서 다른 듀티비의 영역(다른 채널)을 사용하는 경우에는, 송신의 타이밍을 어긋나게 한 상태에서 항상 주기적으로, 다른 채널의 신호를 송신한 상태에서, 전환 신호에 의해 채널을 선택하는 방법(도 4a)이 전환 신호가 불필요한 방법보다, 채널의 변경을 신속하게 행하는 것이 가능하기 때문에, 도 4a와 같은 채널 선택 방법이 적합하다.
- [0049] 다음으로, 본 실시예에서의 채널 1과 채널 2의 듀티비 및 분해능에 대하여 설명한다.
- [0050] 통상, D/A 컨버터(123) 및 A/D 컨버터(124)의 처리 능력과 듀티비의 영역의 범위에 의해 듀티비의 분해능이 결정된다. 12비트의 D/A 컨버터(123) 및 A/D 컨버터(124)의 경우, 4096디지털의 신호를 취급할 수 있다. 디지털란 2진수의 자리수이다. 이 경우, 아날로그 신호가 $\pm 10V$ 의 범위에서 4096 종류의 신호의 값을 취급할 수 있게 된다. 아날로그 신호는 본 실시예에서는 0~10V로 되어 있고, 2048 종류의 신호의 값을 취급할 수 있게 된다.
- [0051] 본 실시예에서는, 채널 1의 듀티비의 사용 범위가 0~10%이고 0.5% 마다의 설정이기 때문에, 약 0.01%의 분해능이 된다. 또, 채널 2의 듀티비의 사용 범위가 10.5~100%이기 때문에, 약 0.09%의 분해능이 된다. 또, 아날로그 신호의 사용 범위가 10V이고 2048디지털의 신호를 취급할 수 있기 때문에, 1디지털은 약 4.9mV에 상당한다. 즉, 아날로그 신호가 약 4.9mV이면, 채널 1의 경우에는, 약 0.01%의 듀티비, 채널 2의 경우에는, 약 0.09%의 듀티비를 나타내게 된다. 이 때문에, 아날로그 신호에 4.9mV의 오차가 발생하면, 채널 1의 경우에는, 약 0.01%의 오차, 채널2의 경우에는 약 0.09%의 오차가 생기게 된다.
- [0052] 예를 들면, 듀티비가 2%(채널 1)이고 반복 주파수가 10Hz인 경우, 온 시간은 2.0ms가 된다. 아날로그 신호에 약 0.05%(5mV)의 노이즈가 발생한 경우, 듀티비에 약 0.01% 이상의 오차가 생기게 된다. 듀티비가 2.01%이고 반복 주파수가 10Hz인 경우, 온 시간은 2.01ms가 되고, 오차는 불과 0.01ms이다.
- [0053] 또, 듀티비가 90%(채널 2)이고 반복 주파수가 10Hz인 경우, 온 시간은 9.0ms가 된다. 노이즈에 의해 아날로그 신호에 약 0.09%(5mV)의 노이즈가 발생한 경우, 약 90.09%의 신호로서 처리되게 되지만, 온 시간은 9.09ms이고 오차는 0.09ms가 되어, 0.09ms의 오차밖에 되지 않는다.
- [0054] 따라서, 본 실시예는, 상기 서술한 바와 같이, 듀티비의 사용 영역 범위를 분해능의 정밀도가 요구되는 듀티비의 영역과 분해능의 정밀도가 그다지 요구되지 않는 듀티비의 영역으로 분할함으로써, 듀티비가 높은 범위의 사

용 영역에 있어서, 듀티비를 고정밀도로 제어할 수 있다.

- [0055] 또, 본 실시예에서는 듀티비의 설정 단위를 0.5%로 하고 있기 때문에, 채널 1의 듀티비의 영역을 선택한 경우, 0.5%에 약 102디지트, 즉 약 500mV를 할당할 수 있고, 노이즈 등에 의한 오차를 배제하는 것을 가능하게 하고 있다.
- [0056] 또, 채널 1의 분해능은, 0.01%이기 때문에, 채널 1의 듀티비의 설정 단위를 0.5% 이하로 하여 제어하는 것은 가능하다. 또, 본 실시예에서는, 듀티비의 사용 영역을 2개로 분할한 예였지만, 2개 이상으로 분할해도 된다. 분할 수를 증가시킬수록, 각 사용 영역의 분해능을 향상시킬 수 있다.
- [0057] 또, 본 실시예에서는, 아날로그 전압값을 0~10V의 사용 범위로 하였지만, 임의의 사용 범위에서도 분해능 향상 효과는 동등하기 때문에, 아날로그 전압값의 사용 범위가 임의의 전압 범위에서도 본 발명은 적용 가능하며, 본 발명에서 동일한 효과가 얻어진다.
- [0058] 또, 본 실시예에서는, 듀티비의 사용 영역을 2개로 분할한 예였지만, 도 6a에 나타내는 바와 같이, 2개 이상의 다른 듀티비 영역을 조합함으로써, 듀티비의 사용 영역을 넓혀도 된다. 이처럼, 다른 듀티비의 영역을 조합함으로써, 듀티비의 사용 영역을 넓힐 수 있고, 각각의 듀티비 영역의 제어 정밀도를 향상시킬 수 있다.
- [0059] 또, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력의 온 시간이 짧은 경우에는, 고주파 바이어스 전력의 매칭이 곤란해진다는 문제가 있다. 온 시간은 듀티비와 반복 주파수에 의해 규정되지만, 반복 주파수가 2000Hz와 같은 높은 주파수인 경우, 듀티비가 작으면 온 시간이 너무 짧아지기 때문에, 매칭 성능에 영향을 주어, 고주파 바이어스 전력을 시료 재치용 전극(111)으로 인가할 수 없게 되는 경우가 있다.
- [0060] 이 때문에, 채널 1의 듀티비 영역의 듀티비를 사용하는 경우에는, 대체로, 반복 주파수를 200Hz 이하 정도로 사용하는 것이 바람직하다. 또 온 시간이 짧아져 매칭에 영향을 주지 않도록 하기 위하여, 양호한 동작이 가능한 온 시간의 최소값을 미리 설정해 두고, 매칭에 영향을 주는지 온 시간인지의 여부를 판정하는 기능을 가지는 것이 바람직하다.
- [0061] 다음으로, 본 실시예에 관련된 마이크로파 ECR 플라즈마 에칭 장치를 사용하여, 웨이퍼(112)에 에칭 처리를 실시하는 플라즈마 처리 방법에 대하여 설명한다. 또, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 듀티비의 사용 범위가, 2개의 듀티비의 영역으로 분할되고, 채널 1(0~10%)과 채널 2(10.5~100%)의 2개의 듀티비의 영역으로 구성되어 있는 경우의 플라즈마 처리 방법에 대하여 설명한다.
- [0062] 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스는 반응 생성물 농도를 제어하고, 에칭 성능을 제어하는 것에 사용되지만, 오프 시간이 반응 생성물의 체재 시간과 동등한 정도일 때, 특히 큰 효과가 얻어진다. 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 온 시간의 기간은 에칭이 진행되며, 반응 생성물이 계속해서 발생한다. 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스가 오프되면, 에칭은 진행되지 않게 되며, 반응 생성물은 배기된다. 일반적인 플라즈마 에칭 장치의 경우, 처리 압력 0.1Pa~10Pa에서는 반응 생성물의 체재 시간은 10ms~1000ms이다.
- [0063] 일례로서, 반응 생성물의 체재 시간이 80ms인 경우를 설명한다. 연속 고주파 바이어스에서는 반응 생성물 농도는 에칭 개시 시보다 단조롭게 증가해간다. 반응 생성물의 체재 시간을 80ms, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 온 시간을 10ms, 오프 시간을 10ms으로 한 경우의 반응 생성물 농도의 에칭 처리 시간 의존성을 도 7(a)에 나타낸다. 오프 시간이 반응 생성물의 체재 시간과 비교하여 짧은 경우에는, 반응 생성물이 잔류하기 때문에, 반응 생성물 농도는 시간의 경과와 함께 증가해간다. 다음으로, 반응 생성물의 체재 시간을 80ms, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 온 시간을 10ms, 오프 시간을 80ms로 하고, 반응 생성물의 체재 시간과 오프 시간을 동일하게 했을 때의 반응 생성물 농도의 에칭 처리 시간 의존성을 도 7(b)에 나타낸다.
- [0064] 온 시간 내에 발생한 반응 생성물은 오프 시간에 배기되어, 잔류하지 않기 때문에, 반응 생성물 농도가 낮은 상태를 만들어 내는 것이 가능하다. 온 시간에 생성된 반응 생성물에 대하여, 충분히 긴 오프 시간을 설치함으로써 반응 생성물 농도를 낮출 수 있다. 듀티비는 온 시간과 오프 시간의 비이기 때문에, 오프 시간을 길게 하는 것은 듀티비를 낮추는 것에 상당한다. 듀티비를 낮춤으로써 반응 생성물의 영향을 억제할 수 있다.
- [0065] 다음으로, 도 8a에 반복 주파수를 10Hz로 고정하고, Ar 가스와 SF₆ 가스와 O₂ 가스를 혼합하여, 텅스텐의 라인 패턴을 에칭한 경우의 듀티비에 대한 하드 마스크인 SiO₂ 막의 선택비 의존성을 나타낸다.
- [0066] 듀티비가 10%보다 높은 경우에는 선택비의 변화는 완만하지만, 듀티비가 10%이하에서는, 선택비가 급격하게 높아지는 결과가 되어 있다. 이것은, 듀티비가 낮을 때에는 온 시간이 짧고 오프 시간이 길기 때문에, 반응 생성

물 농도가 감소하기 때문이다. SF_6 가스로 텅스텐을 에칭할 때의 반응 생성물은, 대체로 $\text{WF}_x(x=1\sim6)$ 등이지만, 이들 반응 생성물은 재해리됨으로써, F(불소)를 발생시키고, SiO_2 막으로 부착되어, SiF_4 등으로서 반응하여, SiO_2 를 에칭함으로써, SiO_2 선택비를 낮추고 있다고 생각된다.

[0067] 선택비의 정밀도 높은 제어를 위해서는 10% 이하의 듀티비를 고정밀도로 제어할 필요가 있다. 그것을 위해서는 도 8a에 나타내는 바와 같이 듀티비의 채널을 10% 이하와 10%보다 높은 경우의 2개의 영역으로 나눔으로써, 광범위한 제어와 정밀도 높은 제어를 양립하는 것이 가능하다.

[0068] 또, 상기 서술한 것 이외의 플라즈마 처리 방법에 대하여, 이하, 설명한다. 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스를 고정밀도로 제어함으로써, 에칭 성능을 고정밀도로 제어하는 것이 가능해진다. 에칭 성능이 챔버의 경시(經時) 변화에 따라 변화되어 가는 경우가 있다.

