



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법으로서,

이온빔을 제공하는 단계와; 그리고

가해지는 다수회 편향된 이온빔을 제공하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계를 포함하며,

상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여 밀링하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계는,

가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가하는 단계와; 그리고

가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 3**

제 2 항에 있어서, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔은 상기 다수회 편향되는 이온빔의 하나의 타입인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계는, 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 빔을 포커싱하여 가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 5**

제 4 항에 있어서, 상기 제공된 이온빔을 포커싱하여 가하는 단계는, 상기 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하는 것의 일부로서 상기 제공된 이온빔을 편향시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계는, 가해지는 추출된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 추출하여 가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 7**

제 2 항에 있어서, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계는, 가해지는 3번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 8**

제 7 항에 있어서, 상기 가해지는 3번 편향된 이온빔은 상기 다수회 편향되는 이온빔의 하나의 타입인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 9**

제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법으로서,

가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가함으로써, 가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하고, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가함으로써, 가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성함으로써, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계를 포함하고,

상기 가해지는 2번 편향된 이온빔은 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔의 하나의 타입인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서, 상기 제공된 빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계는, 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 빔을 포커싱하여 가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서, 상기 제공된 이온빔을 포커싱하여 가하는 단계는, 상기 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하는 것의 일부로서 상기 제공된 이온빔을 편향시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 12**

제 9 항에 있어서, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계는, 가해지는 추출된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 추출하여 가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 13**

제 9 항에 있어서, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계는, 상기 다수회 편향된 이온빔의 다른 타입인 가해지는 3번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 14**

워크피스의 이온빔 밀링의 정도를 결정 및 제어하기 위한 방법으로서,

상기 워크피스의 두께, 상기 워크피스 내의 타겟의 깊이 및 상기 워크피스의 적어도 1개의 표면의 토포그래피로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 상기 워크피스의 적어도 1개의 파라미터의 사전결정된 값들의 세트를 제공하는 단계와;

다음의 주요 단계들, 컴포넌트들 및 기능들: 이온빔을 제공하는 단계와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 제공하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계를 포함하는, 상기 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법을 이용하여, 상기 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 것을 수행하는 단계와, 여기서 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여 밀링하며;

상기 적어도 1개의 파라미터의 측정값들의 세트를 형성하기 위해, 상기 워크피스의 상기 적어도 1개의 파라미터를 인사이츄로 실시간 측정하는 단계와;

상기 측정된 값들의 세트와 상기 제공된 사전결정된 값들의 세트를 비교하여, 이러한 비교와 관련된 차이값들의 세트를 형성하는 단계와; 그리고

상기 차이값들이 사전결정된 범위 내에 있을 때 까지, 상기 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 것을 계속해서 수행하기 위해, 상기 차이값들의 세트를 피드백하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 15**

제 14 항에 있어서, 상기 워크피스의 상기 적어도 1개의 표면의 선택비의 정도는 상기 워크피스의 상기 토포그래피에 대응하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 16**

워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 장치로서,

이온빔을 제공하기 위한 이온빔 소스 어셈블리와; 그리고

가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하며,

상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여, 밀링하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 17**

제 16 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는,

가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 1 이온빔 편향 어셈블리와; 그리고

가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 2 이온빔 편향 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 18**

제 17 항에 있어서, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔은 상기 다수회 편향되는 이온빔의 하나의 타입인 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 19**

제 16 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 포커싱하여 가하는 이온빔 포커싱 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 20**

제 19 항에 있어서, 상기 이온빔 포커싱 어셈블리는, 상기 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하는 것의 일부로서 상기 제공된 이온빔을 편향시키는 이온빔 편향 서브 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 21**

제 16 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 추출된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 추출하여 가하는 이온빔 추출 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 22**

제 17 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 3번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 3 이온빔 편향 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 23**

제 22 항에 있어서, 상기 가해지는 3번 편향된 이온빔은 상기 다수회 편향되는 이온빔의 하나의 타입인 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 24**

제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 장치로서,

가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하며,

상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는,

가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 1 이온빔 편향 어셈블리와; 그리고

상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔의 하나의 타입인 가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 2 이온빔 편향 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 25**

제 24 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하기

위해, 상기 제공된 이온빔을 포커싱하여 가하는 이온빔 포커싱 어셈블리를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 26**

제 25 항에 있어서, 상기 이온빔 포커싱 어셈블리는, 상기 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하는 것의 일부로서 상기 제공된 이온빔을 편향시키는 이온빔 편향 서브 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 27**

제 25 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 추출된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 추출하여 가하는 이온빔 추출 어셈블리를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 28**

제 25 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔의 다른 타입인 가해지는 3번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 3 이온빔 편향 어셈블리를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 29**

워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 시스템으로서,

이온빔 유닛 및 진공 유닛을 포함하며,

상기 이온빔 유닛은 이온빔을 제공하기 위한 이온빔 소스 어셈블리와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하며, 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여, 밀링하며; 그리고

상기 진공 유닛은 상기 이온빔 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 워크피스 및 상기 이온빔 유닛에 대한 진공 환경을 제공 및 유지하고, 상기 진공 유닛은 상기 워크피스를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 30**

제 29 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는,

가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 1 이온빔 편향 어셈블리와; 그리고

가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 2 이온빔 편향 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 31**

제 30 항에 있어서, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔은 상기 다수회 편향되는 이온빔의 하나의 타입인 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 32**

제 30 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 포커싱하여 가하는 이온빔 포커싱 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 33**

제 32 항에 있어서, 상기 이온빔 포커싱 어셈블리는, 상기 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하는 것의 일부로서 상기 제공된 이온빔을 편향시키는 이온빔 편향 서브 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 34**

제 30 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 추출된 이온빔을 형성하기 위

해, 상기 제공된 이온빔을 추출하여 가하는 이온빔 추출 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 35**

제 30 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 3번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 3 이온빔 편향 어셈블리를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 36**

제 35 항에 있어서, 상기 가해지는 3번 편향된 이온빔은 상기 다수회 편향되는 이온빔의 하나의 타입인 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 37**

제 30 항에 있어서, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 전자공학적인 그리고 공정 제어를 제공하는 전자공학 및 공정 제어 유틸리티들을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 38**

제 30 항에 있어서, 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛, 워크피스 조작 및 위치결정 유닛, 진동 방지 유닛, 컴포넌트 이미징 유닛 및 적어도 1개의 워크피스 분석 유닛으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 적어도 1개의 부가 유닛을 더 포함하고, 상기 각각의 부가 유닛은 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합되는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 39**

제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 시스템으로서,

이온빔 유닛 및 진공 유닛을 포함하고,

상기 이온빔 유닛은 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하고,

상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 1 이온빔 편향 어셈블리와, 그리고 상기 다수회 편향된 이온빔의 하나의 타입인 가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 2 이온빔 편향 어셈블리를 포함하며, 그리고

상기 진공 유닛은 상기 이온빔 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 이온빔 유닛에 대한 진공 환경을 제공하고 유지하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 40**

제 39 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 포커싱하여 가하는 이온빔 포커싱 어셈블리를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 41**

제 40 항에 있어서, 상기 이온빔 포커싱 어셈블리는, 상기 가해지는 포커싱된 이온빔을 형성하는 것의 일부로서 상기 제공된 이온빔을 편향시키는 이온빔 편향 서브 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 42**

제 40 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 추출된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 추출하여 가하는 이온빔 추출 어셈블리를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 43**

제 40 항에 있어서, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 상기 다수회 편향된 이온빔의 다른 타입인 가해지는 3번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 3 이온빔 편향 어셈블리를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 44**

제 40 항에 있어서, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 전자공학적인 그리고 공정 제어를 제공하는 전자공학 및 공정 제어 유틸리티들을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

**청구항 45**

제 40 항에 있어서, 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛, 워크피스 조작 및 위치결정 유닛, 진동 방지 유닛, 컴포넌트 이미징 유닛 및 적어도 1개의 워크피스 분석 유닛으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 적어도 1개의 부가 유닛을 더 포함하고, 상기 각각의 부가 유닛은 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합되는 것을 특징으로 하는 시스템.

**명세서**

**기술 분야**

<1> 본 발명은 워크피스의 이온빔 밀링에 관한 것으로서, 특히 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키고, 그 정도를 결정 및 제어하기 위한 방법, 장치 및 시스템에 관한 것이다. 일반적으로, 본 발명은 반도체 제조, 미세 분석 테스트, 물성 물리학(material science), 계측학(metrology), 리소그래피, 미세 기계가공(micro-machining) 및 나노공정과 같은 다양한 다른 분야에 적용할 수 있다. 본 발명은 일반적으로 다양한 다른 타입의 워크피스들을 이온빔으로 밀링하는 다양한 다른 타입의 응용들에서 실시될 수 있다. 특히, 본 발명은 상기에서 나타낸 예시적인 분야들에서 널리 이용되는 반도체 웨이퍼들 또는 칩들로부터 얻어지는 것들과 같은, 특히 샘플(sample)들 또는 물질(material)들 형태의 다양한 다른 타입의 워크피스들을 준비 또는/그리고 분석하는 다양한 다른 응용들에서 실시될 수 있다.

**배경 기술**

<2> 워크피스(샘플)를 이온빔 밀링(식각)하는 것, 이온빔을 가하는 것, 이온빔을 편향시키는 것, 이온빔을 회전시키는 것, 그 이론, 원리 및 실행, 그리고 관련된 응용들 및 그 주제(subject)는 종래에 잘 알려져있고, 교시되어 있으며, 현재 널리 실행되고 있다. 본 발명의 범위, 의미 및 응용 분야(들)를 확립하기 위해, 본 발명을 개시하는 데에 이용되는 용어의 정의 및 예시적인 이용에 대해 다음과 같이 설명한다.

<3> **워크피스(Work Piece)**

<4> 비한정적인 의미로, 본원에서의 워크피스는 일반적으로 반도체 물질들, 세라믹 물질들, 순수한 금속 물질들, 금속 합금 물질들, 중합 물질들, 이들의 혼합물들, 또는 이들로부터 얻어지는 물질들과 같은 다양한 다른 타입의 물질들중 임의의 물질을 말한다.

<5> 예를 들어, 반도체 타입의 물질인 워크피스에 있어서, 이러한 워크피스는 전형적으로 (웨이퍼의) 단일 다이, 웨이퍼 세그먼트 또는 전체 웨이퍼로부터 얻어지는 샘플 형태를 갖는다. 대개, 이러한 워크피스(샘플)는, 예를 들어 2005년 2월 3일 출원되었고 그 명칭이 "미세 분석을 위한 샘플 준비(Sample Preparation For Micro-analysis)"이며 본 출원인/양수인에게 양도된 미국 가 특허 출원 제 60/649,080호에 개시된 것과 같은 미세-분석 샘플 준비 기술을 이용하여 미리 준비된다. 미세 분석 샘플 준비 기술을 이용하여 워크피스(샘플)를 미리 준비하는 것은, 1개 이상의 타입의 커팅(cutting), 클리빙(cleaving), 슬라이싱(slicing) 또는/그리고 폴리싱(polishing) 절차를 이용하여, 워크피스(샘플) 전구체(precursor)의 크기의 적어도 1개의 치수(길이, 폭, 또는/그리고 두께, 깊이 또는 높이)를 감소시키거나 작게 함으로써, 워크피스(샘플) 전구체의 적어도 일부를 "절단" 또는 "분할"하여, 예를 들어 이온빔 밀링과 같은 다른 공정을 받을 준비가 되는 준비된 워크피스(샘플)를 생성하는 것에 기초한다. 이러한 준비된 워크피스(샘플)는 약 10 마이크로(micron) 내지 약 50 마이크로 범위의 적어도 1개의 치수(길이, 폭, 또는/그리고 두께, 깊이 또는 높이)를 가지며, 약 2 밀리미터 내지 약 3 밀리미터

범위의 다른 치수를 갖는다.

<6> **워크피스의 이온빔 밀링**

<7> 일반적으로, 워크피스의 이온빔 밀링은, 워크피스의 표면에 이온빔이 충돌하고, 이에 의해 표면과 이온빔이 상호작용을 하여 표면으로부터 물질을 제거하고, 그에 따라 워크피스로부터 물질을 제거하는 것을 말한다. 다양한 분야들에서, 포커싱된 이온빔(Focused ion beam; FIB) 밀링 및 브로드 이온빔(Broad ion beam; BIB) 밀링이 워크피스의 이온빔 밀링 기술로서 널리 알려져있고, 교시되어 있으며, 이용되고 있다. 일반적으로, 포커싱된 이온빔(FIB) 밀링은, 액체 갈륨과 같은 액체 금속 소스로부터 비롯되는 고 에너지의 집중되고 적절히 포커싱된 이온빔이 워크피스의 표면에 입사하고 충돌하여 밀링함으로써, 포커싱된 이온빔과 표면의 상호작용에 의해 워크피스의 표면으로부터 물질을 제거하는 것을 말한다. 일반적으로, 브로드 이온빔(BIB) 밀링은, 아르곤 또는 크세논(xenon)과 같은 비활성 가스 소스로부터 비롯되는 보다 적은 에너지의 보다 덜 포커싱된 브로드 이온빔이 워크피스의 표면에 입사하고 충돌하여 밀링함으로써, 브로드 이온빔과 표면의 상호작용에 의해 워크피스의 표면으로부터 물질을 제거하는 것을 말한다.

<8> 일반적으로, 워크피스의 표면에 이온빔이 입사하여 충돌하고, 이에 의해 이온빔과 표면이 상호작용하여 그 표면으로부터 '선택적인' 타입의 물질 제거를 일으키는 이온빔 밀링은 이온빔 '식각'으로 고려될 수 있다. 본 발명의 범위 및 환경에 있어서, 본원에서의 이온빔 밀링은 이온빔이 워크피스의 표면에 입사하여 충돌하고, 이에 의해 이온빔과 표면이 상호작용하여 그 표면으로부터 비선택적인 또는 '선택적인' 타입의 물질 제거를 일으키는 것을 말한다.

<9> **이온빔을 가한다(Directing an Ion Beam):**

<10> '이온빔을 가한다'는 구(phrase)에 있어서, 용어 '가한다(directing)'는 일반적으로 동의어 용어들인, 안내한다(guiding), 조정한다(regulating), 제어한다(controlling) 및 그와 관련된 다른 문법적인 형태들과 동등하다. 이와 같이, 이온빔을 가한다는 것은 일반적으로 이온빔을 안내하고, 조정하거나, 또는 제어하는 것과 동등하다. 일반적으로, 가해지고, 안내되고, 조정되거나 제어되는 이온빔은, 본원에서 일반적으로 워크피스로서 칭해지는 물체, 실체(entity) 또는 타겟쪽으로, 어떠한 방향, 축, 경로, 또는 궤도로 또는 이러한 방향, 축, 경로 또는 궤도를 따라서, 가해지고, 안내되고, 조정되거나 제어된다. 이렇게 이온빔을 가하고, 안내하고, 조정하거나 제어하는 것은, 이온빔 및 관련된 종래의 기술 분야에 잘 알려져있고 교시되어 있으며 이용되고 있는 다양한 다른 타입의 수단에 의해 달성될 수 있다.