[0069] 예를 들면, 에칭 레이트가 처리 매수를 거듭할 때마다 저하되는 경우, 처리 시간의 설정값이 동일하면, 결과적으로 총 에칭량이 적어져, 불량율 야기할 가능성이 있다. 따라서, 반대로 처리 매수를 거듭할 때마다 에칭 레이트를 높이도록 함으로써, 총 에칭량을 일정하게 할 수 있다. 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 온 시간, 오프 시간, 주파수, 듀티비 등을 고정밀도로 제어함으로써, 경시 변화에 대응한 에칭 성능 제어가 가능해진다.

[0070] 도 13에 Poly-Si의 에칭 레이트와 평균 고주파 전력의 관계를 나타낸다. 평균 고주파 전력을 변경함으로써, 20nm/min보다 작은 근소한 에칭 레이트여도 제어할 수 있는 것을 알 수 있다. 도 13은, 도 12에 나타내는 듀티비와 고주파 전력값으로부터 평균 고주파 전력으로 환산한 것이다.

[0071] 도 13에 나타내는 바와 같이, 듀티비를 변경함으로써 평균 고주파 전력을 제어할 수 있다. 따라서, 듀티비를 고정밀도로 제어함으로써 에칭 레이트를 고정밀도로 제어할 수 있기 때문에, 경시 변화에 추종하는 에칭 성능 제어에 적합하다.

[0072] 또, 상기 서술한 플라즈마 처리 방법은, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 듀티비의 사용 주파수 범위가, 2개의 영역으로 분할된 예였지만, 듀티비의 사용 영역이 2개 이상으로 분할되어 있는 경우에도, 상기 서술한 플라즈마 처리 방법과 동일한 효과를 얻을 수 있다.

[0073] 또, 듀티비나 반복 주파수, 온 시간, 오프 시간의 사용 영역이 2개 이상의 다른 영역의 조합으로 이루어지는 경우에도, 상기 서술한 플라즈마 처리 방법과 동일한 효과를 얻을 수 있다.

[0074] 본 발명은, 상기 서술한 바와 같은 구성을 구비하기 때문에, 광범위한 듀티비이며 고정밀도로 제어된 듀티비에 의해 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력을 재치용 전극에 공급할 수 있기 때문에, 다양한 에칭 공정에 있어서, 정밀도 높은 에칭 가공이 가능하다.

[0075] 또, 본 실시예에서는, 듀티비의 복수 채널의 전환은, 채널 전환 신호를 사용하였지만, 고주파 바이어스 전원을 복수 사용하는 방법이어도 된다. 예를 들면, 도 9에 나타내는 바와 같이 듀티비의 채널을 2개로 나누는 경우, 각각, 다른 제어 범위의 듀티비의 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력을 출력하는 고주파 전원을 2개 설치하여, 고주파 전원 선택 신호에 의해 제1 고주파 전원(127)과 제2 고주파 전원(128)을 전환함으로써, 광범위한 듀티비이며 고정밀도로 제어된 듀티비의 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력을 재치용 전극에 공급할 수 있다.

[0076] 또, 도 10에 나타내는 바와 같이, 상기의 복수의 고주파 전원 대신, 다른 제어 범위의 듀티비의 펄스 파형을 각각 발생시키는 복수의 펄스 발생기[제1 펄스 발생기(129), 제2 펄스 발생기(130) 등]를 고주파 바이어스 전원에 설치해도 된다.

[0077] 다음으로, 시료에 고주파 전력을 공급하는 고주파 전원으로부터 공급되는 고주파 전력을 시간 변조하여, 반복 주파수를 제어 파라미터로 하는 경우, 영역 A와 영역 C로 이루어지는 반복 주파수 영역 1과, 영역 B와 영역 D로 이루어지는 반복 주파수 영역 2를 제어 영역으로 하는 일 실시예를 이하, 설명한다.

실시예 2

[0078] 이하, 본 발명을 실시하기 위한 형태를 도면을 참조하면서 설명한다. 도 1에 본 발명의 일 실시예에 관련된 마이크로파를 사용한 ECR 플라즈마 에칭 장치의 개략 종단면도를 나타낸다. 또한, 동일한 부호는 동일한 구성 요소를 나타낸다.

- [0079] 상부가 개방된 진공 용기(101)의 상부에, 진공 용기(101) 내에 에칭 가스를 도입하기 위한 샤워 플레이트(102) (예를 들면 석영제)와, 유전체창(103)(예를 들면 석영제)을 설치하고, 밀봉함으로써 처리실(104)을 형성한다. 샤워 플레이트(102)에는 에칭 가스를 흘려보내기 위한 가스 공급 장치(105)가 접속된다. 또, 진공 용기(101)에는 배기용 개폐 밸브(117) 및 배기 속도 가변 밸브(118)를 개재하여 진공 배기 장치(106)가 접속되어 있다. 처리실(104) 안은 배기용 개폐 밸브(117)를 열림으로 하고, 진공 배기 장치(106)를 구동함으로써 감압되어, 진공 상태가 된다.
- [0080] 처리실(104) 내의 압력은 배기 속도 가변 밸브(118)에 의해 원하는 압력으로 조정된다. 에칭 가스는, 가스 공급 장치(105)로부터 샤워 플레이트(102)를 통하여 처리실(104) 내에 도입되고, 배기 속도 가변 밸브(118)를 개재하여 진공 배기 장치(106)에 의해 배기된다. 또, 샤워 플레이트(102)에 대하여 진공 용기(101)의 하부에 시료대인 시료 재치용 전극(111)이 설치된다.
- [0081] 플라스마를 생성하기 위한 전력을 처리실(104)로 전송하기 위하여, 유전체창(103)의 상방에는 전자파를 전송하는 도파관(107)이 설치된다. 도파관(107)으로 전송되는 전자파는 전자파 발생용 전원(109)으로부터 발진시킨다. 또한, 본 실시예의 효과는, 전자파의 주파수에 특별히 한정되지 않지만, 본 실시예에서는 2.45GHz의 마이크로파를 사용한다. 처리실(104)의 외부에는, 자장을 형성하는 자장 발생 코일(110)이 설치되어 있고, 전자파 발생용 전원(109)으로부터 발진된 전자파는, 자장 발생 코일(110)에 의해 형성된 자장과 상호 작용에 의해, 처리실(104) 내에 고밀도 플라스마를 생성하고, 시료 재치용 전극(111) 상에 배치된, 시료인 웨이퍼(112)에 에칭 처리를 실시한다.
- [0082] 샤워 플레이트(102), 시료 재치용 전극(111), 자장 발생 코일(110), 배기용 개폐 밸브(117), 배기 속도 가변 밸브(118) 및 웨이퍼(112)는 처리실(104)의 중심축 상에 대하여 동축으로 배치되어 있기 때문에, 에칭 가스의 흐름이나 플라스마에 의해 생성된 라디칼 및 이온, 또한 에칭에 의해 생성된 반응 생성물은 웨이퍼(112)에 대하여 동축으로 도입, 배기된다. 이 동축 배치는 에칭 레이트, 에칭 형상의 웨이퍼면 내 균일성을 측정에 가깝게 하여, 웨이퍼 처리 균일성을 향상시키는 효과가 있다.
- [0083] 시료 재치용 전극(111)은 전극 표면이 용사막(도시 생략)으로 피복되어 있고, 고주파 필터(115)를 개재하여 직류 전원(116)이 접속되어 있다. 또한, 시료 재치용 전극(111)에는, 매칭 회로(113)를 개재하여 고주파 바이어스 전원(114)이 접속된다. 고주파 바이어스 전원(114)은, 고주파 바이어스 출력부(126)와 펄스 발생기(108)를 구비하고(도 2 참조), 시간 변조된 간헐적인 고주파 전력 또는, 연속적인 고주파 전력을 선택적으로 시료 재치용 전극(111)에 공급할 수 있다.
- [0084] 또, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력은 고주파 바이어스 전력을 인가하는 기간(온 기간)과 인가하지 않는 기간(오프 기간)을 단위 시간당 반복하는 횟수인 반복 주파수와, 1 주기(반복 주파수의 역수)당의 온 기간인 듀티비에 의하여, 제어된다.
- [0085] 상기 서술한 ECR 에칭 장치를 사용한 에칭 처리를 제어하는 제어부(120)는, 입력 수단(도시 생략)에 의해 입력된 반복 주파수, 듀티비, 에칭을 실시하는 가스 유량, 처리 압력, 마이크로파 전력, 코일 전류 등의 에칭 파라미터의 처리를 행하는 퍼스널 컴퓨터(121)와, 신호 처리를 행하는 마이크로 컴퓨터(122)와, 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환하는 디지털 아날로그 컨버터(이하, D/A 컨버터(123)라고 칭한다)를 구비한다(도 2 참조).
- [0086] 또, 고주파 바이어스 전원(114)은, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 아날로그-디지털 컨버터[이하, A/D 컨버터(124)라고 칭한다]와, 마이크로 컴퓨터(122)로부터 송신된 신호와 A/D 컨버터(124)로부터 송신된 신호를 처리하는 신호 처리부(125)와, 신호 처리부(125)로부터 지시된 반복 주파수와 듀티비의 펄스 파형을 발생하는 펄스 발생기(108)와, 신호 처리부로부터 지시된 고주파 바이어스를 출력하는 고주파 바이어스 출력부(126)를 구비한다(도 2 참조).
- [0087] 이하, 고주파 바이어스 전원(114)으로부터 시간 변조된 간헐적인 고주파 전력을 시료 재치용 전극에 공급하는 경우의 제어부(120)의 기능에 대하여, 도 2를 사용하여 설명한다.
- [0088] 입력 수단(도시 생략)에 의해, 퍼스널 컴퓨터(121)에 입력된 반복 주파수와 듀티비는, 디지털 신호로서 마이크로 컴퓨터(122)에서 처리되고, D/A 컨버터(123)를 통하여, 아날로그 신호로 변환되어 고주파 바이어스 전원(114)으로 송신된다.
- [0089] 고주파 바이어스 전원(114)이 수신한 아날로그 신호는, A/D 컨버터(124)에서 디지털 신호로 변환되고, 신호 처리부(125)에서 처리되어 고주파 바이어스 출력부(126)와 펄스 발생기(108)로부터 각각 고주파 바이어스 전력과

펄스 파형이 출력된다. 출력된 고주파 바이어스 전력에 출력된 펄스 파형이 중첩되어, 시간 변조된 간헐적인 고주파 전력을 고주파 바이어스 전원(114)으로부터 시료 재치용 전극(111)으로 공급한다.

[0090] 다음으로, 고주파 바이어스 전원(114)의 반복 주파수는, 1~2000Hz의 범위를 1Hz 단위로 사용되며, 특히 1~119Hz의 주파수 대역을 고분해능으로 제어하는 경우에 대하여, 설명한다.