<11> **이온빔을 편향시킨다(Deflecting an Ion Beam)**

<12> '이온빔을 편향시킨다'의 구에서, 용어 '편향시킨다'는 일반적으로 동의어 용어들인, 빗나가게 하다(swerving), 비키게 하다(turning aside), 구부리다(bending) 또는 벗어나게 하다(deviating), 또는 대안적으로는 이들의 각각의 동의어 구들인, 빗나가도록 야기하다, 비키도록 야기하다, 구부리도록 야기하다, 벗어나도록 야기하다, 그리고 이들의 관련된 다른 문법적인 형태들과 동등하다. 따라서, 이온빔을 편향시킨다는 것은 일반적으로 이온빔을 빗나가게 하는 것, 비키게 하는 것, 구부리는 것, 또는 벗어나게 하는 것, 또는 대안적으로는 각각 이온빔을 빗나가도록 야기하고, 비키도록 야기하고, 구부리도록 야기하거나 또는 벗어나도록 야기하고, 또는 대안적으로는 각각 이온빔이 빗나가게 되고, 비키게 되고, 구부리게 되고 또는 벗어나게 되도록 함으로써, 결과적으로 각각 이온빔을 빗나가게 하고, 비키게 하고, 구부리고 또는 벗어나게 하는 것과 동등하다. 일반적으로, 이온빔은 제 1 방향, 경로, 축, 또는 궤도로부터 각각 제 2 방향, 경로, 축, 또는 궤도로 편향되고, 빗나가고, 비키고, 구부리거나 또는 벗어나게 된다. 이온빔을 빗나가게 하고, 비키게 하고, 구부리게 하고 또는 벗어나게 하는 이러한 편향은, 이온빔 및 관련된 종래의 기술 분야에 잘 알려져있고 교시되어 있으며 이용되고 있는 다양한 다른 타입의 수단에 의해 달성될 수 있다.

<13> **이온빔을 회전시킨다(Rotating an Ion Beam)**

<14> '이온빔을 회전시킨다'의 구에서, 용어 '회전시킨다'는 일반적으로 동의어 용어들인, 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 돌리거나 스핀(spin)시킨다, 또는 대안적으로는 각각 동의어 구들인, 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 돌게 야기하거나 스핀하도록 야기하다, 그리고 이들의 관련된 다른 문법적인 형태들과 동등하다. 이와같이, 이온빔을 회전시키는 것은 일반적으로, 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 이온빔을 돌리거나 스핀시키는 것, 또는 대안적으로는 각각 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 이온빔을 돌게 야기하거나 스핀하도록 야기하다, 또는 대안적으로는 각각 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 이온빔이 돌게 하거나 또는 스핀되게 함으로써, 결과적으로 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 이온빔을 각각 돌게하거나

또는 스핀시키는 것과 동등하다.

- <15> 일반적으로, 이온빔은 축 위에서, 축 주위에서 또는 축에 대해, 회전되고(회전하고), 돌려지고(돌고), 또는 스핀되는(스핀하는) 바, 이러한 축은 이온빔의 축이거나, 또는 보통 이러한 이온빔과 동일한 공간적 도메인 및 시간적 도메인을 공유하는 요소 또는 컴포넌트의 축이다. 또한, 축 위에서, 축 주위에서 또는 축에 대한 이온빔의 이러한 회전, 돌림, 또는 스피닝은, 축 위에서, 축 주위에서 또는 축에 대해 이온빔을 각도 있게 변위시키는 것에 대응하는바, 이러한 축은 이온빔의 축이거나, 또는 보통 이러한 이온빔과 동일한 공간적 도메인 및 시간적 도메인을 공유하는 요소 또는 컴포넌트의 축이다. 축 위에서, 축 주위에서 또는 축에 대해 이와 같이 이온빔을 회전시키고, 돌리거나 스피닝하는 것은 이온빔 및 관련된 종래 기술에서 잘 알려져 있고, 교시되어 있으며, 이용되고 있는 기술들에 의해 달성될 수 있다. 하지만, 예를 들어 축 위에서, 축 주위에서 또는 축에 대해, 이온빔을 발생시키거나 생성하는 장치 또는 어셈블리와 같은 이온빔 소스를 회전시키고, 돌리거나, 또는 스피닝하는 경우에 있어서, 이온빔 소스에 대해 이온빔이 정지(정적인 또는 고정된)되도록 하는 것이 중요하다.
- <16> 도 1은 샘플 홀더 요소에 의해 받쳐지는 (마스킹 요소를 갖는) 표면, 및 선택되는 특징부(feature)들 및 그 파라미터들을 갖는 반도체 웨이퍼 또는 칩의 일부의 전형적인 미리 준비된 샘플인, 예시적인 워크피스의 투시도를 나타내는 개략도로서, 예를 들어 미세 분석용 샘플 준비의 일부로서, 또는/그리고 샘플 분석의 일부로서, 예를 들어 본 발명을 실시함으로써 이러한 샘플에 대해 이온빔 밀링이 행해진다.
- <17> 워크피스를 이온빔으로 밀링하기 위해 종래 기술들을 실시하는 것은, 워크피스를 준비 또는/그리고 분석하는 것과 관련된 다음의 4가지의 특징들 또는 양상들: 즉 (1) 워크피스의 한 섹션을 두껍게함(thickness) 또는 얇게함(thinness), (2) 밀링되는 워크피스 내에 사이트 특정(site specific)의 타겟을 위치시키는 능력, (3) 워크피스 내에서의 사이트 특정의 타겟의 깊이, 및 (4) 밀링되는 표면의 선택비(selectivity)의 제어를 포함한, 워크피스의 밀링되는 표면의 품질을 동시에 그리고 자동으로 달성할 수 없음으로 인해 제한된다.
- <18> 따라서, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키고, 그 정도를 결정 및 제어하기 위한 방법, 장치 및 시스템이 필요하고, 이들을 구비하는 것이 매우 유익하다. 반도체 제조, 미세 분석 테스트, 물성 물리학, 계측학, 리소그래피, 미세 기계가공 및 나노공정과 같은 다양한 다른 분야에서 일반적으로 적용할 수 있는 이러한 발명이 필요하다. 또한, 다양한 다른 타입의 워크피스들을 이온빔 밀링하는 다양한 다른 타입의 응용들에서 일반적으로 실시될 수 있는 이러한 발명이 필요하다. 또한, 상기에서 나타낸 예시적인 분야들에서 널리 이용되는 반도체 웨이퍼들 또는 칩들로부터 얻어지는 것들과 같은, 특히 샘플들 또는 물질들 형태의 다양한 다른 타입의 워크피스들의 준비 또는/그리고 분석하는 다양한 다른 응용들에서 특히 실시될 수 있는 이러한 발명이 필요하다.

**발명의 상세한 설명**

- <19> 본 발명은 워크피스의 이온빔 밀링에 관한 것으로서, 특히 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키고, 그 정도를 결정 및 제어하기 위한 방법, 장치 및 시스템에 관한 것이다. 일반적으로, 본 발명은 반도체 제조, 미세 분석 테스트, 물성 물리학, 계측학, 리소그래피, 미세 기계가공 및 나노공정과 같은 다양한 다른 분야에 적용할 수 있다. 본 발명은 일반적으로 다양한 다른 타입의 워크피스들을 이온빔 밀링하는 다양한 다른 타입의 응용들에서 실시될 수 있다. 특히, 본 발명은 상기에서 나타낸 예시적인 분야들에서 널리 이용되는 반도체 웨이퍼들 또는 칩들로부터 얻어지는 것들과 같은, 특히 샘플들 또는 물질들 형태의 다양한 다른 타입의 워크피스들을 준비 또는/그리고 분석하는 다양한 다른 응용들에서 실시될 수 있다.
- <20> 따라서, 본 발명에 따르면, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법이 제공되는바, 이 방법은: 이온빔을 제공하는 단계와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔(directed multi-deflected ion beam)을 제공하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계를 포함하며, 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여, 밀링한다.
- <21> 본 발명의 다른 양상에 따르면, 제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법이 제공되는바, 이 방법은: 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가함으로써, 가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하고, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가함으로써, 가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성함으로써, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계를 포함하고, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔은 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔의 하나의 타입이다.
- <22> 본 발명의 다른 양상에 따르면, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 장치가 제공되는바, 이 장치는: 이온빔을 제공하기 위한 이온빔 소스 어셈블리와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔

을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리(ion beam directing and multi-deflecting assembly)를 포함하며, 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여, 밀링한다.

<23> 본 발명의 다른 양상에 따르면, 제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 장치가 제공되는바, 이 장치는: 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하며, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 1 이온빔 편향 어셈블리와; 그리고 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔의 하나의 타입인 가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 2 이온빔 편향 어셈블리를 포함한다.

<24> 본 발명의 다른 양상에 따르면, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 시스템이 제공되는바, 이 시스템은: 이온빔 유닛 및 진공 유닛을 포함하며, 상기 이온빔 유닛은 이온빔을 제공하기 위한 이온빔 소스 어셈블리와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하며, 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여, 밀링하며; 그리고 상기 진공 유닛은 상기 이온빔 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 워크피스 및 상기 이온빔 유닛에 대한 진공 환경을 제공 및 유지하고, 상기 진공 유닛은 상기 워크피스를 포함한다.

<25> 하기 설명되는 본 발명의 바람직한 실시예들에서의 추가적인 특징들에 따르면, 상기 시스템은, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 전자공학적 제어(electronics)를 제공하고 공정 제어를 가능하게 하는 전자공학 및 공정 제어 유틸리티들(electronics and process control utilities)을 더 포함한다.

<26> 하기 설명되는 본 발명의 바람직한 실시예들에서의 추가적인 특징들에 따르면, 상기 시스템은 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛, 워크피스 조작 및 위치결정 유닛, 진동 방지 유닛(anti-vibration unit), 컴포넌트 이미징 유닛 및 적어도 1개의 워크피스 분석 유닛으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 적어도 1개의 부가 유닛을 더 포함하고, 상기 각각의 부가 유닛은 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합된다.

<27> 본 발명의 다른 양상에 따르면, 제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 시스템이 제공되는바, 이 시스템은: 이온빔 유닛 및 진공 유닛을 포함하고, 상기 이온빔 유닛은 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하고, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 1 이온빔 편향 어셈블리와, 그리고 상기 다수회 편향된 이온빔의 하나의 타입인 가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 2 이온빔 편향 어셈블리를 포함하며, 그리고 상기 진공 유닛은 상기 이온빔 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 이온빔 유닛에 대한 진공 환경을 제공하고 유지한다.

<28> 하기 설명되는 본 발명의 바람직한 실시예들에서의 추가적인 특징들에 따르면, 상기 시스템은, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 전자공학적 제어를 제공하고 공정 제어를 가능하게 하는 전자공학 및 공정 제어 유틸리티들을 더 포함한다.

<29> 하기 설명되는 본 발명의 바람직한 실시예들에서의 추가적인 특징들에 따르면, 상기 시스템은 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛, 워크피스 조작 및 위치결정 유닛, 진동 방지 유닛, 컴포넌트 이미징 유닛 및 적어도 1개의 워크피스 분석 유닛으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 적어도 1개의 부가 유닛을 더 포함하고, 상기 각각의 부가 유닛은 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합된다.

<30> 본 발명의 다른 양상에 따르면, 워크피스의 이온빔 밀링의 정도를 결정 및 제어하기 위한 방법이 제공되는바, 이 방법은: 상기 워크피스의 두께, 상기 워크피스 내의 타겟의 깊이 및 상기 워크피스의 적어도 1개의 표면의 토포그래피(topography)로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 상기 워크피스의 적어도 1개의 파라미터의 사전결정된 값들의 세트를 제공하는 단계와; 다음의 주요 단계들, 컴포넌트들 및 기능들: 이온빔을 제공하는 단계와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 제공하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계를 포함하는, 상기 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법을 이용하여, 상기 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 것을 수행하는 단계와, 여기서 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여 밀링하며; 상기 적어

도 1개의 파라미터의 측정값들의 세트를 형성하기 위해, 상기 워크피스의 상기 적어도 1개의 파라미터를 인사이츄(in-situ)로 실시간 측정하는 단계와; 상기 측정된 값들의 세트와 상기 제공된 사전결정된 값들의 세트를 비교하여, 이러한 비교와 관련된 차이값들의 세트를 형성하는 단계와; 그리고 상기 차이값들이 사전결정된 범위 내에 있을 때 까지, 상기 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 것을 계속해서 수행하기 위해, 상기 차이값들의 세트를 피드백하는 단계를 포함한다.

- <31> 상기 설명되는 본 발명의 바람직한 실시예들에서의 추가적인 특징들에 따르면, 상기 워크피스의 상기 적어도 1개의 표면의 선택비의 정도는 상기 워크피스의 사전 결정된 파라미터들중 하나인 토포그래피에 대응한다.
- <32> 본 발명은, 수동, 반자동, 완전 자동 및 그 결합으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 방식으로, 시스템 유닛들, 시스템 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들의 이용 및 동작을 수반하는, 절차들, 단계들 및 하위 단계들을 수행함으로써 실시된다. 또한, 개시된 발명의 특정 실시예들을 실시하는 데에 이용되는, 실제 절차들, 단계들, 하위 단계들, 시스템 유닛들, 시스템 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들에 따르면, 상기 절차들, 단계들 및 하위 단계들은 하드웨어, 소프트웨어, 또는/그리고 이들의 통합된 결합을 이용하여 수행되고, 상기 시스템 유닛들, 시스템 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들은 하드웨어, 소프트웨어, 또는/그리고 이들의 통합된 결합을 이용하여 수행된다.
- <33> 특히, 본 발명을 실시하는 데에 이용되는 소프트웨어는, 소프트웨어 프로그램들, 소프트웨어 루틴들, 소프트웨어 서브 루틴들, 소프트웨어 심볼 언어들, 소프트웨어 코드, 소프트웨어 명령들 또는 프로토콜들, 소프트웨어 알고리즘들, 또는/그리고 그 결합 형태의 동작가능하게 결합되어 기능하는 기록된 또는 프린트된 데이터를 포함한다. 본 발명을 실시하는 데에 이용되는 하드웨어는 동작가능하게 결합되어 기능하는 전기적, 전자적, 자기적, 전자기계적, 전기 기계적 그리고 광학적인 시스템 유닛들, 시스템 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들을 포함하는바, 이들은 디지털 또는/그리고 아날로그 동작들을 수반하는, 1개 이상의 컴퓨터 칩들, 집적 회로들, 전자 회로들, 전자 서브 회로들, 하드웨어 내장(hard-wired)의 전기 회로들, 또는/그리고 그 결합들을 포함할 수 있다. 따라서, 본 발명은 방금 설명한 소프트웨어 및 하드웨어의 통합된 결합을 이용하여 실시된다.

**실시예**

- <53> 본 발명은 워크피스의 이온빔 밀링에 관한 것으로서, 특히 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키고, 그 정도를 결정 및 제어하기 위한 방법, 장치 및 시스템에 관한 것이다. 일반적으로, 본 발명은 반도체 제조, 미세 분석 테스트, 물성 물리학, 계측학, 리소그래피, 미세 기계가공, 및 나노공정과 같은 다양한 다른 분야에 적용할 수 있다. 본 발명은 일반적으로 다양한 다른 타입의 워크피스들을 이온빔 밀링하는 다양한 다른 타입의 응용들에서 실시될 수 있다. 특히, 본 발명은 상기에서 나타낸 예시적인 분야들에서 널리 이용되는 반도체 웨이퍼들 또는 칩들로부터 얻어지는 것들과 같은, 특히 샘플들 또는 물질들 형태의 다양한 다른 타입의 워크피스들을 준비 또는/그리고 분석하는 다양한 다른 응용들에서 실시될 수 있다.
- <54> 본 발명의 주요 양상은, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법을 제공하는 것으로서, 이 방법은 하기의 주요 단계들, 컴포넌트들 및 그 기능들: 즉, 이온빔을 제공하는 단계와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 제공하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계를 포함하고, 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여, 밀링한다.
- <55> 본 발명의 다른 주요 양상은, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법의 하위 결합(sub-combination)으로서, 이에 의해, 제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법을 제공하는바, 이 방법은 하기의 주요 단계들, 컴포넌트들 및 그 기능들: 즉, 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가함으로써, 가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하고, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가함으로써, 가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성함으로써, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계를 포함하고, 상기 가해지는 2번 편향된 이온빔은 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔의 하나의 타입이다.
- <56> 본 발명의 다른 주요 양상은, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 장치를 제공하는 것으로서, 이 장치는 하기의 주요 컴포넌트들 및 그 기능들: 이온빔을 제공하기 위한 이온빔 소스 어셈블

리와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하며, 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여, 밀링한다.

<57> 본 발명의 다른 주요 양상은, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 장치의 하위 결합으로서, 이에 의해, 제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 장치가 제공되는바, 이 장치는: 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하며, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 1 이온빔 편향 어셈블리와; 그리고 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔의 하나의 타입인 가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 2 이온빔 편향 어셈블리를 포함한다.

<58> 본 발명의 다른 주요 양상은, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 시스템을 제공하는 것으로서, 이 시스템은 하기의 주요 컴포넌트들 및 그 기능들: 이온빔 유닛 및 진공 유닛을 포함하며, 상기 이온빔 유닛은 이온빔을 제공하기 위한 이온빔 소스 어셈블리와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하며, 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여, 밀링하며; 그리고 상기 진공 유닛은 상기 이온빔 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 워크피스 및 상기 이온빔 유닛에 대한 진공 환경을 제공 및 유지한다. 바람직하게는, 상기 진공 유닛은 상기 워크피스를 포함한다.

<59> 바람직하게는, 상기 시스템은, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 전자공학적인 제어를 제공하고 공정 제어를 가능하게 하는 전자공학 및 공정 제어 유틸리티들을 더 포함한다. 선택적으로, 그리고 바람직하게는, 상기 시스템은 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛, 워크피스 조작 및 위치결정 유닛, 진동 방지 유닛, 컴포넌트 이미징 유닛 및 적어도 1개의 워크피스 분석 유닛으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 적어도 1개의 부가 유닛을 더 포함하고, 상기 각각의 부가 유닛은 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합된다. 바람직하게는, 상기 전자공학 및 공정 제어 유틸리티들은 각각의 부가 유닛에도 동작가능하게 결합되어, 이온빔 유닛 및 진공 유닛과 동작가능하게 통합되는 방식으로, 각각의 부가 유닛에 전자공학적인 제어를 제공하고 공정 제어를 가능하게 한다.

<60> 본 발명의 다른 주요 양상은, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 시스템의 하위 결합을 제공하는 것으로서, 이에 의해, 제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 시스템을 제공하는바, 이 시스템은 하기의 주요 컴포넌트들 및 그 기능들: 이온빔 유닛 및 진공 유닛을 포함하고, 상기 이온빔 유닛은 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하고, 상기 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리는, 가해지는 1번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 1 이온빔 편향 어셈블리와, 그리고 상기 다수회 편향된 이온빔의 하나의 타입인 가해지는 2번 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 상기 가해지는 1번 편향된 이온빔을 편향시켜 가하는 제 2 이온빔 편향 어셈블리를 포함하며, 그리고 상기 진공 유닛은 상기 이온빔 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 이온빔 유닛에 대한 진공 환경을 제공하고 유지한다.

<61> 바람직하게는, 상기 시스템은, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합되어, 상기 이온빔 유닛 및 상기 진공 유닛에 전자공학적인 제어를 제공하고 공정 제어를 가능하게 하는 전자공학 및 공정 제어 유틸리티들을 더 포함한다. 선택적으로, 그리고 바람직하게는, 상기 시스템은 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛, 워크피스 조작 및 위치결정 유닛, 진동 방지 유닛, 컴포넌트 이미징 유닛 및 적어도 1개의 워크피스 분석 유닛으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 적어도 1개의 부가 유닛을 더 포함하고, 상기 각각의 부가 유닛은 상기 진공 유닛에 동작가능하게 결합된다. 바람직하게는, 상기 전자공학 및 공정 제어 유틸리티들은 각각의 부가 유닛에도 동작가능하게 결합되어, 이온빔 유닛 및 진공 유닛과 동작가능하게 통합되는 방식으로, 각각의 부가 유닛에 전자공학적인 제어를 제공하고 공정 제어를 가능하게 한다.

<62> 본 발명의 다른 주요 양상은 워크피스의 이온빔 밀링의 정도를 결정 및 제어하기 위한 방법을 제공하는 것으로서, 이 방법은 하기의 주요 단계들, 컴포넌트들 및 그 기능들: 상기 워크피스의 두께, 상기 워크피스 내의 타겟의 깊이 및 상기 워크피스의 적어도 1개의 표면의 토포그래피로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 상기 워크피스의 적어도 1개의 파라미터의 사전결정된 값들의 세트를 제공하는 단계와; 다음의 주요 단계들, 컴포넌트들 및 기능들: 이온빔을 제공하는 단계와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 제공하기 위해, 상기 제공된 이온

빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계를 포함하는, 상기 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법을 이용하여, 상기 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 것을 수행하는 단계와, 여기서 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여 밀링하며; 상기 적어도 1개의 파라미터의 측정값들의 세트를 형성하기 위해, 상기 워크피스의 상기 적어도 1개의 파라미터를 인사이츄로 실시간 측정하는 단계와; 상기 측정된 값들의 세트와 상기 제공된 사전 결정된 값들의 세트를 비교하여, 이러한 비교와 관련된 차이값들의 세트를 형성하는 단계와; 그리고 상기 차이값들이 사전결정된 범위 내에 있을 때 까지, 상기 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 것을 계속해서 수행하기 위해, 상기 차이값들의 세트를 피드백하는 단계를 포함한다.

<63> 이러한 방법에 있어서, 상기 워크피스의 상기 적어도 1개의 표면의 선택비의 정도는 상기 워크피스의 사전 결정된 파라미터들중 하나인 토포그래피에 대응한다.

<64> 따라서, 본 발명은 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키고, 그 정도를 결정 및 제어하기 위한 유일한 방법, 장치, 시스템 및 그 하위 결합에 기초한다.

<65> 이해될 사항으로서, 본원에서 달리 특정하지 않는 한, 본 발명은 그 응용에 있어서, 하기의 예시적인 설명 및 첨부 도면들에서 설명되는, 절차들의 순서 또는 차례, 그리고 횟수, 동작 또는 실시의 단계들 및 하위 단계들의 상세 사항들, 또는 시스템 유닛들, 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들의 타입, 조성, 구성, 배열, 순서 및 수에 대한 상세 사항들에 한정되지 않는다. 본 발명은 다른 실시예들을 가질 수 있으며, 다양한 방법으로 실행 또는 실시될 수 있다. 비록 본원에서 예시적으로 설명되는 것들과 유사하거나 등가인, 절차들, 단계들, 하위 단계들, 및 시스템 유닛들, 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들이 본 발명을 실행하거나 테스트하는 데에 이용될 수 있기는 하지만, 본원에서는 적절한 절차들, 단계들, 하위 단계들, 및 시스템 유닛들, 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들에 대해 예시적으로 설명한다.

<66> 또한, 이해될 사항으로서, 본 개시에 전체적으로 이용되는 모든 기술적인 그리고 과학적인 단어들, 용어들, 또는/그리고 구(phrase)들은 본원에서 달리 명확하게 정의하거나 설명하지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야의 당업자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 또는 유사한 의미를 갖는다. 본 개시에 전체적으로 이용되는 표현(phraseology), 용어 및 표시법(notation)은 설명을 위한 것인 바, 제한적인 것으로 여겨져서는 안된다. 반드시 이해될 사항으로서, 달리 특정하지 않는 한, '동작가능하게 결합된(operatively connected)'의 구는 본원에서 일반적으로 이용되고, 대응하는 동의어 구인, '동작가능하게 연결된(operatively joined)' 및 '동작가능하게 부착된(operatively attached)'과 동등하며, 동작가능한 결합, 동작가능한 연결, 또는 동작가능한 부착은, 다양한 타입 및 종류의 하드웨어 또는/그리고 소프트웨어 장비 및 컴포넌트들을 수반하는, 물리적, 또는/그리고 전기적, 또는/그리고 전자적, 또는/그리고 기계적, 또는/그리고 전자 기계적인 방식 또는 특성을 따른다. 또한, 상기 배경 기술 부분에서 소개되고, 정의되고, 설명되고, 또는/그리고 예시된 모든 기술적인 그리고 과학적인 단어들, 용어들, 또는/그리고 구들은 본 발명의 바람직한 실시예들의 예시적인 설명, 예들, 그리고 첨부된 청구항들에서 동등하게 또는 유사하게 적용될 수 있다.

<67> 특히, 구 '워크피스'에 대하여, 본 발명의 범위 및 환경에 있어서, 비한정적인 의미로, 본원에서의 워크피스는 일반적으로 반도체 물질들, 세라믹 물질들, 순수한 금속 물질들, 금속 합금 물질들, 중합 물질들, 이들의 혼합물들, 또는 이들로부터 얻어지는 물질들과 같은 다양한 다른 타입의 물질들중 임의의 물질을 말한다.

<68> 예를 들어, 반도체 타입의 물질인 워크피스에 있어서, 이러한 워크피스는 전형적으로 (웨이퍼의) 단일 다이, 웨이퍼 세그먼트 또는 전체 웨이퍼로부터 얻어지는 샘플 형태를 갖는다. 대개, 이러한 워크피스(샘플)는, 예를 들어 2005년 2월 3일 출원되었고 그 명칭이 "미세 분석을 위한 샘플 준비(Sample Preparation For Micro-analysis)"이며 본 출원인/양수인에게 양도된 미국 가 특허 출원 제 60/649,080호에 개시된 것과 같은 미세-분석 샘플 준비 기술을 이용하여 미리 준비된다. 미세 분석 샘플 준비 기술을 이용하여 워크피스(샘플)를 미리 준비하는 것은, 1개 이상의 타입의 커팅, 클리빙, 슬라이싱 또는/그리고 폴리싱 절차를 이용하여, 워크피스(샘플) 전구체의 크기의 적어도 1개의 치수(길이, 폭, 또는/그리고 두께, 깊이 또는 높이)를 감소시키거나 작게 함으로써, 워크피스(샘플) 전구체의 적어도 일부를 "절단" 또는 "분할"하여, 예를 들어 이온빔 밀링과 같은 다른 공정을 받을 준비가 되는 준비된 워크피스(샘플)를 생성하는 것에 기초한다. 이러한 준비된 워크피스(샘플)는 약 10 마이크로미터 내지 약 50 마이크로미터 범위의 적어도 1개의 치수(길이, 폭, 또는/그리고 두께, 깊이 또는 높이)를 가지

며, 약 2 밀리미터 내지 약 3 밀리미터 범위의 다른 치수를 갖는다.

<69> 특히, 본원에서의 구 '워크피스의 이온빔 밀링'과 관련하여, 워크피스의 이온빔 밀링은 일반적으로 워크피스의 표면에 이온빔을 충돌시켜, 표면과 이온빔의 상호작용에 의해 표면으로부터 그리고 이에 따라 워크피스로부터 물질이 제거되게 하는 것을 말한다. 일반적으로, 포커싱된 이온빔(FIB) 밀링은, 액체 갈륨과 같은 액체 금속 소스로부터 비롯되는 고 에너지의 집중되고 적절히 포커싱된 이온빔이 워크피스의 표면에 입사하고 충돌하여 밀링함으로써, 포커싱된 이온빔과 표면의 상호작용에 의해 워크피스의 표면으로부터 물질을 제거하는 것을 말한다. 일반적으로, 브로드 이온빔(BIB) 밀링은, 아르곤 또는 크세논(xenon)과 같은 비활성 가스 소스로부터 비롯되는 보다 적은 에너지의 보다 덜 포커싱된 브로드 이온빔이 워크피스의 표면에 입사하고 충돌하여 밀링함으로써, 브로드 이온빔과 표면의 상호작용에 의해 워크피스의 표면으로부터 물질을 제거하는 것을 말한다.

<70> 일반적으로, 워크피스의 표면에 이온빔이 입사하여 충돌하고, 이에 의해 이온빔과 표면이 상호작용하여 그 표면으로부터 '선택적인' 타입의 물질 제거를 일으키는 이온빔 밀링은 이온빔 '식각'으로 고려될 수 있다. 본 발명의 범위 및 환경에 있어서, 본원에서의 이온빔 밀링은 이온빔이 워크피스의 표면에 입사하여 충돌하고, 이에 의해 이온빔과 표면이 상호작용하여 그 표면으로부터 비선택적인 또는 '선택적인' 타입의 물질 제거를 일으키는 것을 말한다.

<71> 특히, '이온빔을 가한다'는 구(phrase)에 있어서, 용어 '가한다'는 일반적으로 동의어 용어들인, 안내한다, 조정한다, 제어한다 및 그와 관련된 다른 문법적인 형태들과 동등하다. 이와 같이, 이온빔을 가한다는 것은 일반적으로 이온빔을 안내하고, 조정하거나, 또는 제어하는 것과 동등하다. 일반적으로, 가해지고, 안내되고, 조정되거나 제어되는 이온빔은, 본원에서 일반적으로 워크피스로서 칭해지는 물체, 실체 또는 타겟쪽으로, 어떠한 방향, 축, 경로, 또는 궤도로 또는 이러한 방향, 축, 경로 또는 궤도를 따라서, 가해지고, 안내되고, 조정되거나 제어된다.

<72> 특히, '이온빔을 편향시킨다'의 구에서, 용어 '편향시킨다'는 일반적으로 동의어 용어들인, 빗나가게 하다, 비키게 하다, 구부리다 또는 벗어나게 하다, 또는 대안적으로는 이들의 각각의 동의어 구들인, 빗나가도록 야기하다, 비키도록 야기하다, 구부리도록 야기하다, 벗어나도록 야기하다, 그리고 이들의 관련된 다른 문법적인 형태들과 동등하다. 따라서, 이온빔을 편향시킨다는 것은 일반적으로 이온빔을 빗나가게 하는 것, 비키게 하는 것, 구부리는 것, 또는 벗어나게 하는 것, 또는 대안적으로는 각각 이온빔을 빗나가도록 야기하고, 비키도록 야기하고, 구부리도록 야기하거나 벗어나도록 야기하고, 또는 대안적으로는 각각 이온빔이 빗나가게 되고, 비키게 되고, 구부리게 되고 또는 벗어나게 되도록 함으로써, 결과적으로 각각 이온빔을 빗나가게 하고, 비키게 하고, 구부리고 또는 벗어나게 하는 것과 동등하다. 일반적으로, 이온빔은 제 1 방향, 경로, 축, 또는 궤도로부터 각각 제 2 방향, 경로, 축, 또는 궤도로 편향되고, 빗나가고, 비키고, 구부리거나 또는 벗어나게 된다.

<73> 따라서, 본원에서의 '이온빔을 편향시킨다'의 구에 대한 이전의 설명, 의미 및 이해에 기초하여, '이온빔을 다수회 편향시킨다'의 구는 일반적으로 이온빔을 1번 이상, 특히 적어도 2번, 그리고 일반적으로는 복수의 또는 다수의 횟수, 이에 따라 용어 '다수회 편향'에 대응하는 1번 이상의 임의의 횟수로 편향시키는 것을 말한다. 본 발명의 제 1의 특징에 또는 실시예로서, 이온빔을 2회 또는 2번 편향시키는 것은 본원에서 '이온빔을 2번 편향시킨다'의 구로 나타낸다. 본 발명의 제 2의 특징에 또는 실시예로서, 이온빔을 3회 또는 3번 편향시키는 것은 본원에서 '이온빔을 3번 편향시킨다'의 구로 나타낸다. 따라서, 일반적으로, 본 발명을 설명하기 위해, 이온빔을 적어도 2회 편향시키는 것은 본원에서 '이온빔을 적어도 2번 편향시킨다'의 구로 나타내거나, 또는 동등하게는, '이온빔을 다수회 편향시킨다'의 구로 나타낸다. 반드시 이해될 사항으로서, 본 발명은 이온빔을 다수회 편향시키는 것을 반드시 이온빔을 2번 또는 3번 편향시키는 것으로 제한하지 않는다. 일반적으로, 본 발명은 이온빔을 다수회 편향시키는 것이 이온빔을 3번 이상, 4번 이상 등으로 편향시키는 것을 수반하도록 실시될 수 있다.