[0091] 1~119Hz의 주파수 대역을 채널 1, 120~2000Hz의 주파수 대역을 채널 2라고 한다. 또, 12비트의 D/A 컨버터(123) 및 A/D 컨버터(124)를 사용하고, 아날로그 신호의 전압값은 $\pm 10V$ 의 범위로 하고 있다. 또한, 아날로그 신호가 $\pm 10V$ 의 범위인 경우, 아날로그 신호는, 일반적으로 0~10V가 사용된다.

[0092] 예를 들면, 퍼스널 컴퓨터(121)에 60Hz의 반복 주파수가 입력되면, 도 3b에 나타내는 바와 같이 마이크로 컴퓨터(122)로부터 D/A 컨버터(123)를 통하여 채널 1과 채널 2의 신호가 양쪽 모두 시간을 어긋나게 주기적으로 A/D 컨버터(124)로 송신된다.

[0093] 신호 처리부(125)는, 마이크로 컴퓨터(122)로부터 송신된 채널 1을 선택하기 위한 채널 전환 신호에 따라, 타이밍 A(채널 1)와 신호 수신을 동기시킴으로써, A/D 컨버터(124)로부터 송신된 채널 1과 채널 2의 신호로부터 채널 1의 신호를 선택한다. 채널 1의 신호를 선택한 신호 처리부(125)는, 펄스 발생기(108)로부터 60Hz의 펄스 파형을 발생시켜, 60Hz의 반복 주파수의 시간 변조된 간헐적인 고주파 전력을 고주파 바이어스 전원(114)으로부터 출력한다.

[0094] 또, 신호 처리부(125)의 채널 선택의 다른 방법으로서, 도 4b에 나타내는 바와 같이, A/D 컨버터(124)에 복수의 입출력 단자(이하 포트라고 한다)가 있는 경우, 채널 전환 신호에서 어느 채널을 선택하는지 판단하고, 특정한 포트의 신호를 채용하는 방법이어도 된다. 예를 들면, 60Hz의 반복 주파수의 경우, 포트 1을 선택하도록 신호 처리부(125)에 판단시키면 된다(도 4b).

[0095] 또, 사용하는 채널만을 마이크로 컴퓨터(122)로부터 D/A 컨버터(123)를 통하여, A/D 컨버터(124)로 송신해도 된다. 예를 들면, 10Hz의 반복 주파수를 설정하는 경우, 채널 1의 신호만을 송신하고, 채널 2의 신호는 송신하지 않도록 한다. A/D 컨버터(124)가 도 4b와 같은 구성의 경우, 신호 처리부(125)가 포트의 수신 신호의 유무를 판정함으로써, 포트 1에는 신호 있음, 포트 2에는 신호 없음의 상태이면, 신호 처리부(125)는, 포트 1, 즉 채널 1을 선택할 수 있다. 이 경우, 채널 전환 신호는 필요 없기 때문에, 도 5의 구성이어도 된다.

[0096] 그러나, 예칭 처리는, 복수 단계에서 연속으로 처리하는 경우가 있어, 각 단계 사이에서 다른 주파수 대역의 주파수(다른 채널)를 사용하는 경우에는, 송신의 타이밍을 어긋나게 한 상태에서 항상 주기적으로, 다른 채널의 신호를 송신한 상태에서, 전환 신호에 의해 채널을 선택하는 방법(도 4b)이 전환 신호가 불필요한 방법보다, 채널의 변경을 신속하게 행하는 것이 가능하기 때문에, 도 4b와 같은 채널 선택 방법이 적합하다.

[0097] 다음으로, 본 실시예에서의 채널 1과 채널 2의 주파수 분해능에 대하여 설명한다.

[0098] 통상, D/A 컨버터(123) 및 A/D 컨버터(124)의 처리 능력과 주파수 대역의 범위에 의해 주파수 분해능이 결정된다. 12비트의 D/A 컨버터(123) 및 A/D 컨버터(124)의 경우, 4096디지트의 신호를 취급할 수 있다. 디지털인 2진수의 자리수이다. 이 경우, 아날로그 신호가 $\pm 10V$ 의 범위에서 4096종류의 신호의 값을 취급할 수 있게 된다. 아날로그 신호는 일반적으로 0~10V가 사용되기 때문에, 2048종류의 신호의 값을 취급할 수 있게 된다. 본 실시예에서는, 채널 1의 반복 주파수의 사용 범위가 1~119Hz이기 때문에, 약 0.058Hz의 분해능이 된다. 또, 채널 2의 반복 주파수의 사용 범위가 120~2000Hz이기 때문에, 약 0.92Hz의 분해능이 된다.

[0099] 또, 아날로그 신호의 사용 범위가 10V에서 2048디지트의 신호를 취급할 수 있기 때문에, 1디지트는 약 4.9mV에 상당한다. 즉, 아날로그 신호가 약 4.9mV이면, 채널 1의 경우에는, 약 0.058Hz의 반복 주파수, 채널 2의 경우에는, 약 0.92Hz의 반복 주파수를 나타내게 된다. 이 때문에, 아날로그 신호에 4.9mV의 오차가 발생하면, 채널 1의 경우에는, 약 0.058Hz의 오차, 채널 2의 경우에는 약 0.92Hz의 오차가 생기게 된다.

[0100] 예를 들면, 반복 주파수가 10Hz(채널 1)이고 듀티비가 10%인 경우, 오프 시간은 90ms가 된다. 아날로그 신호에 약 0.05%(5mV)의 노이즈가 발생한 경우, 융통반복 주파수에 약 0.058Hz 이상의 오차가 생기게 된다. 반복 주파수가 10.058Hz이고 듀티비가 10%인 경우, 오프 시간은 89.5ms가 되며, 오차는 불과 0.56%이다. 또, 반복 주파수가 1000Hz(채널 2)이고 듀티비가 10%인 경우, 오프 시간은 0.9ms가 된다. 노이즈에 의해 아날로그 신호에 약 0.05%(5mV)의 노이즈가 발생한 경우, 약 1001Hz의 신호로서 처리되게 되지만, 오프 시간은 0.899ms이며 오차는 0.001ms가 되어, 0.1%의 오차밖에 되지 않는다.

[0101] 따라서, 본 실시예는, 상기 서술한 바와 같이, 반복 주파수의 사용 주파수 범위를 분해능의 정밀도가 요구되는

주파수 대역과 분해능의 정밀도가 그다지 요구되지 않는 주파수 대역으로 분할함으로써, 반복 주파수의 광범위한 주파수 대역에 있어서, 반복 주파수를 고정밀도로 제어할 수 있다.

[0102] 또, 본 실시예에서는 반복 주파수의 설정 단위를 1Hz로 하고 있기 때문에, 채널 1의 주파수 대역을 선택한 경우, 1Hz에 약 20디지트를 할당할 수 있고, 노이즈 등에 의한 오차를 배제하는 것을 가능하게 하고 있다.

[0103] 또, 채널 1의 분해능은, 0.058Hz이기 때문에, 채널 1의 반복 주파수의 설정 단위를 1Hz 이하로 하여 제어하는 것은 가능하다.

[0104] 또, 본 실시예에서는, 반복 주파수의 주파수 대역을 2개로 분할한 예를 들었지만, 2개 이상으로 분할해도 된다. 분할 수를 증가시킬수록, 각 주파수 대역의 분해능을 향상시킬 수 있다.

[0105] 또, 본 실시예에서는, 반복 주파수의 주파수 대역을 2개로 분할한 예를 들었지만, 도 6b에 나타내는 바와 같이, 2개 이상의 다른 주파수 대역을 조합함으로써, 반복 주파수의 사용 주파수 범위를 넓혀도 된다. 이처럼, 다른 주파수 대역을 조합함으로써, 반복 주파수의 사용 주파수 범위를 넓히는 것에 의해, 각각의 주파수 대역의 정밀도를 향상시킬 수 있다.

[0106] 또한, 본 실시예에서는, 아날로그 전압값을 0~10V의 사용 범위로 하였지만, 임의의 사용 범위에서도 분해능 향상 효과는 동등하기 때문에, 아날로그 전압값의 사용 범위가 임의의 전압 범위에서도 본 발명은 적용 가능하며, 본 발명에서 동일한 효과가 얻어진다.

[0107] 또, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력의 온 시간이 짧은 경우에는, 고주파 바이어스 전력의 매칭이 곤란해진다는 문제가 있다. 온 시간은 듀티비와 반복 주파수에 의해 규정되지만, 듀티비가 20% 이하와 같은 낮은 듀티비인 경우, 채널 2의 고주파 대역의 반복 주파수는 온 시간이 너무 짧아지기 때문에, 고주파 바이어스 전력을 시료 재치용 전극(111)에 인가할 수 없게 되는 경우가 있다. 이 때문에, 채널 2의 주파수 대역의 반복 주파수를 사용하는 경우에는, 듀티비를 20%이상으로 사용하는 것이 바람직하다.

[0108] 다음으로, 본 실시예에 관련된 마이크로파 ECR 플라즈마 에칭 장치를 사용하여, 웨이퍼(112)에 에칭 처리를 실시하는 플라즈마 처리 방법에 대하여 설명한다.

[0109] 또, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 반복 주파수의 사용 주파수 범위가, 2개의 주파수 대역으로 분할되어, 채널 1(1~119Hz)과 채널 2(120~2000Hz)의 2개의 주파수 대역으로 구성되어 있는 경우의 플라즈마 처리 방법에 대하여 설명한다.

[0110] 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스는 반응 생성물 농도를 제어하고, 에칭 성능을 제어하는 것에 사용되지만, 오프 시간이 반응 생성물의 체재 시간과 동등한 정도일 때, 특히 큰 효과가 얻어진다. 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 온 시간의 기간은 에칭이 진행되며, 반응 생성물이 계속해서 발생한다. 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스가 오프되면, 에칭은 진행되지 않게 되며, 반응 생성물은 배기된다. 일반적인 플라즈마 에칭 장치의 경우, 처리 압력(0.1Pa~10Pa)에서는 반응 생성물의 체재 시간은 10ms~1000ms이다.

[0111] 일례로서, 반응 생성물의 체재 시간이 80ms인 경우를 설명한다. 연속 고주파 바이어스에서는 반응 생성물 농도는 에칭 개시 시보다 단조로이 증가해간다. 반응 생성물의 체재 시간을 80ms, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 온 시간을 10ms, 오프 시간을 10ms로 한 경우의 반응 생성물 농도의 에칭 처리 시간 의존성을 도 7(a)에 나타낸다. 오프 시간이 반응 생성물의 체재 시간과 비교하여 짧은 경우에는, 반응 생성물이 잔류하기 때문에, 반응 생성물 농도는 시간의 경과와 함께 증가해간다.