<74> 대응하는 방식으로, 본원에서 '다수회 편향된 이온빔'의 구는 1번 이상, 특히 적어도 2번, 그리고 일반적으로는 복수의 또는 다수의 횟수, 이에 따라 용어 '다수회 편향된'에 대응하는 1번 이상의 임의의 횟수로 편향된 이온빔을 말한다. 본 발명의 대응하는 제 1의 특징에 또는 실시예로서, 2회 또는 2번 편향된 이온빔은 본원에서 '2번 편향된 이온빔'의 구로 나타낸다. 본 발명의 대응하는 제 2의 특징에 또는 실시예로서, 3회 또는 3번 편향된 이온빔은 본원에서 '3번 편향된 이온빔'의 구로 나타낸다. 따라서, 대응하는 방식으로, 일반적으로 본 발명을 설명하기 위해, 적어도 2회 편향된 이온빔은 본원에서 '다수회 편향된 이온빔'의 구로 나타내거나, 이것은 '적어도 2번 편향된 이온빔'의 구와 동등하다. 반드시 이해될 사항으로서, 본 발명은 다수회 편향된 이온빔을 반드시 2번 또는 3번 편향된 이온빔으로 제한하지 않는다. 일반적으로, 본 발명은 다수회 편향된 이온빔이 3번

이상, 4번 이상 등으로 편향된 이온빔이 되도록 실시될 수 있다.

- <75> 따라서, 본원에서 '이온빔을 가한다' 및 '이온빔을 편향시킨다'의 구에 대한 이전의 설명, 의미 및 이해에 기초하여, 본원에서 '이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시킨다'의 구는 일반적으로 1번 이상, 특히 적어도 2번, 그리고 일반적으로는 1번 이상의 임의의 횟수로 편향되기 전에, 편향되는 동안, 그리고 편향된 이후 이온빔을 가하는 것을 말한다. 본 발명의 제 1의 특징에 또는 실시예로서, 이온빔을 가하고, 가해진 이온빔을 2회 또는 2번 편향시킨 다음, 2번 편향된 이온빔을 가하는 것은, 본원에서 '이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시킨다'의 구로 나타낸다. 본 발명의 제 2의 특징에 또는 실시예로서, 이온빔을 가하고, 가해진 이온빔을 3회 또는 3번 편향시키는 것은, 본원에서 '이온빔을 가하고 3번 편향시킨다'의 구로 나타낸다. 따라서, 일반적으로, 본 발명을 설명하기 위해, 이온빔을 적어도 2번 편향시키는 것은 본원에서 '이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시킨다'의 구로 나타내거나, 또는 동등하게는, '이온빔을 가하고 다수회 편향시킨다'의 구로 나타낸다. 반드시 이해될 사항으로서, 본 발명은 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 것을 반드시 이온빔을 가하고 2번 또는 3번 편향시키는 것으로 제한하지 않는다. 일반적으로, 본 발명은 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 것이 이온빔을 가하고 3번 이상, 4번 이상 등으로 편향시키는 것을 수반하도록 실시될 수 있다.
- <76> 대응하는 방식으로, 본원에서 '가해지는 다수회 편향된 이온빔'의 구는 1번 이상, 특히 적어도 2번, 그리고 일반적으로는 복수의 또는 다수의 횟수, 이에 따라 용어 '가해지는 다수회 편향된'에 대응하는 1번 이상의 임의의 횟수로 편향되기 전에, 편향되는 동안, 그리고 편향된 이후 가해지는 이온빔을 말한다. 본 발명의 대응하는 제 1의 특징에 또는 실시예로서, 2회 또는 2번 편향되기 전에, 편향되는 동안, 그리고 편향된 이후 가해지는 이온빔은 본원에서 '가해지는 2번 편향된 이온빔'의 구로 나타낸다. 본 발명의 대응하는 제 2의 특징에 또는 실시예로서, 3회 또는 3번 편향되기 전에, 편향되는 동안, 그리고 편향된 이후 가해지는 이온빔은 본원에서 '가해지는 3번 편향된 이온빔'의 구로 나타낸다. 따라서, 대응하는 방식으로, 일반적으로 본 발명을 설명하기 위해, 적어도 2번 편향되기 전에, 편향되는 동안, 그리고 편향된 이후 가해지는 이온빔은 본원에서 '가해지는 다수회 편향된 이온빔'의 구로 나타내며, 이는 '가해지는 적어도 2번 편향된 이온빔'의 구와 등가이다. 반드시 이해될 사항으로서, 본 발명은 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 반드시 가해지는 2번 또는 3번 편향된 이온빔으로 제한하지 않는다. 일반적으로, 본 발명은 가해지는 다수회 편향된 이온빔이 3번 이상, 4번 이상 등으로 편향되기 전에, 편향되는 동안, 그리고 편향된 이후 가해지는 이온빔이 되도록 실시될 수 있다.
- <77> 특히, '가해지는 다수회 편향된 (적어도 2번 편향된) 이온빔을 회전시킨다'의 구에 있어서, 본원에서 용어 '회전시킨다'는 일반적으로 동의어 용어들인, 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 돌리거나 스핀시킨다, 또는 대안적으로는 각각 동의어 구들인, 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 돌게 야기하거나 스핀하도록 야기하다, 그리고 이들의 관련된 다른 문법적인 형태들과 동등하다. 이와같이, 가해지는 다수회 편향된 (적어도 2번 편향된) 이온빔 회전시키는 것은 일반적으로, 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 가해지는 다수회 편향된 (적어도 2번 편향된) 이온빔을 돌리거나 스핀시키는 것, 또는 대안적으로는 각각 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 가해지는 다수회 편향된 (적어도 2번 편향된) 이온빔을 각각 돌게 야기하거나 스핀하도록 야기하는 것, 또는 대안적으로는 각각 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 가해지는 다수회 편향된 (적어도 2번 편향된) 이온빔이 돌게 하거나 또는 스핀되게 함으로써, 결과적으로 축 위에서, 축 주위에서, 또는 축에 대해, 가해지는 다수회 편향된 (적어도 2번 편향된) 이온빔을 각각 돌게 하거나 또는 스핀시키는 것과 동등하다.
- <78> 일반적으로, 가해지는 다수회 편향된 (적어도 2번 편향된) 이온빔은 축 위에서, 축 주위에서 또는 축에 대해, 회전되고(회전하고), 돌려지고(돌고), 또는 스핀되는(스핀하는) 바, 이러한 축은 이온빔의 축이거나, 또는 보통 이러한 이온빔과 동일한 공간적 도메인 및 시간적 도메인을 공유하는 요소 또는 컴포넌트의 축이다. 또한, 축 위에서의, 축 주위에서의 또는 축에 대한 가해지는 다수회 편향된 (적어도 2번 편향된) 이온빔의 이러한 회전, 돌림, 또는 스핀은, 축 위에서, 축 주위에서 또는 축에 대해, 가해지는 다수회 편향된 (적어도 2번 편향된) 이온빔을 각도있게 변위시키는 것에 대응하는바, 이러한 축은 이온빔의 축이거나, 또는 보통 이러한 이온빔과 동일한 공간적 도메인 및 시간적 도메인을 공유하는 요소 또는 컴포넌트의 축이다.
- <79> 부가적으로, 본원에서 이용되는 용어 '약'은 관련값의  $\pm 10\%$ 를 말한다.
- <80> 본 발명의 예시적인 바람직한 실시예들, 대안적인 바람직한 실시예들, 특정 구성들의 동작 및 실시, 그 부가적인 그리고 선택적인 양상들, 특징들 또는 특성들 뿐 아니라, 절차들, 단계들, 하위 단계들, 시스템 유닛들, 시스템 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들은 하기의 예시적인 설명 및 첨부 도면을 참조하여 보다 잘 이해될 것이

다. 하기의 예시적인 설명 및 첨부 도면들 전체에 걸쳐서, 동일한 참조 부호들 및 문자들은 동일한 시스템 유닛들, 시스템 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들을 나타낸다.

- <81> 본 발명의 하기의 예시적인 설명은, 개시된 발명의 적절한 '가능한' 이용 및 실시를 충분히 이해하는 데에 필요한, 주요 또는 주된 절차들, 단계들, 하위 단계들, 및 주요 또는 주된 시스템 유닛들, 시스템 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들을 포함한다. 이에 따라, 당업자에게 알려져 있고, 본 발명과 관련된 종래 기술 및 기술 문헌으로부터 입수할 수 있으며, 본 발명의 실시를 가능하게 하는 데에 부차적으로 중요한, 가능한 많은 예비적인, 중간적인, 중요치않은, 또는/그리고 선택적인 절차들, 단계들, 또는/그리고 하위 단계들, 또는/그리고 시스템 유닛들, 시스템 서브 유닛들, 장치들, 어셈블리들, 서브 어셈블리들, 메커니즘들, 구조들, 컴포넌트들, 요소들, 주변 장비, 유틸리티들, 부속품들 및 물질들에 대한 설명은 본원에서 기껏해야 간단하게 설명된다.
- <82> 본 발명의 하기의 예시적인 설명에서는, 비한정적인 방식으로, 일반적으로 다음의 순서로 제시된다: 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법; 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법의 하위 결합으로서, 제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법; 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 장치; 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 장치의 하위 결합으로서, 제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 장치; 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 시스템; 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 장치의 하위 결합으로서, 제공되는 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 시스템; 및 워크피스의 이온빔 밀링의 정도를 결정 및 제어하는 방법.
- <83> 따라서, 본 발명의 주요 양상은 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 방법을 제공하는 것으로서, 이 방법은 하기의 주요 단계들, 컴포넌트들 및 그 기능들: 이온빔을 제공하는 단계와; 그리고 가해지는 다수회 편향된 이온빔을 제공하기 위해, 상기 제공된 이온빔을 가하고 적어도 2번 편향시키는 단계를 포함하며, 상기 가해지는 다수회 편향된 이온빔은 상기 워크피스의 표면 쪽으로 가해지고, 그 위에 입사되고 충돌하여, 밀링한다.
- <84> 도 2를 다시 참조하면, 도 2는 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링의 일례의 바람직한 실시예의 측면도로서, 워크피스의 크기의 결정 및 제어를 나타내는 도면이고, 특히 진공 장치의 워크피스 촬상 및 밀링 검출 장치(300) 및 진공 실 어셈블리와 관련하여 그리고 워크피스와 그 표면과 관련하여 이들 모든 것을 나타낸다.
- <85> 일반적으로 도 2는 본 발명의 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링을 위한 방법이다. 그러나 그 이해를 확실하게 하기 위해 여기에서, 도 3, 4, 5, 6, 8, 9에 대해 추가적으로 참조하는데, 이들 도면 또한 본 발명에 따른 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링을 위한 다수의 예시적 특정 바람직한 실시예의 실시를 위해 참조한다.
- <86> 도 3은 도 2에 도시한 일례의 바람직한 실시예의 보다 상세한 변형의 측면도를 나타내는 개략도로서, 특히, 이온빔 장치(100)로서 상기 장치의 일례의 바람직한 특정 실시예를 도시하는데, 이 장치는 이온빔(10)의 두 번의 편향을 위해 이온 빔 지향 및 멀티 편향 어셈블리(120)를 구비하는 것을 도시하고, 또한 워크피스 촬상 및 밀링 편향 장치(300)의 일례의 바람직한 특정 실시예를 나타낸다.
- <87> 도 4는 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링의 일례의 바람직한 실시예의 측면 개략도로서, 도 2 및 도 3에 도시한 워크피스의 크기의 결정 및 제어를 나타내는 도면이고, 특히 두 번의 이온 빔(10) 편향을 위한 구성 및 기능을 갖는 이온빔 지향 및 멀티 편향 어셈블리(120)를 포함하는 이온빔 장치(100)로서 상기 장치의 보다 상세한 구성 레벨 변형의 단면도를 나타낸다.
- <88> 도 5는 도 2, 3 및 4에 도시된 워크피스의 지향된 이온빔 밀링의 사시도를 나타내는 개략도로서, 특히 두 번의 이온 빔(10) 편향을 위한 구성 및 기능을 갖는 이온빔 장치(100)의 이온빔 지향 및 멀티 편향 어셈블리(120)에 포함된 이온빔 제 1 편향 어셈블리(122) 및 이온빔 제 2 편향 어셈블리(124) 각각의 일례의 바람직한 실시예를 나타낸다.
- <89> 도 6a-6b는 제 1 이온 빔 편향 어셈블리(122) 및 제 2 이온 빔 편향 어셈블리(124a 및 124b)에 의해 워크피스와 동축의 임의로 할당된 세로축(40)에 대하여 이온빔 지향 및 멀티 편향된 회전(각도적) 순서의 사시도를 함께 나타내는 개략도로서, 상기 어셈블리들은 세로축(40) 주위에서 0도와 360도의 범위에서 회전하고 그리고 워크피스의 표면을 향해 지향되고 그에 입사하여 작용하고 그리고 상기 표면을 밀링하는 지향된 멀티 편향 이온빔(20)의

지향된 두 번의 편향된 이온빔 타입에 대응한다.