[0112] 다음으로, 반응 생성물의 체재 시간을 80ms, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 온 시간을 10ms, 오프 시간을 80ms로 하고, 반응 생성물의 체재 시간과 오프 시간을 동일하게 했을 때의 반응 생성물 농도의 에칭 처리 시간 의존성을 도 7(b)에 나타낸다. 온 시간 내에 발생한 반응 생성물은 오프 시간에 배기되어, 잔류하지 않기 때문에, 반응 생성물 농도가 낮은 상태를 만들어 내는 것이 가능하다. 오프 시간을 반응 생성물의 체재 시간 이상으로 함으로써, 반응 생성물 농도를 낮출 수 있다.

[0113] 다음으로, 도 8b에 듀티비를 20%로 고정하고, 실리콘 질화막의 라인을 에칭한 경우의 반복 주파수에 대한 라인의 에칭 형상의 테이퍼 각도의 의존성을 나타낸다. 반복 주파수가 낮아질수록, 에칭 형상이 수직에 가까워진다. 반복 주파수와 듀티비에 의해, 오프 시간이 규정되지만, 도 8b의 결과는, 오프 시간이 길어짐에 따라, 반응 생성물 농도가 낮아져, 반응 생성물의 부착이 적어졌기 때문이다.

[0114] 도 8b의 반복 주파수에 대한 테이퍼 각도의 의존성을, 오프 시간에 대한 테이퍼 각도의 의존성으로 바꿔 쓴 것

이 도 8c이지만, 도 8c로부터, 오프 시간을 길게 함으로써 테이퍼 각도를 제어하는 것이 가능한 것을 알 수 있다. 특히, 오프 시간이, 10~1000ms의 범위에서 수직인 에칭 형상을 얻을 수 있다.

[0115] 이와 같이, 오프 시간을 반응 생성물의 체제 시간 이상으로 함으로써, 반응 생성물 농도를 감소시킬 수 있다. 오프 시간을 길게 하기 위해서는, 반복 주파수를 낮게 하고, 또한, 듀티비를 낮게 할 필요가 있다. 예를 들면, 도 7(b)는, 반복 주파수가 11.1Hz, 듀티비가 11.1%의 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력을 시료 재치용 전극(111)에 인가하여 웨이퍼(112)를 플라즈마 에칭한 예이다.

[0116] 따라서, 본 실시예는, 오프 시간을 길게 할 수 있는 저주파의 반복 주파수 대역에서도, 정밀도 높은 주파수 제어가 가능하기 때문에, 반응 생성물 농도를 고정밀도로 제어할 수 있다. 이 때문에, 에칭 형상을 고정밀도로 제어할 수 있다.

[0117] 또, 피에칭막의 종류나 대상 에칭 공정, 에칭 조건 등에 따라서는, 고주파의 반복 주파수 대역을 사용할 필요가 있는 경우가 있다. 그러나, 고주파의 반복 주파수의 경우에는, 온 시간 및 오프 시간이 매우 짧기 때문에, 저주파에 비해 주파수 분해능은 그다지 높지 않아도 되는 경우가 많다.

[0118] 또, 에칭 공정은 여러가지 종류가 있고, 공정에 따라서는, 수직 가공이 아니라, 테이퍼 형상이 필요한 경우가 있다. 일례로서는, 소자 분리부(Shallow Trench Isolation: STI, 이하, STI라고 칭한다)의 에칭이 있다. STI 에칭 후에는, 매립을 하기 위하여, 대체로, 테이퍼 형상이 필요해진다. 테이퍼 형상으로 가공할 때, 도 8b에 나타나 있는 바와 같은 에칭 특성을 가지는 경우에는, 반복 주파수를 높게 하면 된다. 이처럼 반도체 제조의 여러 공정에 널리 대응하기 위해서는, 반복 주파수는 광범위하게 사용할 수 있는 것이 바람직하다.

[0119] 또, 상기 서술한 플라즈마 처리 방법은, 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스의 반복 주파수의 사용 주파수 범위가, 2개의 주파수 대역으로 분할된 예를 들었지만, 반복 주파수의 사용 주파수 범위가 2개 이상으로 분할되어 있는 경우에서도, 상기 서술한 플라즈마 처리 방법과 동일한 효과를 얻을 수 있다.

[0120] 또, 반복 주파수의 사용 주파수 범위가 2개 이상의 다른 주파수 대역의 조합으로 이루어지는 경우에서도, 상기 서술한 플라즈마 처리 방법으로 동일한 효과를 얻을 수 있다.

[0121] 본 발명은, 상기 서술한 바와 같은 구성을 구비하기 때문에, 광범위한 주파수 대역에서 고정밀도로 제어된 반복 주파수의 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력을 재치용 전극에 공급할 수 있으므로, 다양한 에칭 공정에 있어서, 정밀도 높은 에칭 가공이 가능하다.

[0122] 또, 상기 서술의 실시예에서는, 반복 주파수의 주파수 대역의 복수 채널의 전환은, 채널 전환 신호를 사용했지만, 고주파 바이어스 전원을 복수 사용하는 방법이어도 된다. 예를 들면, 도 9에 나타내는 바와 같이, 2개의 채널의 경우, 각각, 다른 주파수 대역의 반복 주파수의 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력을 출력하는 고주파 전원을 2개 설치하고, 고주파 전원 선택 신호에 의해 제1 고주파 전원(127)과 제2 고주파 전원(128)을 전환함으로써, 광범위한 주파수 대역에서 고정밀도로 제어된 반복 주파수의 시간 변조된 간헐적인 고주파 바이어스 전력을 재치용 전극에 공급할 수 있다.

[0123] 또, 도 10에 나타내는 바와 같이, 상기의 복수의 고주파 전원 대신, 다른 주파수 대역의 반복 주파수의 펄스 파형을 각각 발생시키는 복수의 펄스 발생기[제1 펄스 발생기(129), 제2 펄스 발생기(130) 등]를 고주파 바이어스 전원에 설치해도 된다.

[0124] 다음으로, 반복 주파수의 광범위한 주파수 대역에 있어서, 반복 주파수를 고정밀도로 제어하며, 실시예 2와는 다른 실시예에 대하여, 이하, 설명한다.

실시예 3

[0125] 도 8b에서는 작은 반복 주파수에서는 크게 테이퍼 각도는 변화되고, 큰 반복 주파수에서는 테이퍼 각도의 변화는 적다. 이러한 경우, 1~10Hz까지는 1Hz마다 설정, 10~100Hz까지는 10Hz마다 설정, 100~1000Hz까지는 100Hz마다 설정으로 함으로써 설정할 수 있는 수치를 한정하고, 정밀도를 높일 수 있다. 이 방법에서는, 설정할 수 있는 주파수의 수가 많아질수록 정밀도는 저하되며, 또한 설정의 자유도가 적다.

[0126] 그래서 기본 주파수를 사용하는 방법을 개발하였다. 그 실시예를 이하 설명한다. 도 5에 나타나 있는 바와 같은 구성에 있어서, 제어 터미널(122)의 퍼스널 컴퓨터(121)에는 반복 주파수가 입력된다. 이 반복 주파수는 퍼스널 컴퓨터(121) 내에서 기본 주파수와 N배값으로서 계산되어, 마이크로 컴퓨터(122)로 보내진다. 본 실시예에서는, 기본 주파수를 0~100Hz로 하고, 1Hz마다 설정하는 것으로 하였다. N배값은 본 실시예에서는, 1, 10,

100으로 하였다.

- [0127] 상기 서술한 바와 같이 본 실시예의 12비트의 D/A 컨버터(123) 및 A/D 컨버터(124)의 경우, 4096디지트의 신호를 취급할 수 있다. 아날로그 신호는 본 실시예에서는 0~10V로 되어 있고, 2048 종류의 신호의 값을 취급할 수 있게 된다. 기본 주파수가 0~100Hz이고 1Hz마다 설정할 수 있는 경우, 1디지트당의 기본 주파수는 약 0.05가 되고, 1 마다의 기본 주파수 설정이기 때문에, 20디지트를 할당할 수 있다.
- [0128] 1 디지트는 4.9mV이기 때문에, 기본 주파수는 1Hz마다 설정의 경우, 98mV가 할당된다. N배값은 1, 10, 100의 3종류이며, 3분할하면 되고, 아날로그 전압, 할당 디지트 함께 분해능은 충분히 높다. 기본 주파수와 N배값의 곱을 반복 주파수로 하는 방식을 취함으로써 본 실시예에서는, 반복 주파수가 0~10000Hz에 대응할 수 있다.
- [0129] 설정은 0~100Hz 사이는 1Hz마다, 110~1000Hz 사이는 10Hz마다, 1100~10000Hz 사이는 100Hz마다로 하였다. 상기 서술한 바와 같이 반복 주파수가 높은 경우에서의 에칭 성능의 특성의 반복 주파수에 대한 감도가 낮은 경우, 높은 반복 주파수가 될수록, 설정 피치를 크게 하여도 영향은 적기 때문이다. 또, 본 실시예에서는 분해능은, 0~100Hz 사이는 0.05Hz, 110~1000 사이는 0.5Hz, 1100~10000Hz 사이는 5Hz가 되고, 설정 피치와 비교하여 충분히 작기 때문에, 아날로그 신호가 노이즈의 영향을 받을 가능성은 적다.
- [0130] 예를 들면 0~100Hz 사이는, 1Hz의 설정 피치로, 1Hz에 20디지트의 할당이 되기 때문에, 1Hz에 98mV의 할당이 된다. 즉, 노이즈에서 98mV 이상 어긋나는 일이 없으면, 1Hz의 오차는 생기지 않는다. 종래 방식으로 반복 주파수가 0~10000Hz에 대응한 경우, 1디지트는 4.9Hz가 되고, 노이즈가 4.9mV이며 4.9Hz 어긋난다. 본 실시예의 방법에서 노이즈의 영향을 대폭 경감시키는 것이 가능해진다. 이하 설정의 구체적인 예를 설명한다.
- [0131] 반복 주파수로서, 1000Hz가 입력된 경우에 대하여 설명한다. 도 5의 퍼스널 컴퓨터(121)에 1000Hz가 입력된 경우에는 기본 주파수는 100Hz, N배값은 10이 된다. 1000Hz를 설정할 때, 기본 주파수를 10Hz, N배값을 100으로 하는 방법도 있지만, 기본 주파수가 우선된다. N배값은 설정값의 피치나 설정 범위를 조건이나 하드웨어에 의해 설정 변경할 수 있도록 하기 위하여, 소프트웨어의 프로그램을 간결하게 하기 위해서는 기본 주파수를 우선하는 편이 좋다.
- [0132] 또, N배값이 1밖에 필요하지 않는 경우에는, 이 신호선을 사용할 필요가 없어져, 하드웨어의 간소화를 도모할 수 있지만, 이 경우에도 소프트웨어의 변경 없이 대응할 수 있기 때문에, 기본 주파수를 우선하는 편이, 소프트웨어의 범용성도 높다.
- [0133] 퍼스널 컴퓨터(121) 내에서 계산된 기본 주파수와 N배값이 D/A 컨버터(123)를 경유하고, 도 14와 같이 고주파 전원(114) 내의 A/D 컨버터(124)에 입력된다. 고주파 전원(114) 내의 신호 처리부에서 기본 주파수와 N배값을 곱하는 계산을 행하고, 반복 주파수를 결정한다.
- [0134] 또, 도 2나 도 10에 나타내는 채널 전환 신호로서, N배값을 사용할 수도 있다. 기본 주파수를 0~100Hz로 하고, N배값을, 1, 100으로 한 경우, 채널 1을 N배값이 1, 채널 2를 N배값이 100으로 설정해 둬으로써, 신호 처리부(125)에서 기본 주파수와 N배값으로부터 반복 주파수를 계산할 수 있다. 또, N배값의 설정 수는 몇 개여도 된다.
- [0135] 상기 서술한 바와 같이 N배값이 1, 100으로 2개인 경우에는 채널 전환 신호가 2종류가 되기 때문에, 신호의 온 상태를 N배값이 1, 오프 상태를 N배값이 100으로 하는 것이 가능해진다. 이 경우, 아날로그 신호가 아니라, 디지털 신호로서 처리하는 것이 가능해지며, N배값에 관한 분해능을 대폭 개선할 수 있다.
- [0136] 본 실시예는, 반복 주파수의 분해능을 향상시키기 위하여 행한 것이지만, 동일한 수단을 듀티비나 온 시간, 오프 시간에 대하여 적용할 수 있고, 듀티비나 온 시간, 오프 시간의 분해능 향상도 가능해진다. 또, 본 실시예에 있어서의 기본 주파수나 N배값은 정수가 아니어도 된다.
- [0137] 다음으로, 본 발명에 관련된 플라즈마 처리 장치를 사용하여 다층막을 플라즈마 에칭하는 플라즈마 처리 방법에 대하여 이하 설명한다.