- <90> 도 7a는 일례의 워크피스(일반적 형상의 장방향 슬랩)의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 표면을 밀링하는 지향된 멀티 편향 이온빔(20; 두 번 편향) 또는 이온빔(22; 세 번 편향)의 사시 폐쇄 도를 나타내는 개략도로서, 특히 이온빔(20 또는 22), 표면 및 워크피스의 관련 기하 그리고 치수를 나타낸다.
- <91> 도 7b는 일례의 워크피스(표면(마스크 구비)이 예를 들어 도 1에 도시한 것과 유사한 샘플 홀더 요소에 의해 유지되는 반도체 웨이퍼 또는 칩 일부분의 대표적 샘플)의 제 2 형태의 표면에 지향하고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 밀링하도록 지향된 하나의 지향된 멀티 편향 이온빔(20)(두 번 편향) 또는 (22)(세 번 편향)의 사시 폐쇄 도를 나타내는 개략도로서, 특히, 이온빔(20, 또는 22), 표면 그리고 워크피스의 관련 기하 및 치수를 나타낸다.
- <92> 도 8은 도 2에 도시한 일례의 바람직한 실시예의 보다 상세한 변형의 측면도를 나타내는 개략도로서, 특히 이온빔(10)의 세 번 편향을 위한 이온빔 지향 및 멀티 편향 어셈블리(120)를 포함하는 이온빔 장치(100)의 일례의 바람직한 요소 및 워크피스 촬상 및 밀링 편향 장치(300)를 결합한 일례의 특정 실시예를 나타낸다.
- <93> 도 9는 도 2 및 도 8에 도시된 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링의 측면도를 나타내고, 그리고 워크피스의 크기의 결정 및 제어를 나타내는 도면으로서, 특히 두 번 편향 이온빔(10)을 위한 구성 및 기능을 갖는 이온빔 지향 및 멀티 편향 어셈블리(120)를 포함하는 이온빔 장치(100)의 보다 상세한 구성의 레벨 변형의 측면도를 나타낸다.
- <94> 도 10은 도 2, 도 8 및 도 9에 도시된 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링의 측면도를 나타내고, 이온빔의 세 번 편향을 위한 구성 및 기능을 갖는 이온빔 장치(100)의 이온빔 지향 및 멀티 편향 어셈블리(120)에 포함된 이온빔 제 1 편향 어셈블리(122), 이온빔 제 2 편향 어셈블리, 및 이온빔 제 3 편향 어셈블리를 도시한다.
- <95> 따라서 도 2를 참조하여 그리고 도 3, 4, 5, 6, 8, 9 및 도 10을 추가적으로 참조하면, 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔을 위한 방법은 이온빔(10)을 제공하고, 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b 또는 20c)을 형성하기 위해 제공된 이온빔(10)을 지향 및 적어도(예를 들면, 두 번 또는 세 번) 편향하는 단계를 포함하는데, 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 및 20c)은 워크피스의 표면을 향해 지향, 입사하여 작용하고 그리고 표면을 밀링한다.
- <96> 일반적으로, 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔을 위한 다수의 다른 예시적 특정 바람직한 실시예들이 있는데, 부분적으로 특정 공간적(지향적, 방향적, 구성적) 모드 또는 방식에 따라 그리고 이온빔(10)에 제공된 멀티 편향 및 지향의 특정 순간(타이밍) 모드 또는 방식에 따르며, 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 및 20c)은 워크피스의 표면을 향하고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링한다. 특히, 제공된 이온빔을 멀티 편향 및 지향하는 특정 공간(지향적, 방향적, 구성적) 모드 또는 방식은 선형 또는 회전성이다. 특히, 제공된 이온빔(10)의 멀티편향 및 특정 지향 순간(타이밍) 모드 또는 방식은 연속, 비연속적이거나(주기적, 비주기적, 또는 펄스식) 또는 연속 비연속(주기적, 비주기적 또는 펄스식)의 조합이다. 더욱이 각각의 특정 공간(지향적, 방향적, 구성적) 모드 또는 방식 즉, 제공된 이온빔(10)의 선형적 또는 회전적 멀티 편향 및 지향은 각각의 특정 순간(타이밍) 모드 또는 방식 즉, 제공된 이온빔(10)의 연속적, 비연속적(주기적, 비주기적 또는 펄스식) 또는 연속 및 비연속(주기적, 비주기적, 또는 펄스식)의 조합이다.
- <97> 특히, 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향 특정 순간(지향적, 방향적, 구성적) 모드 또는 방식과 관련하여, 각기 선형적으로 또는 회전적으로 지향된 멀티 편향(각기 두 번 또는 세 번 편향) 이온빔(20a)을 형성하기 위해 멀티 편향(예를 들어, 두 번 또는 세 번 편향) 및 선형적 또는 회전적 지향이 있으며, 각각의 선형적으로 또는 회전적으로 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)은 각기 워크피스의 표면을 향해 선형적으로 또는 회전적으로 지향되고, 입사 및 그에 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <98> 특히 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향의 특정 순간(시간) 모드 또는 방식과 관련하여, 지향된 멀티 편향(각기 두 번 또는 세 번) 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)을 각기 연속적, 비연속적 또는 연속적 또는 비연속적의 조합으로 형성하기 위한 멀티 편향(예를 들어 두 번, 또는 세 번) 및 연속, 비연속 또는 연속 또는 비연속의 조합이 있는데, 여기서 각각의 연속적, 비연속적 또는 연속적 및 비연속적의 조합은 각기 연속적, 비연속적 또는 이들의 조합으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)이 각기 연속적, 비연속적 또는 이들의 조합으로 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하며 그리고 그 표면을 밀링한다.
- <99> 특히 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향의 각각의 특정 순간(시간) 모드 또는 방식에 따라 실시된 제공된

이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향의 각각의 특정 순간(시간) 모드 또는 방식과 관련하여, 지향된 멀티 편향(각기 두 번 또는 세 번) 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 각기 연속적, 비연속적, 또는 연속적 또는 비연속적의 조합이 있고, 선형적 또는 비선형적으로 형성하기 위한 멀티 편향(예를 들어 두 번, 또는 세 번) 및 연속, 비연속 또는 연속 또는 비연속의 조합, 선형적 또는 비선형적이 있는데, 여기서 각각의 연속적, 비연속적 또는 연속적 및 비연속적의 조합, 선형적, 또는 비선형적은 각기 연속적, 비연속적 또는 이들의 조합, 선형적 또는 비선형적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)이 각기 연속적, 비연속적 또는 이들의 조합이고, 선형적, 또는 비선형적으로 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하며 그리고 그 표면을 밀링한다.

<100> 다른 특정 공간적(지향적, 방향적, 구성적) 모드 또는 방식에 따라 그리고 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향(예를 들어, 두 번 또는 세 번 편향) 및 지향의 다른 특정 순간(타이밍)에 따라 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링을 위한 방법의 각각의 기술한(공간적 및 순간적 특징) 예시적 특정 바람직한 실시예들을 이하 설명적으로 상세히 기술한다. 이를 위해, 도 2에 도시한 바와 같이, 이는 일반적으로 각각의 예시적 특정 바람직한 실시예에 적용가능한데, 제공된 이온빔(10)이 기본적으로 여기에서 세로축(40)이라고 하는 세로축과 동축일 경우이다. 또한 도 2에 도시한 바와 같이, 이는 일반적으로 각각의 예시적 특정 바람직한 실시예에 적용가능한데, 워크피스가 세로축(40)과 동축일 경우이다. 일례의 3차원 xyz 좌표축 시스템(50)을 참조하여 임의적으로 세로축(40)은 x 축의 방향에서 그를 따라 그와 동축이다.

<101> **워크피스의 이온빔 밀링의 선형 공간 모드 또는 방식**

<102> 도 2를 참조하여, 제공된 이온빔(10)은 선형적으로 연장하고, 세로축(40)[즉, x-축(in z = 0 영역)의 방향에서 그를 따라 연장한다. 그러면, 선형 제공 이온 빔(10)은 적어도 두 번 편향되고(멀티 편향) 그리고 선형적으로 지향되고, 변형 즉 변환되어 선형적으로 멀티 편향된 이온빔(20a, 20b 및 20c)으로 되는데 이는 선형적으로 지향되고, 그리고 기술한 세로 축(40) 위쪽 방향에서[즉, x 축(양의 z 축 영역에서)] 연장하고, 또는 세로 축(40)[x 축(음의 z 축 영역)] 아래 방향에서 연장하고, 또는 세로 방향(40)[즉 x 축 (in z = 0 영역)]의 방향에서 그를 따라 각기 연장하여, 워크피스를 향하고 이어서 워크피스의 표면에서 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<103> 특히, 기술한 설명은 3 가지(선형적, 공간적 특징) 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링방법의 주요 예시 특정 실시예들에 대응하며, 각기 제공된 이온빔(10)의 다른 특정 선형 공간(지향적, 방향적, 구성적) 모드 또는 방식에 따르며, 여기서 선형적으로 지향된 멀티 편향 이온 빔(20a, 20b, 또는 20c)은 선형적으로 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<104> 더욱이 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온 빔 밀링을 위한 방법의 이들 3가지 각각(선형적, 공간적 특징) 주요 예시적 특정 실시예들은 제공된 이온빔(10)을 멀티 편향 (예를 들어 두 번 또는 세 번 편향) 및 선형 지향의 3 가지 주요 특정 순간(타이밍) 모드 또는 방식들에 따라 실시되고, 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 선형 지향의 연속적 타입의 순간(타이밍) 모드 또는 방식, 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 선형 지향의 비연속적(주기적, 비주기적, 또는 펄스식) 타입의 순간(타이밍) 모드 또는 방식, 및 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 선형 지향의 연속적 타입 및 비연속적 타입의 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 조합으로부터 선택되며, 여기서, 선형적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)은 선형적으로 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다. 이러한 예시적 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔을 위한 방법의 특정 바람직한 실시예들을 이하 바로 이어서 설명한다.

<105> 제 1 주(선형적 공간적 특징) 예시적 특정 바람직한 실시예에 있어서, 제공된 이온빔(10)은 적어도 두 번 편향된 다음(멀티 편향) 선형적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a)을 형성하기 위해 선형적으로 지향되고, 상기 이온 빔(20a)은 상기 세로축(40)[즉, x 축(양의 z 축 영역에서)] 위쪽 방향에서 연장하고, 워크피스를 향하며 이어서 워크피스의 표면에서 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<106> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 선형 지향의 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속 타입에 따라 제공된 이온빔(10)은 적어도 일시적으로 연속적으로 두 번(멀티 편향) 편향되고, 이 빔은 상기 세로 축(40) 위쪽 방향으로[즉, x 축(양의 z 축 영역에서)] 일시적으로 연속적으로 선형적으로 지향되고, 연장하여, 워크피스를 향하고, 이어서 워크피스의 표면에서 일시적으로 연속적으로 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<107> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 선형적으로 지향하는 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 비연속적 타입에 따라, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 적어도 두 번 편향(멀티 편향)된 다음 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향되어 일시적으로 비연속적으로

(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a)을 형성하는데, 상기 이온빔은 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향되어 상기 세로축(40) 위쪽 방향[즉, x 축(양의 z 축 영역)에서] 연장하여 워크피스를 향하며 이어서 워크피스의 표면에서 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

- <108> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 선형적으로 지향하는 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속적 및 비연속적 타입의 조합에 따라, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 적어도 두 번 편향(멀티 편향)된 다음 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향되어 일시적으로 연속적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a)을 형성하는데, 상기 이온빔은 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향되어 상기 세로축(40) 위쪽 방향[즉, x 축(양의 z 축 영역)에서] 연장하여 워크피스를 향하며 이어서 워크피스의 표면에서 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <109> 두 번째(선형적 공간적 특징) 예시적 특징 바람직한 실시예에 있어서, 제공된 이온빔(10)은 적어도 두 번 편향된 다음(멀티 편향) 선형적으로 지향되어 선형적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20b)을 형성하는데, 상기 이온빔은 상기 세로 축(40) 아래쪽 방향으로[즉, x 축(음의 z 축 영역에서)] 선형적으로 지향되고 연장하여 워크피스를 향하고, 이어서 워크피스의 표면에서 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <110> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속 타입에 따라, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 연속적으로 적어도 두 번(멀티 편향) 편향된 다음, 일시적으로 연속적으로 선형적으로 지향되어 일시적으로 연속적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20b)을 형성하는데, 이 빔은 상기 세로 축(40) 아래쪽 방향으로[즉, x 축(음의 z 축 영역에서)] 일시적으로 연속적으로 선형적으로 지향되고, 연장하고, 워크피스를 향하고, 이어서 워크피스의 표면에서 일시적으로 연속적으로 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <111> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 비연속 타입에 따라, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 적어도 두 번(멀티 편향) 편향된 다음, 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향되어 선형적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20b)을 형성하는데, 이 빔은 상기 세로 축(40) 아래쪽 방향으로[즉, x 축(음의 z 축 영역에서)] 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향되고, 연장하여, 워크피스를 향하며, 이어서 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 워크피스의 표면에서 일시적으로 연속적으로 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <112> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 비연속 타입 또는 비연속 타입에 따라, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 연속적으로, 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 적어도 두 번(멀티 편향) 편향된 다음, 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향되어 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 지향된 멀티 편향 이온빔(20b)을 형성하는데, 이 빔은 상기 세로 축(40) 아래쪽 방향으로[즉, x 축(음의 z 축 영역에서)] 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향되고, 연장하고, 워크피스를 향하며, 이어서 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 워크피스의 표면에서 일시적으로 연속적으로 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <113> 세 번째 주(선형적 공간적 특징) 예시적 특징 바람직한 실시예에 있어서, 제공된 이온빔(10)은 적어도 두 번 편향(멀티 편향)된 다음, 선형적으로 지향되어 선형적으로 지향된 멀티 지향 이온빔(20c)을 형성하는데, 이 빔은 세로축(40)의 방향에서 그를 따라[즉 x 축(in z = 0 영역) 선형적으로 지향 연장되어 워크피스 축(40)이 워크피스를 향하며, 이어서, 워크피스의 표면에서 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <114> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속 타입에 따라, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 연속적으로 적어도 두 번(멀티 편향) 편향된 다음, 일시적으로 연속적으로 선형적으로 지향되어 일시적으로 연속적으로 선형적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)을 형성하는데, 이 빔은 세로축(40)의 방향에서 그를 따라[즉 x 축(in z = 0 영역) 일시적으로 연속적으로 선형적으로 지향 연장되어 워크피스 축(40)이 워크피스를 향하고, 이어서, 워크피스의 표면에서 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <115> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 비연속 타입에 따라, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 적어도 두 번(멀티 편향) 편향된 다음, 일시적

으로 연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향되어 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)을 형성하는데, 이 빔은 세로축(40)의 방향에서 그를 따라[즉 x 축(in z = 0 영역) 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향 연장되어 워크피스 축(40)이 워크피스를 향하고, 이어서, 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 워크피스의 표면에서 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<116> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속 타입 및 비연속 타입의 조합에 따라, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 연속적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 적어도 두 번(멀티 편향) 편향된 다음, 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향되어 일시적으로 비연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)을 형성하는데, 이 빔은 세로축(40)의 방향에서 그를 따라[즉 x 축(in z = 0 영역) 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 선형적으로 지향 연장되어 워크피스 축(40)이 워크피스를 향하고, 이어서, 일시적으로, 연속적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 워크피스의 표면에서 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<117> **워크피스 이온빔 밀링의 회전 공간 모드 또는 방식**

<118> 도 2를 참조하여 제공된 이온빔(10)은 세로축(40) 방향에서 그를 따라[즉, x 축(in z = 0 영역) 선형적으로 지향되고 그리고 연장한다. 그러면 선형적으로 지향된 제공된 이온빔(10)은 적어도 두 번 편향(멀티 편향) 및 회전적으로 지향되어 변경 즉, 변환되어 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 또는 20b, 또는 20c)이 되고, 이는 회전적으로 지향되고 각기 세로축(40) 주위에서, 워크피스를 향하여 '원추형으로' 또는 '유사 원추형으로' 연장하고(도 2에 있어서, 큰 대시 라인으로 사시적으로 도시한 원(52)으로 도시) 또는 '원통형(도 2에 있어서, 작은 대시 라인으로 사시적으로 도시한 원(54)으로 도시)으로 연장하고, 워크피스의 표면에서 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<119> 특히, 선행의 설명은 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링을 위한 방법의 두 가지(회전적, 공간적 특징) 주 예시적 바람직한 실시예들에 대응하고, 각기 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향(예를 들어 두 번 또는 세 번 편향) 및 지향의 다른 특정 회전 공간(지향적, 방향적, 구성적) 모드 또는 방식에 대응하며, 여기서 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 또는 20b 또는 20c)은 회전적으로 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<120> 더욱이 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링을 위한 방법의 이들 두 가지(회전적 공간적 특징) 주 예시적 특정 실시예들은 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향(예를 들면, 두 번 또는 세 번 편향) 및 회전적으로 지향하는 3 가지 주요 다른 특정 순간(타이밍) 모드 또는 방식에 따라 실시되고, 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 회전적 지향의 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속적 타입, 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 회전적 지향의 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 비연속적(주기적, 비주기적, 또는 펄스식) 타입 및 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 회전적 지향의 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속적 타입 및 비연속적 타입의 조합으로 선택되는데, 여기서 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 또는 20b, 또는 20c)은 워크피스의 표면을 향해 회전적으로 지향되고, 그에 입사하여 동작하여 그 표면을 밀링한다. 워크피스의 멀티 편향된 이온빔 밀링을 위한 이러한 예시적 특정 바람직한 실시예들은 이어서 바로 이하에 기술한다.

<121> 제 1 주(회전적 공간적 특징) 예시적 특정 바람직한 실시예에 있어서, 제공된 이온빔(10)은 적어도 두 번 편향된 다음 회전적으로 지향되어 회전적으로 지향된 이온빔(20a 또는 20b)을 형성하는데, 이는 세로축(40) 주위에서 워크피스를 향하여 '원추형으로' 또는 '유사 원추형으로' 회전적으로 지향되고, 이어서 워크피스의 표면에 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<122> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 원추형 또는 유사 원추형 회전적으로 지향하는 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속 타입에 따르면, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 연속적으로 적어도 두 번 편향(멀티 편향)된 다음 일시적으로 연속적으로 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a 또는 20b)을 형성하는데, 이는 일시적으로 연속적으로 회전적으로 지향되고 그리고 원추형으로 또는 유사 원추형으로 워크피스를 향해 연장하고, 이어서 워크피스의 표면에 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<123> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 원추형 또는 유사 원추형 회전적으로 지향하는 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 비연속 타입에 따르면, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 적어도 두 번 편향(멀티 편향)된 다음 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 회전적으로 지향된

멀티 편향 이온빔(20a 또는 20b)을 형성하는데, 이는 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 회전적으로 지향되고 그리고 원추형으로 또는 유사 원추형으로 워크피스를 향하여 연장하고, 이어서 워크피스의 표면에 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

- <124> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 원추형 또는 유사 원추형 회전적으로 지향하는 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속적 타입과 비연속 타입의 조합에 따르면, 제공된 이온빔(10)은 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 적어도 두 번 편향(멀티 편향)된 다음 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 회전적으로 멀티 편향 지향된 이온빔(20a 또는 20b)을 형성하는데, 이는 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 회전적으로 지향되고 그리고 원추형으로 또는 유사 원추형으로 연장하여 워크피스를 향하고, 이어서 워크피스의 표면에 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <125> 제 2 주(회전적 공간적 특징) 예시적 특징 바람직한 실시예에 있어서, 제공된 이온빔(10)은 적어도 두 번 편향된(멀티 편향되고) 다음 회전적으로 지향되어 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)을 형성하는데. 이 이온빔은 세로축(40) 주위에서 회전적으로 지향되고 '원통형으로' 연장하여 워크피스를 향하고, 이어서 워크피스의 표면에 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링하며, 제공된 이온빔(10)은 세로축(40)과 동축이다.
- <126> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 원통형 회전형 지향의 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속 타입에 따르면, 제공된 이온빔(10)은 순간적으로 연속적으로 적어도 두 번 편향(멀티 편향)된 다음, 일시적으로 연속적으로 회전적으로 지향되어 일시적으로 연속적으로 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)을 형성하는데, 이 이온빔은 세로축(40) 주위에서 일시적으로 연속적으로 회전적으로 지향되고 '원통형으로' 연장하여 워크피스를 향하고, 이어서 워크피스의 표면에 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <127> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 원통형 회전형 지향의 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속 타입에 따르면, 제공된 이온빔(10)은 순간적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 적어도 두 번 편향(멀티 편향)된 다음, 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 회전적으로 지향되어 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)을 형성하는데, 이 이온빔은 세로축(40) 주위에서 일시적으로 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 회전적으로 지향되고 '원통형으로' 연장하여 워크피스를 향하고, 이어서 워크피스의 표면에 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <128> 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 원통형 회전형 지향의 순간(타이밍) 모드 또는 방식의 연속 타입에 따르면, 제공된 이온빔(10)은 순간적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 적어도 두 번 편향(멀티 편향)된 다음, 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 회전적으로 지향되어 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)을 형성하는데, 이 이온빔은 세로축(40) 주위에서 일시적으로 연속적으로 및 비연속적으로(주기적으로 또는 비주기적으로) 회전적으로 지향되고 '원통형으로' 연장하여 워크피스를 향하고, 이어서 워크피스의 표면에 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.
- <129> 도 2를 참조하면, 상기 예시적으로 기술한 두 개의(회전적 공간적 특징) 주 예시적 특징 실시예들 및 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링의 방법의 그 각각의 3 개의 순간(타이밍) 모드와 관련하여, 원추형으로 또는 유사 원추형으로 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a 또는 20b)은 세로축(40)(원(52)) 주위에서 시계방향, 반 시계 방향 또는 시계 방향 및 반 시계 방향의 조합에 따른다.
- <130> 더욱이 세로축(40)(원(52)) 주위에서 원추형으로 또는 유사 원추형으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a 또는 20b)의 시계 방향, 반 시계 방향 또는 시계 방향 및 반 시계 방향의 조합은 0도 이상이고 360도 이하인 부분적 회전에 따르고, 또는/그리고 360도이거나 그 이상인 적어도 하나의 완전한 회전에 따른다. 또한 세로축(40)(원(52)) 주위의 원추형으로 또는 유사 원추형으로 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a 또는 20b)의 그러한 부분적 또는/그리고 완전한 회전은 원추형 또는 유사 원추형 회전 운동의 진후(back-and-forth) 록킹 타입 또는/그리고 원추형 또는 유사 원추형 회전 운동의 연속적 또는/그리고 비연속적(주기적, 비주기적 또는 펄스식) 발진 타입에 따른다. 또한, 바로 전 기술한 세로축(40)(원(52)) 주위의 회전 운동인 시계 방향, 반 시계 방향 또는 시계 방향 및 반 시계 방향의 조합의 어느 하나에 따라 원추형으로 또는 유사 원추형으로 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a 또는 20b)은 일반적으로 원형 또는 타원형으로서 투영한다.
- <131> 원통형으로 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)은 세로축(원(54)) 주위에서 시계 방향, 반 시계 방향 또는 시계 방향 또는 반 시계 방향의 조합에 따른다. 또한, 원통형으로 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20

c)의 경우에, 세로축(40)은 제공된 이온빔(10)과 동축이므로, 세로축(40) 주위의 원통형으로 회전적으로 지향된 멀티 편향된 이온빔(20c)의 시계 방향 또는 반 시계 방향 회전은 제공된 이온빔(10)주위의 따라서 원통형으로 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔 (20c) 주위의 원통형으로 회전적으로 지향된 멀티 편향된 이온빔(20c)의 시계 방향 또는 반 시계 방향 회전과 동일하다.

<132> 더욱이 세로축(40)(원(54)) 주위의 원통형으로 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)의 시계 방향, 반 시계 방향 또는 시계 방향 또는 반 시계 방향의 조합은 0도 이상이거나 360도 이하인 부분 회전에 따르고 또는/그리고 360도이거나 그 이상인 적어도 하나의 완전한 회전에 따른다. 또한, 세로축(40)(원(54)) 주위의 원통형으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)의 그러한 부분적 또는/그리고 완전한 회전은 원추형 회전 운동의 전후 록킹 타입 또는/그리고 원추형 회전 운동의 연속적 또는/그리고 비연속적(주기적, 비주기적 또는 펄스식) 발진 타입에 따른다. 세로축(40)(원(54)) 주위의 원통형 회전 운동인 바로 전 기술한 시계 방향, 반 시계 방향 또는 시계 방향과 반 시계 방향의 조합에 따른 원통형으로 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20c)은 일반적으로 원으로서 투영한다.

<133> **지향된 멀티 편향 이온빔을 특징지우는 주요 파라미터**

<134> 도 2를 참조하면, 특정 선형 또는 회전 공간(지향적, 방향적, 구성적) 모드 또는 방식들에 따라 그리고 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향의 특정 연속 또는 비연속적 순간(타이밍) 모드 또는 방식들에 따라 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링을 위한 방법의 위에서 예시적으로 기술한 다른 일례의 특정 바람직한 실시예들의 경우에, 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b 또는 20c)은 워크피스의 표면에 지향되고, 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링하는데, 다음의 주요 파라미터들은 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b 또는 20c)을 특징 지우는데 적합한 한편, 워크피스의 표면에 지향되고, 입사하고 작용하여 그 표면을 밀링한다.

<135> 이온빔의 직경 또는 폭: 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편, 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 직경 또는 폭으로서, 워크피스의 이온빔 밀링의 넓은 이온빔(broad ion beam: BIB)의 경우에 이온빔의 직경 또는 폭은 바람직하게 약 30 마이크로미터와 2000 마이크로미터(2 밀리미터) 사이의 범위에 있으며, 보다 바람직하기로는 약 200 마이크로미터와 1000 마이크로미터(1 밀리미터) 사이의 범위에 있다. 워크피스의 이온빔 밀링의 포커스된 이온빔(focused ion beam:FIB)의 경우에 이온빔의 직경 또는 폭은 바람직하게 약 5 나노미터와 약 100 나노미터의 범위에 있다.

<136> 이온빔의 강도(에너지): 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편, 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 강도(에너지)로서, 바람직하게 약 0.5 keV(킬로-일렉트론 볼트)와 약 12 keV(킬로-일렉트론 볼트)의 범위에 있으며, 보다 바람직하기로는 약 1 keV와 약 10 keV 사이의 범위에 있다.

<137> 이온빔의 강도(에너지)의 1차 시간 도함수:  $d(\text{이온 빔 강도 또는 에너지})/dt$ , 여기서 t는 시간을 나타낸다. 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편, 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b 또는 20c)의 강도(에너지)의 순간 변화율에 대응하며, 시간에 따라 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a, 20b 또는 20c)의 강도(에너지)의 변화율.

<138> 이온빔의 강도(에너지)의 2차 시간 도함수:  $d^2(\text{이온빔 강도 또는 에너지})/dt^2$  여기서, t는 시간을 나타낸다. 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편, 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b 또는 20c)의 강도(에너지)의 시간 도함수에 대한 순간 변화율에 대응하며, 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a, 20b 또는 20c)의 강도(에너지)의 1 차 도함수의 변화율.

<139> 이온빔의 전류 밀도 또는 자속: 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편, 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 단위 단면적 당 전류 단위로 표현된 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 전류의 2차원(영역) 밀도 또는 자속. 바람직하게, 약  $0.08 \text{ mA/cm}^2$  (제공 센티미터당 밀리 암페어)와 약  $500 \text{ mA/cm}^2$  (제공 센티미터당 밀리 암페어)의 범위. 보다 바람직하기로는, 약  $0.1 \text{ mA/cm}^2$  와 약  $30 \text{ mA/cm}^2$  의 범위에 있다.

<140> 이온빔의 회전 각도 또는 각도 변위: 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편, 세로축(40) 주위에서 회전적으로 멀티 편향된 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 회전 각도 또는 각도 변위. 회전당 약 0도와 360도 사이의 범위에 있다.

- <141> 이온빔의 회전 각도 또는 각도 변위의 1차 시간 도함수:  $d(\text{이온빔의 회전 각도 또는 각도 변위})/dt$ , 여기서  $t$ 는 시간을 나타낸다. 시간에 따라 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편 세로축(40) 주위에서 회전적으로 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 회전 각도 또는 각도 변위의 변화율로서, 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편, 세로축(40) 주위에서 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 회전 각도 또는 각도 변위의 순간 변화율에 대응한다.
- <142> 이온빔의 회전 각도 또는 각도 변위의 2 차 시간 도함수:  $d^2(\text{이온빔의 회전 각도 또는 각도 변위})/dt^2$  여기서  $t$ 는 시간을 나타낸다. 시간에 따라 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편 세로축(40) 주위에서 회전적으로 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 회전 각도 또는 각도 변위의 시간 도함수의 변화율로서, 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편, 세로축(40) 주위에서 회전적으로 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 회전 각도 또는 각도 변위의 제 1 시간 도함수의 순간 변화율에 대응한다.
- <143> 이온빔의 방위, 경로, 또는 궤적: 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b 또는 20c)가 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하는 한편, 세로축(40)에 대해 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향에 대한 기술한 특정 선형 또는(원추형 또는 유사 원추형 또는 원통형) 회전 공간(지향적, 방위적, 구성적) 모드 또는 방식들에 대응하는 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 방위, 경로 또는 궤적.
- <144> 본 발명의 다른 주요한 특징은 기술한 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링을 위한 방법의 부 조합이므로, 다음의 단계들과 그 부품들 및 기능성을 포함하는 제공된 이온빔의 지향된 멀티 편향을 위한 방법이 제공되는데, 제공된 이온빔을 지향하고 적어도 두 번 편향해서 지향된 멀티 편향 이온빔을 형성하고, 제공된 이온빔을 편향 및 지향함으로써 지향된 하나의 편향된 이온빔을 형성하고 그리고, 지향된 하나의 편향된 이온빔을 편향 및 지향해서 멀리 편향된 이온빔의 타입을 갖는 지향된 두 번 편향된 이온빔을 형성하는 단계를 포함한다.
- <145> 또한 도 3, 4, 5, 8, 9 및 도 10을 추가로 참조하여 도 2를 참조하면, 제공된 이온빔을 지향된 멀티 편향하기 위한 방법은, 제공된 이온빔(10)을 지향하고 적어도 두 번 편향하여 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)을 형성하고, 제공된 이온빔(10)을 편향 및 지향함으로써 지향된 하나의 편향된 이온빔을 형성하되(예를 들어, 도 3 및 8에서 16a 또는 16b로서 도시; 그리고 도 4, 5, 9 및 10에 있어서 16으로서 도시), 그리고 지향된 하나의 편향된 이온빔(16a, 16b, 또는 16 각각)을 편향 및 지향해서 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b, 또는 20c)의 하나의 타입이 되는 지향된 적어도 편향된 이온빔을 형성하는 단계를 포함한다.
- <146> 본 발명의 다른 주요 특징은 워크피스의 지향된 멀티 편향된 이온빔 밀링을 위한 장치를 제공하는 것인데, 다음의 주요 부품 및 그 기능성을 포함하며; 이온빔을 제공하기 위한 이온빔 소스 어셈블리 및, 제공된 이온빔을 지향하고 적어도 두 번 편향해서 지향된 멀티 편향 이온빔을 형성하기 위한 이온빔 지향 및 멀리 편향 어셈블리를 포함하고, 여기서, 지향된 멀티 편향 이온빔은 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링한다.
- <147> 도 3은 도 2에 도시한 예시적 바람직한 실시예의 보다 상세한 변형의 측면도를 나타내는 개략도로서, 특히 이온빔 장치(100)가 되는 장치의 일례의 특정 바람직한 실시예를 나타내며, 상기 이온빔 장치는 이온빔 지향 및 멀리 편향 어셈블리(120)를 구비하여 이온빔(10)을 두 번 편향시키며, 도면은 또한 워크피스 촬상 및 밀링 검출 장치(300)의 일례의 특정 바람직한 실시예를 나타낸다.
- <148> 도 4는 도 2 및 도 3에 도시한 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링의 측면도를 나타내고 또한 워크피스의 크기를 결정 및 제어하며, 이온빔 장치(100)가 되는 장치의 보다 상세한 구성 레벨 변형의 측면도들을 도시하며, 상기 이온빔 장치는 이온빔(10)의 두 번 편향을 위해 구조 및 기능을 갖는 빔 지향 및 멀리 편향 어셈블리(120)를 포함한다.
- <149> 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링을 위한 방법의 다른 예시적 바람직한 실시예들의 기술한 설명은 특정 선형 또는 회전 공간(지향적, 방향적, 구성적)에 따르고 그리고 제공된 이온빔(10)의 멀티 편향 및 지향의 특정 연속적 또는 비연속적 순간(타이밍) 모드 또는 방식에 따르는데, 여기서, 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 20b 또는 20c)은 도 2에 도시한 바와 같이, 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링하고, 일반적으로, 도 3 및 도 4에 도시한 바와 같이 이온빔 장치인 장치를 예시적으로 기술하는데 적합하며, 또한 이온빔 장치(100)는 제공된 이온빔(10)을 특히 두 번 편향하기 위한 이온빔 지향 및 멀리 편향

어셈블리(120)를 포함한다.