실시예 4

- [0138] 본 실시예를 도 16을 참조하면서 설명한다. 도 16에 나타내는 바와 같이 밑에서부터 Poly-Si막, SiO₂막, 아몰퍼스 탄소막, SiN막, BARC막이 순차적으로 적층된 다층막과, 상기 다층막 상에 배치되고, 미리 패터닝된 레지스트 마스크를 가지는 시료를 플라즈마 에칭하는 경우, 이하와 같이 행한다.

- [0139] 우선 BARC막을 연속적인 고주파 바이어스 전력(Continuous Wave Radio Frequency Bias Power: 이하, CW라고 칭한다)에 의해 에칭하고, SiN막을 영역 A를 사용한 시간 변조된 고주파 바이어스 전력에 의해 에칭한다.
- [0140] 다음으로, 아몰퍼스 카본막과 SiO₂막을 각각, 영역 B, 영역 C를 사용한 시간 변조된 고주파 바이어스 전력에 의해 에칭한다. 마지막으로, Poly-Si막을 CW에 의해 에칭하고, 이어서, 영역 D, 영역 C를 순차적으로 사용한 시간 변조된 고주파 바이어스 전력에 의해 에칭한다.
- [0141] 또한, 도 15에 나타내는 바와 같이, 영역 A는, 저반복 주파수(예를 들면, 1에서부터 100Hz의 반복 주파수)이면서 저듀티비(예를 들면 10% 이하의 듀티비)보다 높은 듀티비의 영역으로 하고, 영역 B는, 저반복 주파수보다 높은 반복 주파수이면서 저듀티비보다 높은 듀티비의 영역으로 한다. 또, 영역 C는, 저반복 주파수이면서 저듀티비의 영역으로 하고, 영역 D는, 저반복 주파수보다 높은 반복 주파수이면서 저듀티비의 영역으로 한다.
- [0142] 이러한 플라즈마 처리를 행함으로써, 밑에서부터 Poly-Si막, SiO₂막, 아몰퍼스 카본막, SiN막, BARC막이 순차적으로 적층된 다층막과, 상기 다층막 상에 배치되며, 미리 패터닝된 레지스트 마스크를 가지는 시료를 원하는 형상으로 정밀도 높은 에칭을 행할 수 있다.
- [0143] 이상, 실시예 1 내지 실시예 4에서 제어 파라미터로서 듀티비와 반복 주파수를 사용하여 설명하였지만, 실시예 1 내지 실시예 4에 관련된 본 발명은, 온 시간과 오프 시간에도 적용할 수 있다. 왜냐하면, 온 시간과 오프 시간을 사용하여 듀티비와 반복 주파수를 구할 수 있기 때문이다.
- [0144] 예를 들면, 온 시간을 제어하여 고주파 전력을 시간 변조하는 경우, 듀티비의 경우와 마찬가지로, 제어 영역을 적어도 2개로 분할하고, 1.0ms 이하의 온 시간을 채널 1, 1.0ms보다 긴 온 시간을 채널 2로 함으로써 정밀도 높은 제어를 할 수 있다. 또, 온 시간과 마찬가지로 오프 시간이나 제어 영역을 복수의 영역으로 분할함으로써 정밀도 높은 제어를 행할 수 있다.
- [0145] 또, 상기 서술한 실시예 1 내지 실시예 4의 고주파 바이어스 전원의 구성은, 플라즈마를 생성하는 고주파 전원에도 적용할 수 있다. 이 때문에, 본 발명은, 광범위한 반복 주파수 대역에서 고정밀도로 제어 가능한 시간 변조된 고주파 전력을, 플라즈마를 생성하는 고주파 전원 또는 고주파 바이어스 전원 중 적어도 어느 하나의 전원으로부터 공급하는 플라즈마 처리 장치이다.
- [0146] 또, 상기 서술한 실시예 1 내지 실시예 4에서는, 마이크로파 ECR 플라즈마를 일 실시예로서 설명하였지만, 용량 결합형 플라즈마나 유도 결합형 플라즈마 등의 다른 플라즈마 생성 방식에 있어서의 플라즈마 처리 장치에 있어서도 실시예 1 내지 실시예 4와 동일한 효과가 얻어진다.

부호의 설명

- | | |
|--------------------|--------------------|
| [0147] 101...진공 용기 | 102 ...샤워 플레이트 |
| 103...유전체창 | 104...처리실 |
| 105 ...가스 공급 장치 | 106...진공 배기 장치 |
| 107...도파관 | 108...펄스 발생기 |
| 109...전자파 발생용 전원 | 110...자장 발생 코일 |
| 111...웨이퍼 재치용 전극 | 112 ...웨이퍼 |
| 113...매칭 회로 | 114 ...고주파 바이어스 전원 |
| 115...고주파 필터 | 116...직류 전원 |
| 117...배기용 개폐 밸브 | 118...배기 속도 가변 밸브 |
| 120 ...제어부 | 121...퍼스널 컴퓨터 |
| 122...마이크로 컴퓨터 | 123...D/A 컨버터 |
| 124...A/D 컨버터 | 125...신호 처리부 |
| 126...고주파 바이어스 출력부 | 127...제1 고주파 전원 |