- <150> 따라서 도 2, 3 및 도 4에 도시한 바와 같이, 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링을 위한 이온빔 장치(100)인 장치는 다음의 주요 부품 및 기능성을 갖는데: 이온빔 제공을 위한 이온빔 및 멀티 편향 어셈블리(110); 제공된 이온빔(10)의 지향 및 적어도 두 번 편향해서 지향된 멀티 편향 이온빔(20a, 또는 20b)(도 2 및 도 3에 있어서; 그리고 도 4에 있어서는 일반적으로 20으로 도시)을 형성하기 위한 이온빔 지향 및 멀티 편향 어셈블리(120)를 포함하는데, 여기서, 지향된 멀티 편향된 이온빔(20a, 또는 20b)(도 2 및 도 3에서; 도 4에서는 20)은 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링한다.
- <151> 전술한 바와 같이, 이온빔 소스 어셈블리(110)는 이온빔(10)을 제공하는 장치이고, 일반적으로 이온빔 어셈블리(110)는 예를 들어 비 이온화된 입자 공급 어셈블리(112)에 의해, 예를 들어 이온빔 소스 어셈블리(110)에 공급되는 비 이온화된 입자 공급을 이온화함으로써 이온빔(10)을 생성한다. 일반적으로 비 이온화된 입자 공급 어셈블리(112)는 이온빔 어셈블리(110)와 분리형이거나 일체형으로 된다. 바람직하게 비 이온화된 입자 공급 어셈블리(112)는 예를 들어 도 3 및 도 4에 도시한 바와 같이, 이온빔 어셈블리(110)와 분리형이거나 그에 동적으로 접속된다.
- <152> 일반적으로, 비 이온화된 입자 공급은 기본적으로, 이온화될 수 있는 화학적 임의 형태 및 상으로 되어 이온화된 형태에 있어서, 워크피스를 밀링할 수 있다. 바람직하게 비 이온화된 입자 어셈블리는 가스 및 액체 금속으로 이루어진 군으로부터 선택된다. 비 이온화된 입자 공급의 일례의 가스 타입은 아르곤 또는 크세논 등의 불활성 가스이다. 비 이온화된 입자 공급의 일례의 액체 금속 타입은 액체 갈륨이다.
- <153> 본 발명의 이온빔 장치(100)인 장치는 워크피스의 밀링의 넓은 이온빔(BIB) 타입을 수행하는데 사용되고, 또한 워크피스의 밀링의 포커스된 이온빔(FIB) 타입을 수행하는데 사용된다. 본 발명의 이온빔 장치(100)인 장치의 실시를 위한 넓은 이온빔(BIB) 타입의 경우에, 비 이온화된 입자 공급은 아르곤 또는 크세논 등의 불활성 가스이다. 또한, 본 발명의 이온빔 장치(100)인 장치의 실시를 위한 포커스된 이온빔(FIB) 밀링 타입의 경우에, 비 이온화된 입자 공급은 비 이온화된 입자 공급 특히 액체 갈륨의 액체 금속 타입이다. 바람직하게 비 이온화된 입자 공급(112)은 워크피스의 표면 상의 그리고 그 표면내의 결함의 생성을 방지하거나 최소화하기 위해 아르곤 또는 크세논 등의 불활성 가스여서 워크피스의 이온빔 밀링 동안 밀링된 표면의 품질을 개선할 수 있다.
- <154> 일반적으로 이온빔 장치(100), 이온빔 소스 어셈블리(110)는 각종의 다른 타입들로 될 수 있다. 예를 들어, 이온빔 어셈블리(110)는 이온빔 소스 어셈블리의 듀오플라스마트론(duoplasmatron)(BIB) 타입이거나 또한 이온빔 소스 어셈블리의 전자 충격(BIB) 타입이고, 여기서 각 비 이온화된 입자 공급(112)은 아르곤 또는 크세논 등의 불활성 가스이다.
- <155> 도 5는 도 2, 3 및 도 4에 도시한 바와 같이, 워크피스의 지향된 멀티 편향 이온빔 밀링의 사시도를 나타내는 개략도로서, 특히, 이온빔 제 1 편향 어셈블리(122) 및 이온빔 제 2 편향 어셈블리(124) 각각의 특정 바람직한 실시예를 나타내는데, 이들은 이온빔(10) 두 번 편향을 위한 구조 및 기능을 갖는 이온빔 장치(100)의 이온빔 지향 및 멀티 편향 어셈블리(120)에 포함된다.
- <156> 도 2, 3, 4 및 도 5를 참조하면, 이온빔 지향 및 멀티 편향 어셈블리(120)는 제공된 이온빔(10)을 지향하고 적어도 두 번 편향해서 지향된 멀티 편향 이온빔(20a 또는 20b)(도 2 및 도 3에서, 도 4 및 도 5에서는 20)을 형성하는데, 지향된 멀티 편향 이온빔(20a 또는 20b)(도 2 및 도 3에서, 도 4 및 도 5에서는 20)은 워크피스의 표면을 향해 지향되고, 그에 입사하여 작용하고 그리고 그 표면을 밀링한다.
- <157> 이온빔 지향 및 멀티 편향 어셈블리(120)는 다음의 주요 부품 및 그 기능성을 갖는데, 제공된 이온빔(10)을 편향 및 지향해서 지향된 하나의 편향 이온빔(16a, 또는 16b)(도 3에서, 도 4 및 도 5에서는 16)형성을 위한 이온빔 제 1 편향 어셈블리(122), 및 하나의 편향된 이온빔(16a, 또는 16b)(도 3에서, 도 4 및 도 5에서는 16)을 편향 및 지향해서 지향된 두 번 편향된 이온빔(20a 또는 20b)(도 2에서, 도 4 및 도 5에서는 20)을 각기 형성하는 이온빔 제 2 편향 어셈블리(124)를 구비하며, 이는 각기 지향된 멀티 편향 이온빔(20a 또는 20b)(도 2에서, 도 4 및 도 5에서는 20)의 형태이다.
- <158> 일반적으로 이온빔 제 1 편향 어셈블리(122)는 한 세트의 두 쌍의 바람직하게 대칭적으로 위치한 정전 판 또는 전극들을 구비하고, 각 쌍의 정전 판 또는 전극들은 소정의 분리 간격으로 분리된다. 예를 들어, 도 4와 도 5를 참조할 때, 이온빔 제 1 편향 어셈블리(122)는 한 세트의 두 쌍의 바람직하게 대칭적으로 위치한 정전 판 또는 전극 즉, 제 1 쌍의 대칭적으로 위치한 정전판 또는 전극들(122a) 및 제 2 쌍의 대칭적으로 위치한 정전판 또는 전극들(122b)을 구비하는데, 각 쌍의 정전판 또는 전극들은 분리 간격으로 분리된다.

- <159> 이온빔 제 1 편향 어셈블리(122)에 있어서, 각 쌍의 정전관 또는 전극들은 즉, 제 1 쌍의 정전관 또는 전극들(122a) 및 제 2 쌍의 정전관 또는 전극들(122b)은 특히 도 4에 도시한 바와 같이 예를 들어 지정된  $P_1$  및  $P_2$ 의 동적으로 접속된 전압에 의해 전압을 공급받는다. 이온빔 제 1 정전관 또는 전극들(122a)의 동작 동안, 전원( $P_1$ )에 의해 제 1 쌍의 정전관 또는 전극들(122a)에 공급된 전압의 크기 및 전원( $P_2$ )에 의해 제 2 쌍의 정전관 또는 전극들(122b)에 공급된 전압의 크기가 세로축(40)과 관련하여 일반적으로 제공된 이온빔(10) 바람직하게는 지향된 포커스된 이온빔(4)의 공간(선형 및 회전) 편향의 크기를 결정하여 지향된 하나의 편향된 이온빔(16a, 또는 16b)(도 3에서, 도 4 및 도 5에서는 16)을 형성한다.
- <160> 이온빔 제 1 편향 어셈블리(122)의 중요한 동작 목적은 최적으로 공간적으로(선형적으로 또는/그리고 회전적으로) 및 일시적으로(연속적으로 또는/그리고 비연속적으로) 일반적으로 제공된 이온빔(10)을 편향 및 지향시키는 것이고, 바람직하게는 이온빔 제 2 편향 어셈블리(124)의 내부 전극 공간 내로 지향된 포커스된 이온빔(14)을 편향 및 지향시키는 것이다.
- <161> 도 4를 참조하면, 이온빔 제1 편향 어셈블리(122)는 제공된 이온빔(10)을 편향시키는데, 일반적으로, 그리고 바람직하게는, 편향각, 혹은 여기서는  $\theta_D$ 로 언급한 편향각도에 따라, 길이방향 축(40)에 대해, 지향 집점된 이온빔(14)을 편향시킨다. 이것을 특히 도 4에 도시하였으며, 여기서 지향 집점된 이온빔(14)이 들어가 편향각  $\theta_D$ 에 따라 편향되고, 지향 1회 편향된 이온빔(16)의 형태로 이온빔 제1 편향 어셈블리(122)로부터 나간다.
- <162> 일반적으로, 이온빔 제2 편향 어셈블리(124)는 한 세트의 2개의(내측 및 외측) 대칭 및 동심으로 배치되고 구형으로 혹은 타원형으로 형상화되거나 구성된 정전기관들 혹은 전극들을 포함하고, 정전기관들 혹은 전극들은 소정의 분리 거리로 균일하게(즉, 원주에) 분리되어 있다. 예를 들면, 도 4 및 도 5를 참조하면, 이온빔 제2 편향 어셈블리(124)는 한 세트의 2개의 대칭 및 동심으로 배치되고 구형으로 혹은 타원형으로 형상화되거나 구성된 정전기관들 혹은 전극들, 즉 대칭 및 동심으로 배치되고 구형으로 혹은 타원형으로 형상화되거나 구성된 내측 정전기관 혹은 전극(124a), 및 대칭 및 동심으로 배치되고 구형으로 혹은 타원형으로 형상화되거나 구성된 외측 정전기관 혹은 전극(124b)을 포함하며, 이들 정전기관들 혹은 전극들은 분리 거리만큼 분리되어 있다.
- <163> 이온빔 제2 편향 어셈블리(124)에서, 각각의 정전기관 혹은 전극, 즉 내측 정전기관 혹은 전극(124a), 및 외측 정전기관 혹은 전극(124b)에는 동작적으로 접속된 지정된 전압, 예를 들면, 특히 도 4에 도시한 바와 같이, 각각,  $P_3$  및  $P_4$ 에 의해 제공되는 전압이 공급된다. 이온빔 제2 편향 어셈블리(124)의 동작에서, 전원( $P_3$ )에 의해 내측 정전기관 혹은 전극(124a)에, 그리고 전원( $P_4$ )에 의해 외측 정전기관 혹은 전극(124b)에 공급되는 전압의 크기는 각각 지향 복수-편향된 이온빔(20a 혹은 20b)(도 2 및 도 3에서; 도 4 및 도 5에서는 20) 유형인, 지향 2회 편향된 이온빔(20a 혹은 20b)(도 2 및 도 3에서; 도 4 및 도 5에서는 20)을 형성하기 위해, 지향 1회 편향된 이온빔(16a 혹은 16b)(도 3에서는 3; 도 4 및 도 5에서는 16)의 공간상의(선형 및 회전) 편향 정도를 결정한다.
- <164> 이온빔 제2 편향 어셈블리(124)를 동작시키는 중요 목적은 복수-편향된 이온빔(각각, 20a 혹은 20b)인 지향 2회 편향된 이온빔(20a 혹은 20b)(도 2 및 도 3에서; 도 4 및 도 5에서는 20) 형태로, 지향 1회 편향된 이온빔(16a 혹은 16b)(도 3에서; 도 4 및 도 5에서는 16)을 최적으로 공간적으로(선형으로 및/또는 회전적으로) 및 시간적으로(연속적으로 및/또는 불연속적으로) 편향 및 지향시켜, 지향 복수-편향된 이온빔(20a 혹은 20b)인 지향 2회 편향된 이온빔(20a 혹은 20b)이 작업물 표면을 향해 지향되고, 이에 입사하여, 충돌하여 밀링을 행하게 하는 것이다.
- <165> 도 4를 참조하면, 이온빔 제2 편향 어셈블리(124)는 작업물 표면에, 입사각, 여기서는  $\theta_1$ 라 칭한 입사각에 따라, 길이방향 축(40)에 대해, 지향 1회 편향된 이온빔(16)을 편향시키며, 각각 지향 복수-편향된 이온빔(20a 혹은 20b)인 지향 2회 편향된 이온빔(20a 혹은 20b)은 작업물 표면을 향해 지향되고, 이에 입사하여, 충돌하여 밀링을 행한다. 길이방향 축(40)에 대해 작업물 표면에, 각각 지향 복수-편향된 이온빔(20a 혹은 20b)인 지향 2회 편향된 이온빔(20a 혹은 20b)의 최대 입사각  $\theta_1$ 은 바람직하게는 약  $0^\circ$  내지  $90^\circ$ 의 범위, 보다 바람직하게는 약  $0^\circ$  내지 약  $30^\circ$ 의 범위이다.
- <166> 도 4에 도시한 바와 같이,  $\alpha_D:(90-\theta_D)$ 는 이온빔 제2 편향 어셈블리(124)의 내측 정전기관 혹은 전극(124a)의 정점에서 반각에 대응하고,  $\alpha_1:(90-\theta_1)$ 는 작업물에 면하여 있는 이온빔 제2 편향 어셈블리(124)의 제2 정전기

판 혹은 전극(124b)의 정점에서 반각에 대응한다.