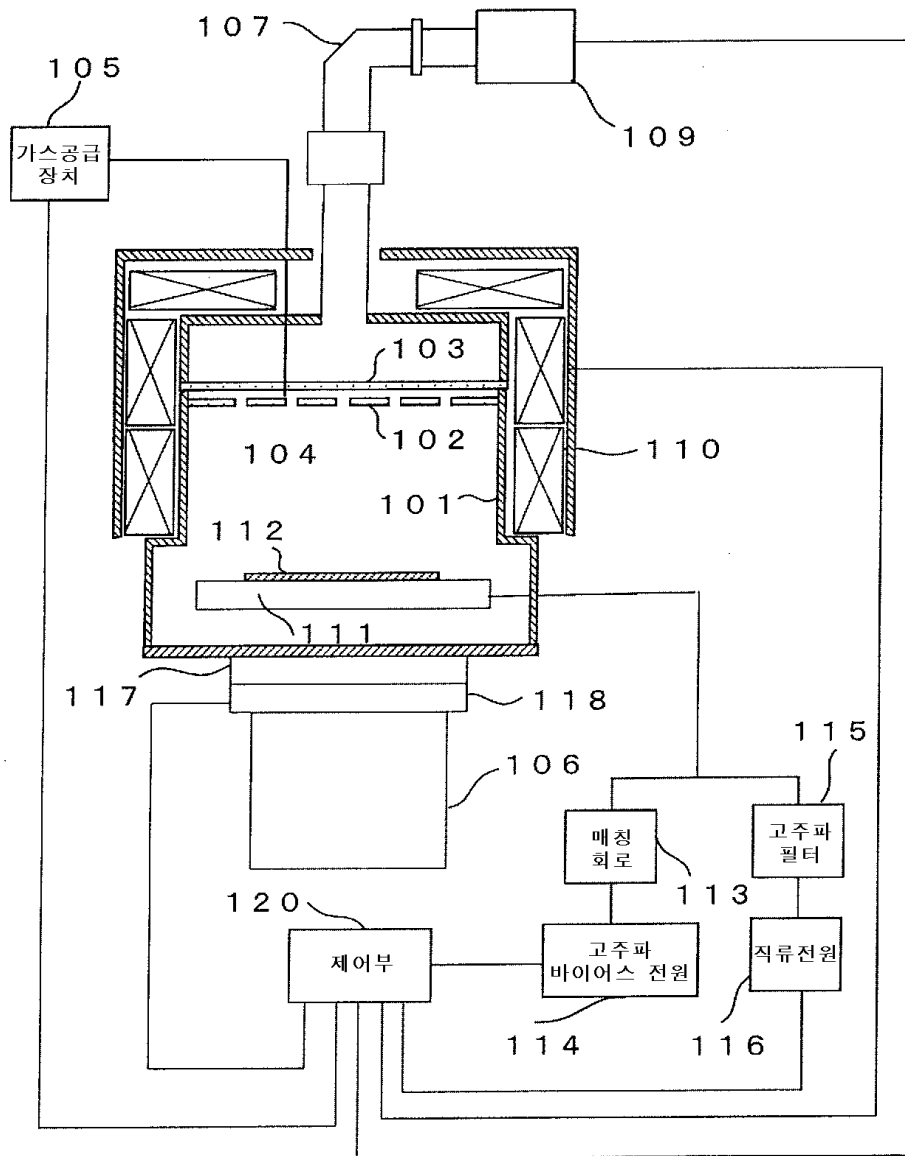
128...제2 고주파 전원

129...제1 펄스 발생기

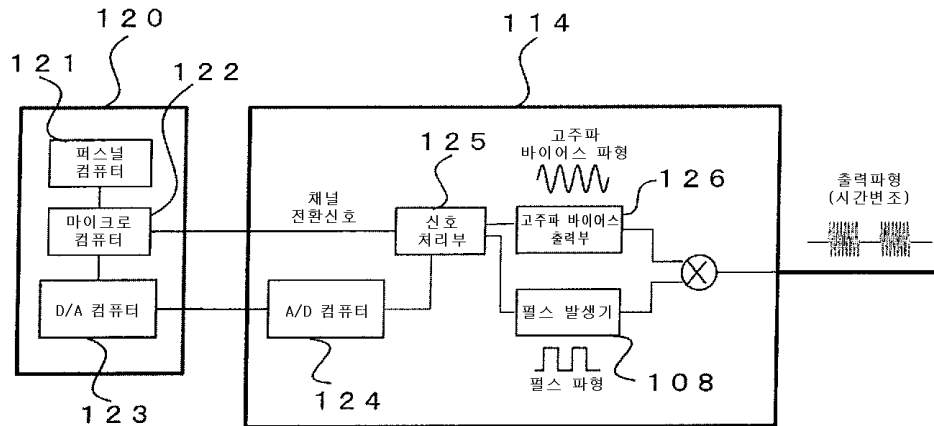
130...제2 펄스 발생기

도면

도면1

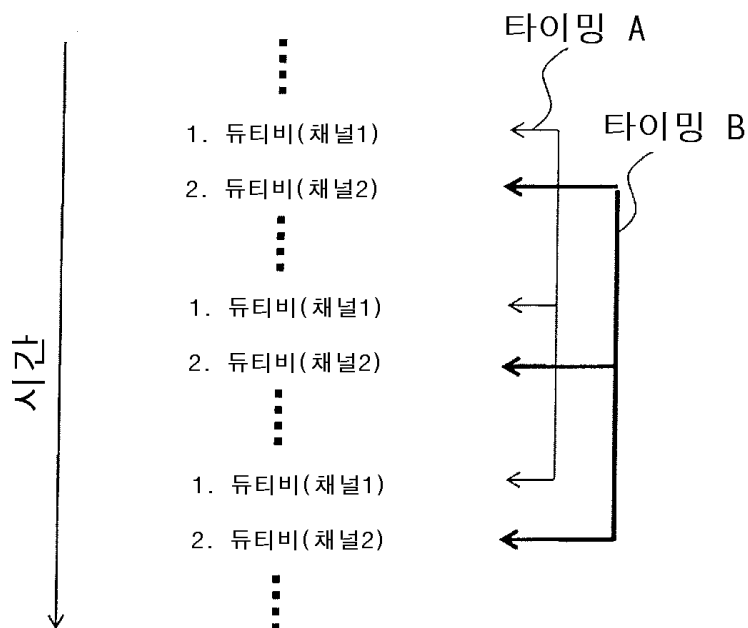


도면2



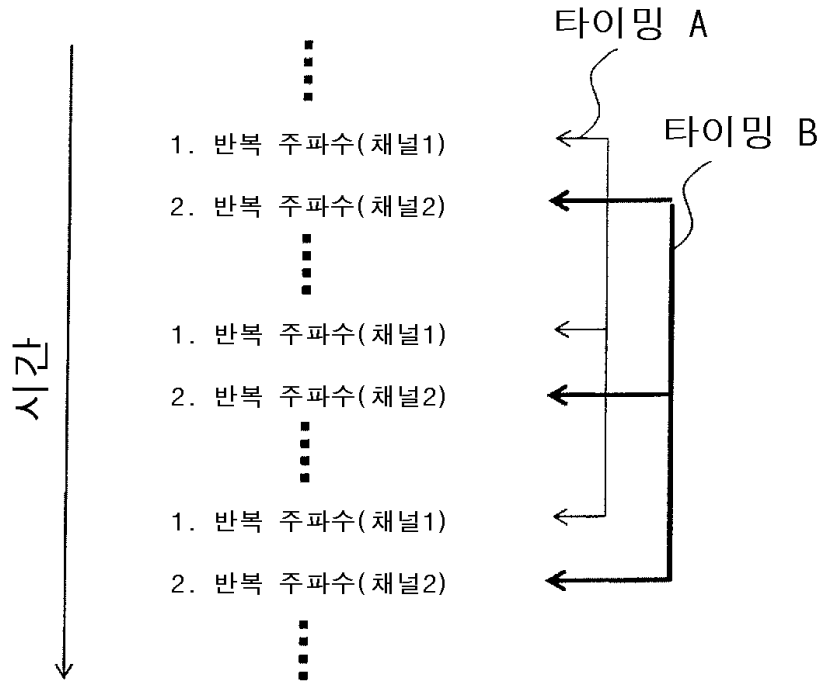
도면3a

아날로그 신호예1

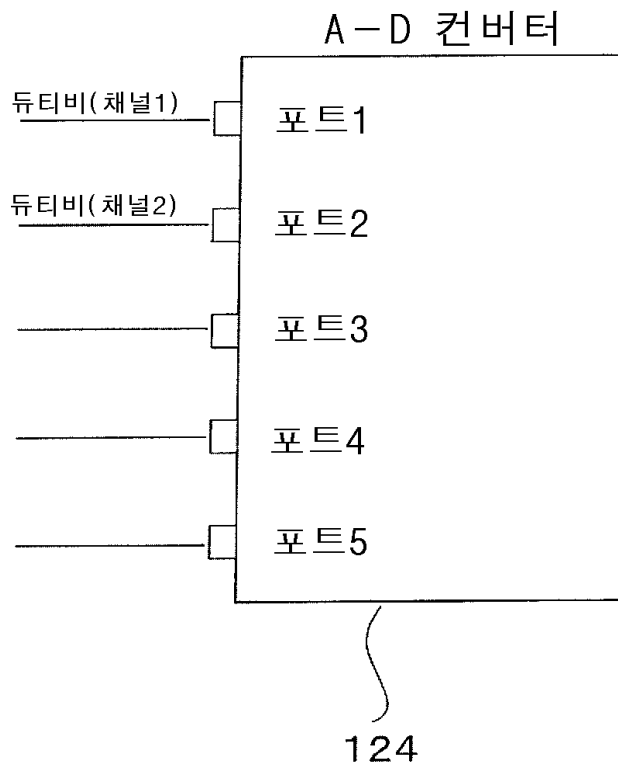


도면3b

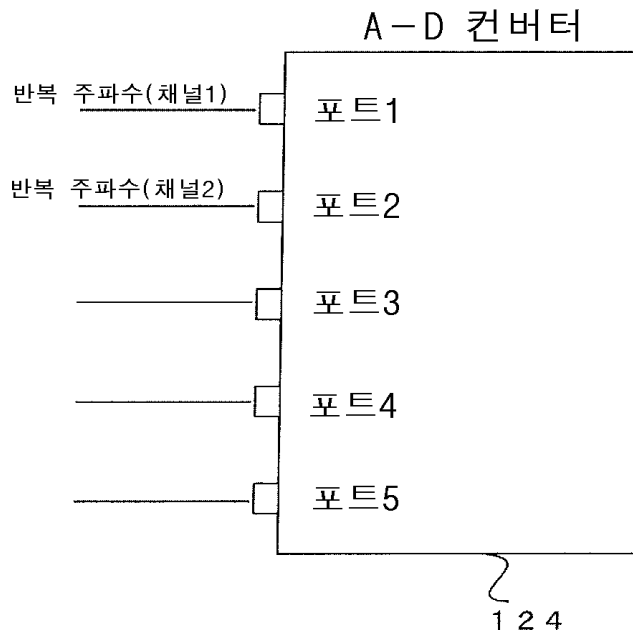
아날로그 신호예1



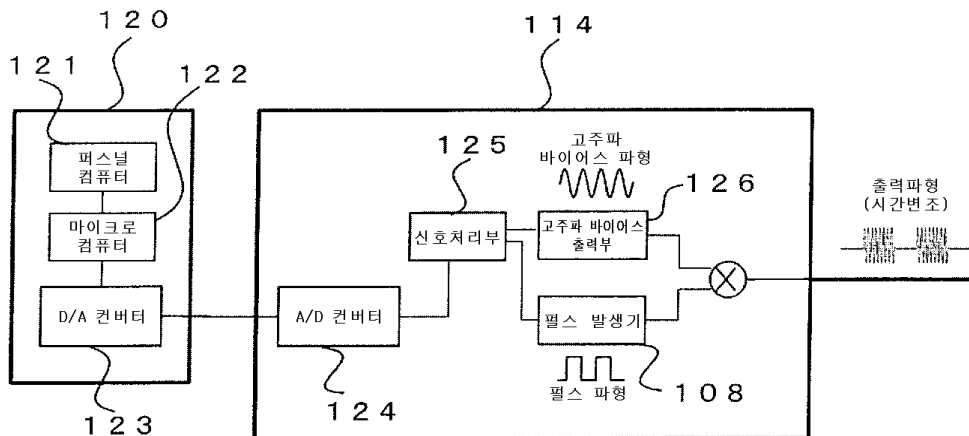
도면4a



도면4b

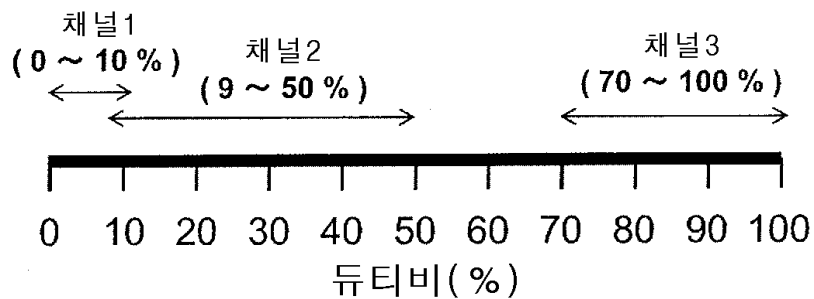


도면5



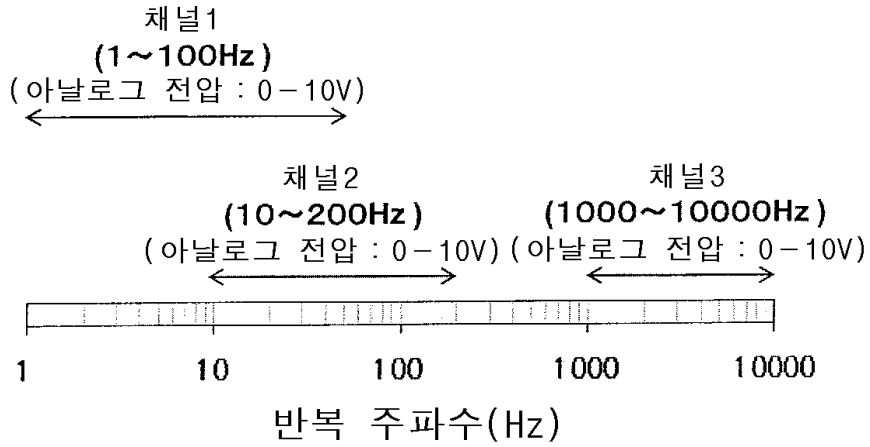
도면6a

사용가능 듀티비(채널) 설정예

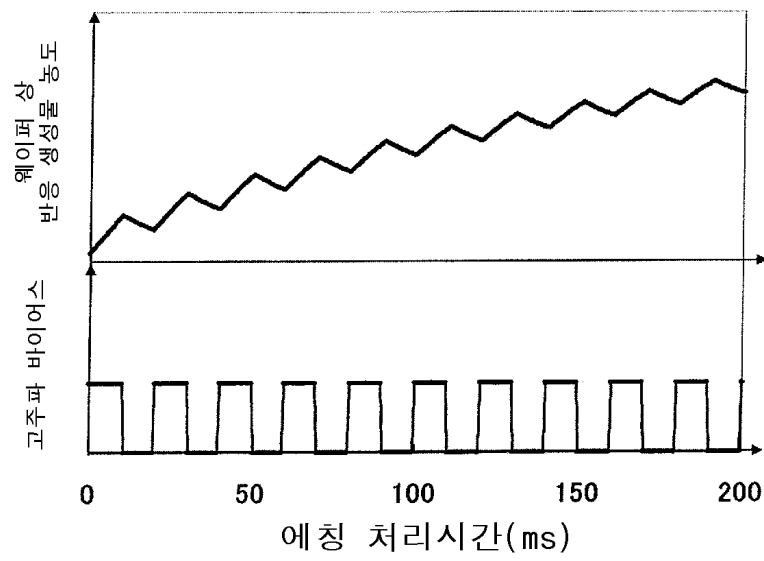


도면6b

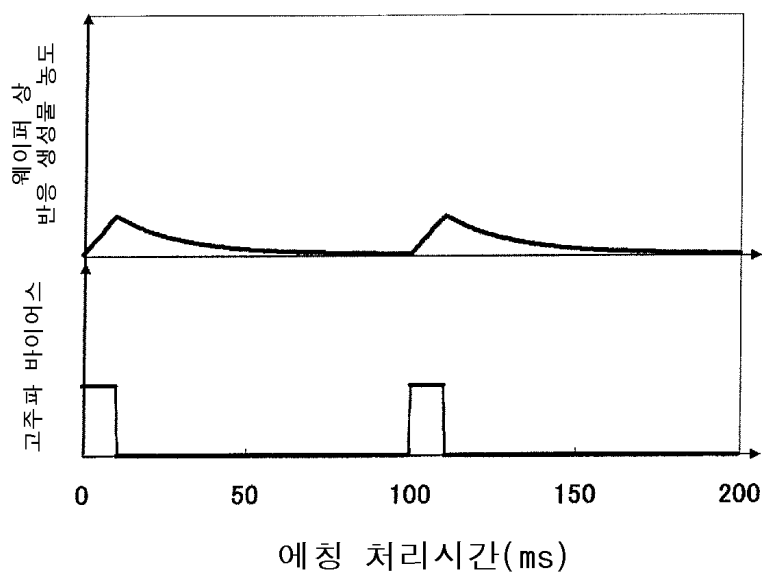
사용가능 반복 주파수(채널) 설정부



도면7

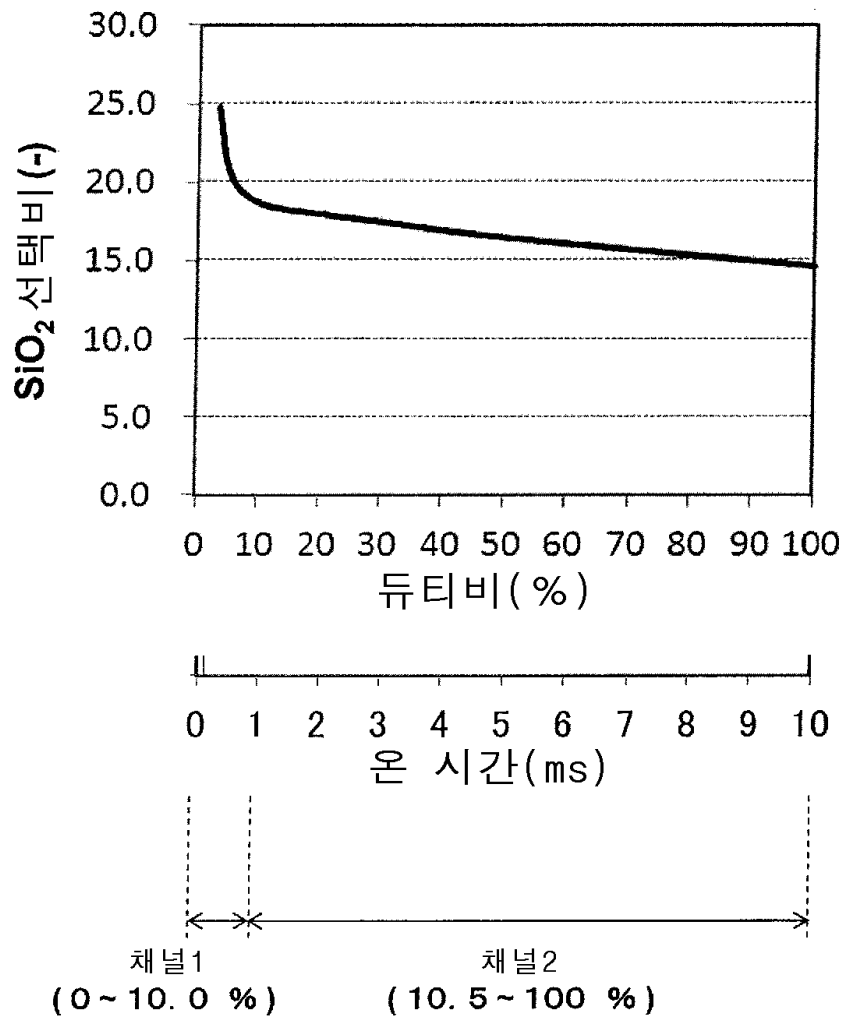


(a)

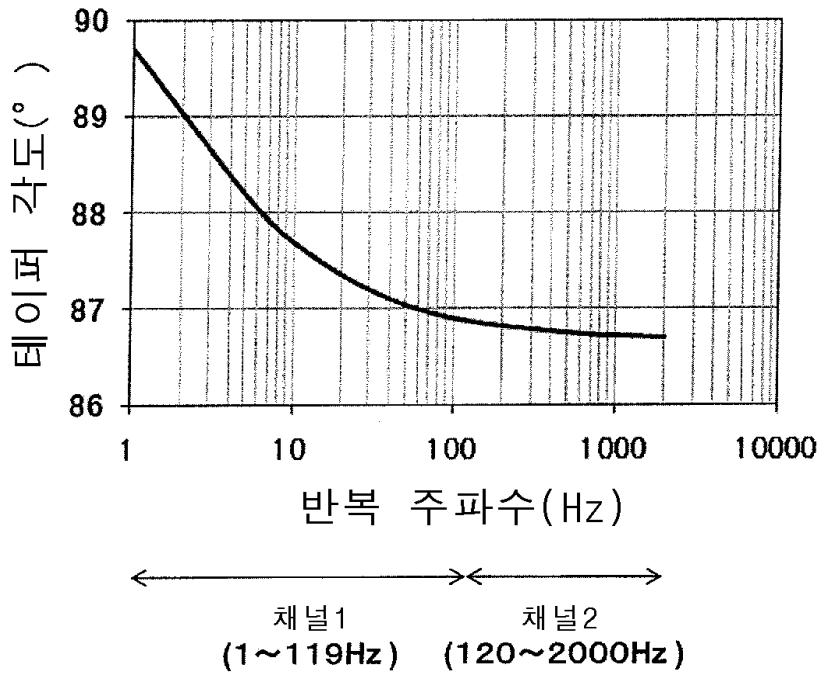


(b)

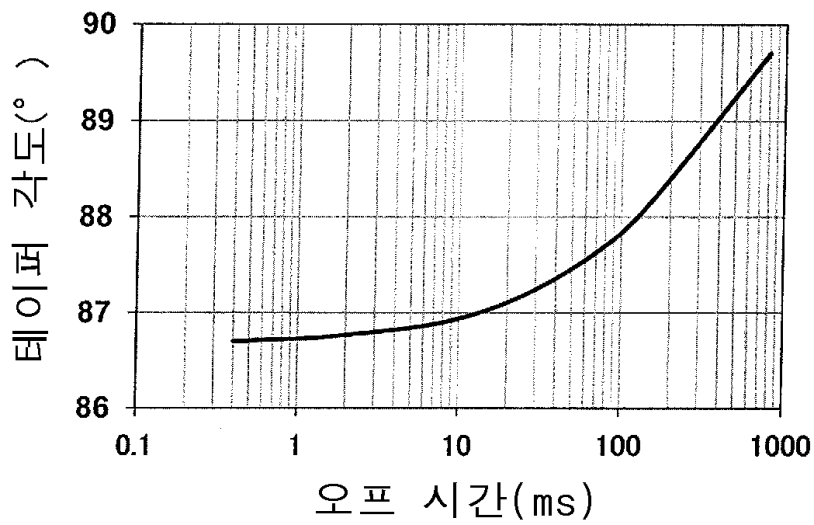
도면8a



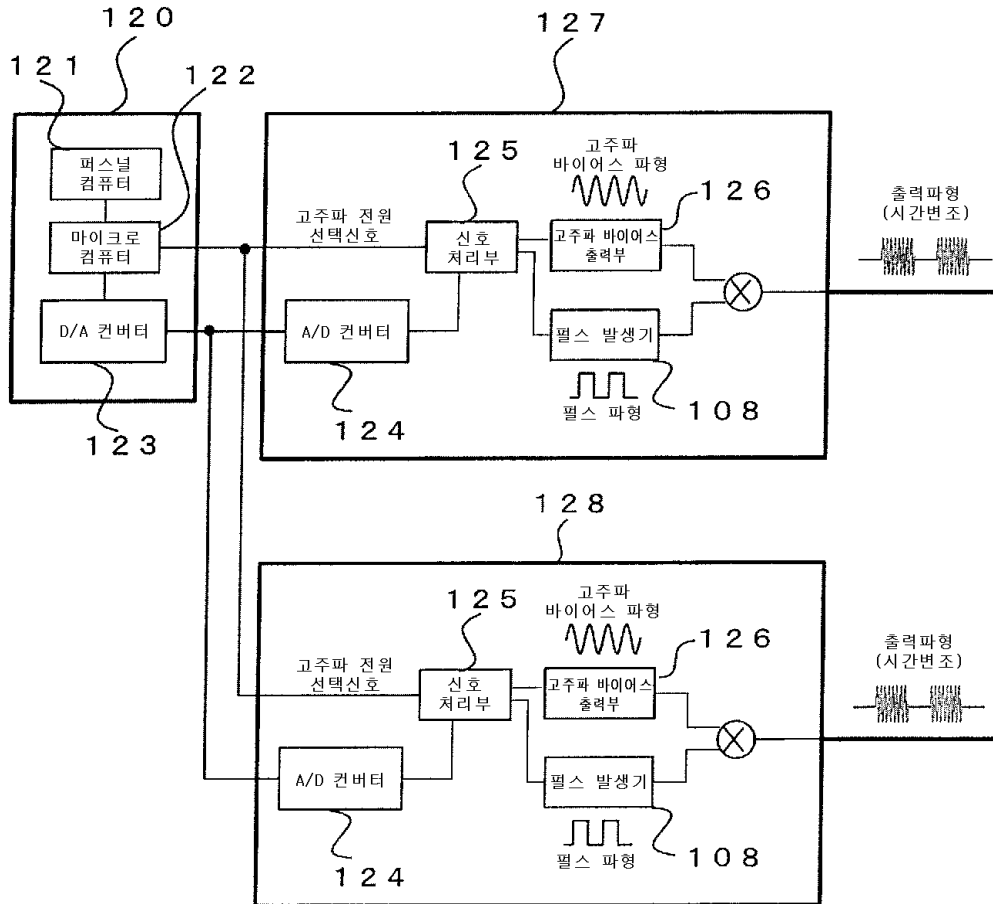
도면8b



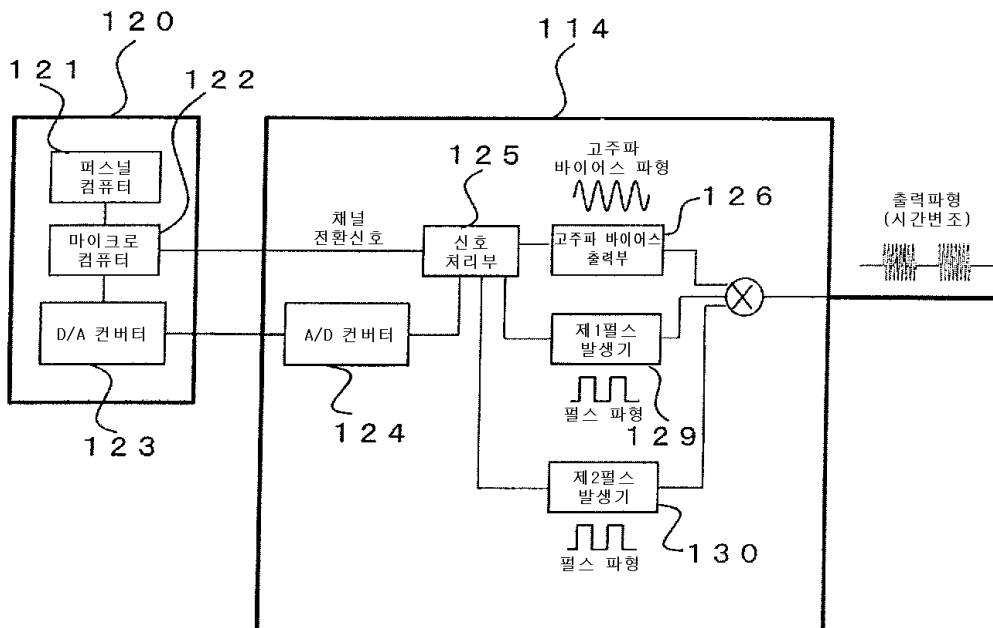
도면8c



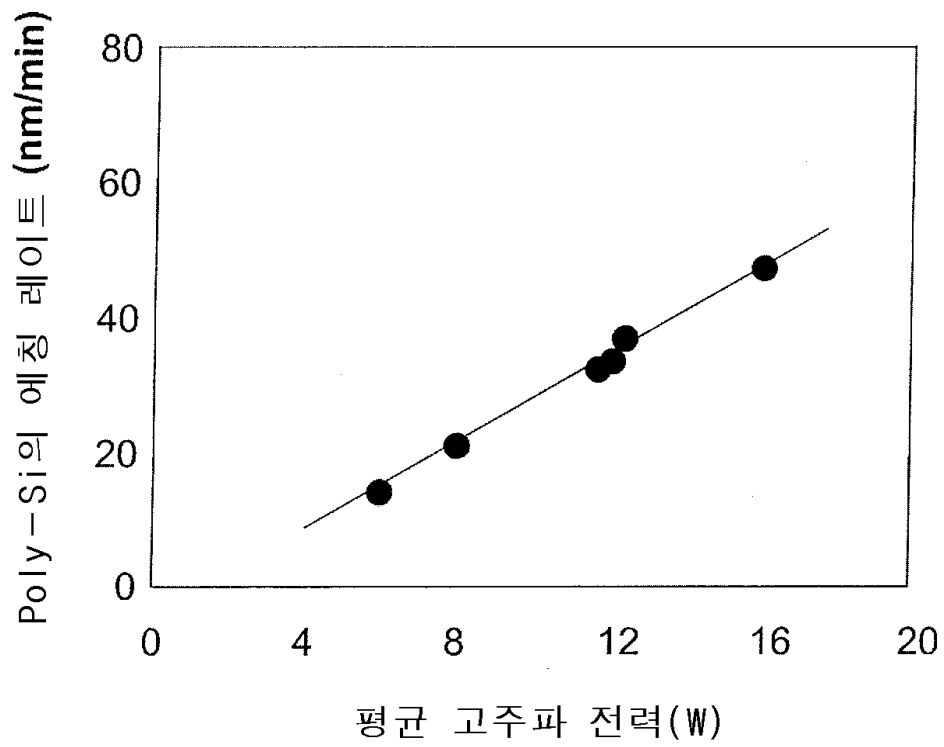
도면9



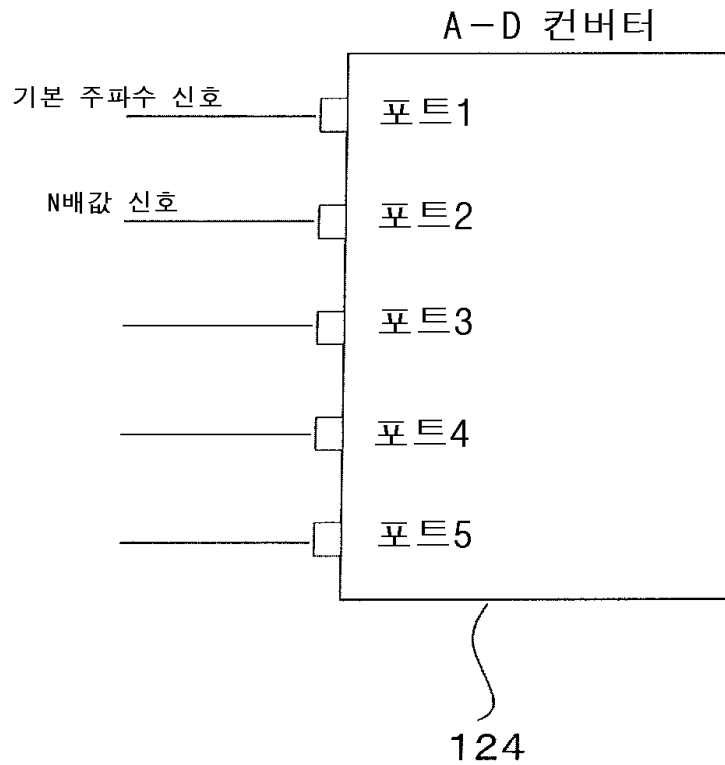
도면10



도면13



도면14



●설정에

기본 주파수 신호 : 0 ~ 100 (1Hz마다 설정)

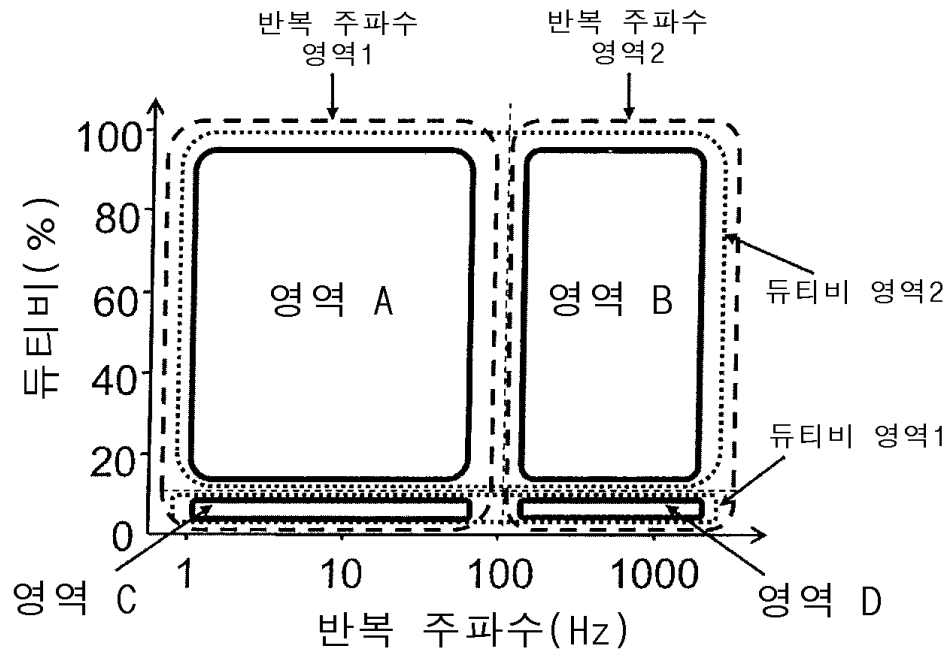
N배값 신호 : 1, 10, 100

반복 주파수 = 기본 주파수값 × N배값

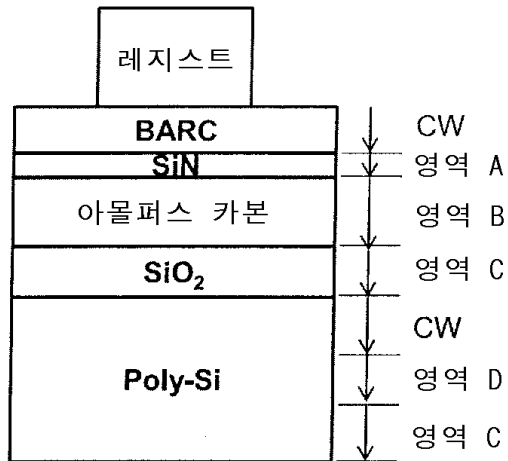
• 듀티비 신호 작성에

$1000\text{Hz} = \text{기본 주파수}(100\text{Hz}) \times \text{N배값}(10)$

도면15



도면16



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 9

【변경진】

듀티비는, 3 제어 범위와

【변경후】

듀티비는, 제3 제어 범위와