- <167> 도 3 및 도 4를 참조하면, 이온빔 유닛(100)에서, 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)는, 바람직하게는, 제공된 이온빔(10)을 집점시켜 지향시키고, 지향 집점된 이온빔(14)을 형성하기 위해 이온빔 집점 어셈블리(126)를 더 포함한다. 도 4를 참조하면, 이온빔 집점 어셈블리(126)는 주 구성요소들로서 제1 정전기 렌즈(132), 제2 정전기 렌즈(134), 및 애퍼처(136)를 포함한다.
- <168> 제1 정전기 렌즈(132)는 이온빔 소스 어셈블리(110)에 의해 제공되는 이온빔(10)을 예비적으로 집점시키기 위한 것이다. 제1 정전기 렌즈(132)에는, 동작적으로 접속된 지정된 전원, 특히 도 4에 도시한 바와 같이, 예를 들면  $P_5$ 에 의해 제공되는 전압이 공급된다.
- <169> 제2 정전기 렌즈(134)는 이온빔 소스 어셈블리(110)에 의해 제공되는 이온빔(10)을 이온빔 제1 편향 어셈블리(122)의 제1 한 쌍의 정전기관들 혹은 전극들(122a)과 제2 한 쌍의 정전기관들 혹은 전극들(122b)간 전극간 공간에 다시 집점 및 지향시키기 위한 것이다. 제2 정전기 렌즈(134)에는 동작적으로 접속된 지정된 전원, 특히 도 4에 도시한 바와 같이, 예를 들면  $P_6$ 에 의해 제공되는 전압이 공급된다.
- <170> 애퍼처(136)는 이온빔 소스 어셈블리(110)에 의해 제공되는 이온빔(10)의 직경을 제한 혹은 한정시키기 위한 것이다.
- <171> 도 3 및 도 4를 참조하면, 이온빔 유닛(100)의 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)에서, 이온빔 집점 어셈블리(126)는, 제공되는 이온빔(10)이 고도의 정확도로 길이방향 축(40)과의 동축이 유지되도록, 옵션으로, 그리고 바람직하게는, 제공된 이온빔(10)을 길이방향 축(40)(즉, x축( $z=0$  영역에서))의 방향으로 이를 따라 편향시키기 위한 이온빔 편향 서브-어셈블리(128)에 동작적으로 접속되거나 이를 더욱 포함한다.
- <172> 도 3 및 도 4를 참조하면, 이온빔 유닛(100)에서, 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)는, 바람직하게는, 지향 추출된 이온빔(12)을 형성하기 위해, 이온빔 소스 어셈블리(110)에 의해 제공되는 이온빔(10)을 추출하여 지향시키는 이온빔 추출기 어셈블리(130)를 더 포함한다.
- <173> 도 3 및 도 4를 참조하면, 이온빔 유닛(100)에서, 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)는, 바람직하게는, 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)의 각종 어셈블리들, 서브-어셈블리들, 구성성분들, 및 요소들을 하우징하고, 도 11, 도 12 및 도 13을 참조하여 후술하는 바와 같이, 진공유닛, 특히 시스템(70)의 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210)에 동작적으로 접속될 때 이온빔 유닛(100)의 진공환경이 유지될 수 있게 하는 이온빔 진공 챔버 어셈블리(150)를 또한 포함한다.
- <174> 도 5는 도 2, 도 3 및 도 4에 도시한 작업물의 지향 복수-편향된 이온빔 밀링의 개략 사시도로서, 특히, 이온빔(10)을 2회 편향시키게 구성 및 기능하는, 이온빔 유닛(100)의 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120) 내 포함된, 이온빔 제1 편향 어셈블리(122) 및 이온빔 제2 편향 어셈블리(124) 각각의 구체적인 바람직한 실시예를 도시한 것이다.
- <175> 도 6a-6e는 길이방향 축(40) 주위로  $0^\circ$  내지  $360^\circ$  범위로 회전하고 작업물 표면을 향하여 지향되고 이에 입사하여 충돌하여 밀링을 행하는 지향 복수-편향된 이온빔(20)의 지향 2회 편향된 이온빔 유형에 대응하여, 제1 이온빔 편향 어셈블리(122) 및 제2 이온빔 편향 어셈블리(124a, 124b)에 의해, 작업물과 동축으로 임의의 할당된 길이방향 축(40)에 대해서, 지향 및 복수-편향되는 회전(각도로)하는 일련의 이온빔의 개략 사시도이다.
- <176> 도 7a는 제1 유형의 전형적인 작업물(일반적으로 직사각 형상의 슬래브)의 표면을 향해 지향되고 이에 입사하고 충돌하여 밀링을 행하는 지향 복수-편향된 이온빔(20(2회 편향된) 혹은 22(3회 편향된))의 개략적 확대한 사시도로서, 특히, 이온빔(22 혹은 22), 표면, 및 작업물의 상대적 기하학적 구조 및 크기를 도시한 것이다. 도 7b는 제2 유형의 전형적인 작업물(표면(마스크를 구비한)이 예를 들면 도 1에 도시한 것과 유사하게 샘플 홀더 요소에 의해 보유되는 반도체 웨이퍼 혹은 칩의 부분의 전형적인 샘플)의 표면을 향해 지향되고 이에 입사하고 충돌하여 밀링을 행하는 지향 복수-편향된 이온빔(20(2회 편향된) 혹은 22(3회 편향된))의 개략적 확대한 사시도로서, 특히, 이온빔(22 혹은 22), 표면, 및 작업물의 상대적 기하학적 구조 및 크기를 도시한 것이다. 지향 복수-편향된 이온빔(20(2회 편향된) 혹은 22(3회 편향된))의 직경  $d$ 는 바람직하게는 30미크론 내지 약 2000미크론(2mm)의 범위이고 더욱 바람직하게는 약 200미크론 내지 약 1000미크론(1mm)의 범위이다.
- <177> 도 8은 도 2에 도시한 바람직한 실시예의 상세히 한 개략적 측면도로서, 특히, 이온빔(10)을 3회 편향시키기 위해 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)를 포함하여, 이온빔(100)의 구체적인 바람직한 실시예와, 작업물

이미징 및 밀링 검출유닛(300)의 구체적인 바람직한 실시예를 도시한 것이다.

- <178> 지향 복수-편향된 이온빔(20a, 20b 혹은 20c)은 도 2에 도시한 바와 같이 작업물 표면을 향해 지향되고 이에 입사하여 충돌하여 밀링을 행하는 것으로, 복수-편향 및 지향하여 제공되는 이온빔(10)이 작업물에 지향 복수-편향된 이온빔 밀링을 특정의 선형 혹은 회전 공간적(지향성, 방위적, 구성적) 모드들 혹은 방식들에 따라서, 그리고 특정의 연속적 혹은 불연속적 시간적(타이밍) 모드들 혹은 방식들에 따라 행하는 서로 다른 구체적 바람직한 실시예들에 대해 전술한 바는 도 8에 도시한, 이온빔 유닛(100)인 디바이스를 예시적으로 기술하기 위해 일반적으로 적용될 수 있고, 여기서 이온빔 유닛(100)은 구체적으로는 제공된 이온빔(10)을 3회 편향시키는 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)를 포함한다.
- <179> 도 9는 도 2 및 도 8에 도시한, 지향 복수-편향된 이온빔이 작업물을 밀링하고, 밀링 정도를 결정 및 제어하는 개략적 측면도로서, 특히, 이온빔(10)을 2회 편향시키기 위해 구성 및 기능하는 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)를 포함하여, 이온빔 유닛(100)의 구성성분을 보다 상세한 도시한 측면도이다.
- <180> 도 10은 도 2, 도 8 및 도 9에 도시한, 지향 복수-편향된 이온빔이 작업물을 밀링하는 개략적 사시도로서, 특히, 이온빔(10)을 3회 편향시키기 위해 구성 및 기능하는 이온빔 유닛(100)의 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120) 내 포함된, 이온빔 제1 편향 어셈블리(122), 이온빔 제2 편향 어셈블리(124), 및 이온빔 제3 편향 어셈블리(140)의 구체적인 바람직한 실시예를 도시한 것이다.
- <181> 본 발명의 또 다른 주요 면은 지향 복수-편향된 이온빔으로 작업물을 밀링하기 위한 디바이스의 서브-조합이며, 이에 의해서, 주 구성성분들 및 이의 기능들로서, 지향 복수-편향된 이온빔을 형성하기 위해, 제공되는 이온빔을 지향시키고 적어도 2회 편향시키는 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리를 포함하고, 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리는 지향 1회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 제공된 이온빔을 편향 및 지향시키는 이온빔 제1 편향 어셈블리, 및 복수-편향된 이온빔 유형인 지향 2회 편향된 이온빔을 형성하기 위해 상기 지향 1회 편향된 이온빔을 편향 및 지향시키는 이온빔 제2 편향 어셈블리를 포함하는 것인, 제공된 이온빔을 지향 복수-편향시키는 디바이스가 제공된다.
- <182> 본 발명의 또 다른 주요 면은 주요 구성성분들로서, 이온빔을 제공하기 위한 이온빔 소스 어셈블리와, 지향 복수-편향된 이온빔을 형성하기 위해, 제공된 이온빔을 지향시키고 적어도 2회 편향시키기 위한 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리를 포함하며 지향 복수-편향된 이온빔이 작업물 표면을 향해 지향되고 이에 입사하여 충돌하여 밀링을 행하는, 이온빔 유닛; 및 이온빔 유닛에 동작되게 접속되어, 이온빔 유닛 및 작업물에 대해 진공환경을 제공하고 유지하는 진공유닛을 포함하는, 지향 복수-편향된 이온빔이 작업물을 밀링하기 위한 시스템의 제공이다.
- <183> 바람직하게, 진공유닛은 작업물을 포함한다. 보다 구체적으로, 바람직하게, 작업물은 예를 들면 작업물 조작 및 위치결정 유닛에 작업물의 동작적 접속에 의해, 지향 복수-편향된 이온빔에 대해서, 그리고 진공유닛의 진공 챔버 어셈블리에 대해서, 정지된(정적 혹은 고정된) 구성으로, 혹은 이동가능한 구성으로, 착탈가능한 구성으로도, 진공유닛의 진공 챔버 어셈블리 내에 포함된다.
- <184> 바람직하게, 시스템은 이온빔 유닛 및 진공유닛에 전자장치를 제공하여 이들의 프로세스 제어를 할 수 있도록, 이온빔 유닛 및 진공유닛에 동작이 되게 접속되는 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들을 또한 포함한다. 옵션으로, 그리고 바람직하게, 시스템은 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛, 작업물 조작 및 위치결정 유닛, 진동방지 유닛, 구성성분 이미징 유닛, 및 작업물 분석유닛을 구성된 그룹에서 선택된 적어도 하나의 추가적 유닛을 더 포함하고, 각각의 추가적 유닛은 진공유닛에 동작이 되게 접속된다. 바람직하게, 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들은 이온빔 유닛 및 진공유닛과 동작면에서 일체화된 방식으로, 각 추가의 유닛에 전자장치를 제공하고 유닛의 프로세스 제어를 가능하게 하도록, 각 추가 유닛에 동작적으로 접속된다.
- <185> 도 11은 주요 구성성분들로서, 전술한 이온빔 유닛(100) 및 진공유닛(200)을 포함하는 것으로서, 지향 복수-편향된 이온빔이 작업물을 밀링하기 위해, 여기서는 일반적으로 시스템(70)이라 칭한 시스템의 바람직한 실시예의 블록도이다. 바람직하게, 진공유닛(200)은 작업물을 포함한다. 도 12는 도 11에 도시한, 지향 복수-편향된 이온빔이 작업물을 밀링하기 위한, 시스템(70) 및 이의 추가의 유닛들의 (등시적) 개략적 사시도이다. 도 13은 도 11 및 도 12에 도시한 시스템(70)의 (등시적) 개략적 평면도이다.
- <186> 도 11, 도 12, 도 13에 도시한 시스템(70)에서, 도 2-10을 참조로, 앞에 예시적으로 기술된 바와 같이, 이온빔 유닛(100)은 이온빔(10)을 제공하기 위한 이온빔 소스 어셈블리(110), 및 지향 복수-편향된 이온빔(20)을 형성하기 위해, 제공된 이온빔(10)을 지향시키고 적어도 2회 편향시키는 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)를

포함하고, 지향 복수-편향된 이온빔(20)은 작업물 표면을 향해 지향되고 이에 입사하고 충돌하여 밀링을 행한다. 진공유닛(200)은 이온빔유닛(100) 및 작업물을 위해 진공환경을 제공하고 유지하기 위한 이온빔 유닛(100)에 동작적으로 접속된다. 바람직하게, 도 11, 도 12 및 도 13에 도시한 바와 같이, 시스템(70)은 이온빔 유닛(100) 및 진공유닛(200)에 전자장치를 제공하여 이들의 프로세스 제어를 행할 수 있도록, 이온빔 유닛(100) 및 진공유닛(200)에 동작이 되게 접속된 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들(800)(예를 들면, 도 11에서, 이온빔 유닛(100) 및 진공유닛(200)의 동작적인 접속에 교차하여 보다 큰 타원으로 표시되었음)을 더욱 포함한다.

<187> 옵션으로, 그리고 바람직하게, 시스템(70)은 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300), 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400), 진동방지 유닛(500), 구성성분 이미징 유닛(600), 및 적어도 하나의 작업물 분석유닛(700)으로 구성된 그룹에서 선택된 적어도 하나의 추가의 유닛을 더 포함하고, 각각의 추가의 유닛은 진공유닛(200)에 동작적으로 접속된다. 바람직하게, 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들(800)은 이온빔 유닛(100) 및 진공유닛(200)과 동작면에서 일체화된 방식으로, 각 추가의 유닛에 전자장치를 제공하고 유닛의 프로세스 제어를 가능하게 하도록, 각 추가 유닛에 동작적으로 접속된다.

<188> 따라서, 본 발명은 즉 작업물에 지향 복수-편향된 이온빔의 밀링을 위한 시스템, 즉 시스템(70)의 여러 대안적 구체적인 바람직한 실시예들을 제공한다.

<189> 비제한적으로, 도 12 및 도 13에 도시한 바와 같이, 시스템(70)의 몇 개의 유닛들 혹은 이들의 구성성분들은 적함하게 구성된 지지요소들, 레그들, 브라켓들, 및 휠과 같은 가동(mobile) 요소들을 포함하여, 고정된 혹은 가동 테이블, 스탠드 혹은 프레임 유형의 시스템 지지 어셈블리(900)에 직접 실장되어 이들에 동작이 되게 접속되고, 이외 다른 시스템 유닛들 혹은 이들의 구성성분들은 시스템 지지 어셈블리(900)에 직접 실장되는 시스템 유닛들 혹은 이들의 구성성분들에 실장된다.

<190> 언급한 바와 같이, 도 11, 도 12 및 도 13을 참조하여, 시스템(70)에서, 바람직하게는 작업물을 포함하는 진공 유닛(200)은 이온빔 유닛(100) 및 작업물에 대해 진공환경을 제공하여 유지하기 위해 이온빔 유닛(100)에 동작이 되게 접속된다. 진공유닛(200)은 시스템(70)의 동작상의 추가적 유닛들만이 아니라, 이온빔 유닛(100) 및 작업물의 전체적인 구조물 혹은 하우징으로서도 기능한다.

<191> 진공유닛(200)의 기능 및 동작에 관하여, 진공유닛(200)은 다음의 주요 구성성분들로서, 진공 챔버 어셈블리(210), 작업물 삽입/제거 어셈블리(220), 진공 게이지 어셈블리, 프리-펌프 어셈블리, 고진공 펌프 어셈블리, 및 진공 분배 어셈블리를 포함한다.

<192> 진공 챔버 어셈블리(210)는, 특히 도 2, 3, 4, 8, 9에 도시한 바와 같이, 이온빔 유닛(100) 및 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)에 관련하여, 또한 도 12에서, 각종 시스템 유닛들에 관련하여, 시스템(70)의 이온빔 유닛(100)과 이의 구성성분들, 및 각종 가능한 선택적 추가의 유닛들 및 이들의 구성성분들을 위한 진공환경을 제공하는 구조물로서 기능한다. 진공 챔버 어셈블리(210)는 시스템(70)의 이온빔 유닛(100)과 이의 구성성분들, 및 각종 가능한 선택적 추가의 유닛들과 이들의 구성성분들의 의 전체적인 구조물 혹은 하우징으로서도 기능한다. 예를 들면, 바람직하게, 작업물은 예를 들면 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)에 작업물의 동작적 접속에 의해, 지향 복수-편향된 이온빔에 대해서, 그리고 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210)에 대해서, 정지된(정적 혹은 고정된) 구성으로, 혹은 이동가능한 구성으로, 착탈가능한 구성으로도, 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210) 내에 포함된다.

<193> 진공 챔버 어셈블리(210)는 시스템(70)의 전체적인 진공환경의 위치이다. 진공 챔버 어셈블리(210)는 이온빔 유닛(100)에, 그리고 시스템(70)의 각각의 선택적 추가의 유닛으로서, 예를 들면 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300), 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400), 진동방지 유닛(500), 구성성분 이미징 유닛(600), 및 적어도 하나의 작업물 분석유닛(700)에 동작적으로 접속된다. 진공 챔버 어셈블리(210)는 작업물 삽입/제거 어셈블리(220), 및 진공 게이지 어셈블리를 하우징한다. 그 외 어셈블리들, 즉 진공유닛(200)의 진공 게이지 어셈블리, 프리-펌프 어셈블리, 고진공 펌프 어셈블리, 및 진공 분배 어셈블리는 시스템(70) 전체를 통해 여러 서로 다른 위치들에 배치되고, 진공 챔버 어셈블리(210)에 동작적으로 접속된다.

<194> 작업물 삽입/제거 어셈블리(220)(예를 들면, 도 12에 일부가 도시됨)는 예를 들면 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)(도 15)을 통해 작업물을 진공 챔버 어셈블리(210)에 삽입하고 진공 챔버 어셈블리(210)로부터 작업물을 제거할 수 있게 하는 기능을 한다. 작업물 삽입/제거 어셈블리(220)의 제1 구체적 실시예는 진공 챔버 어셈블리(210)에 작업물 삽입시, 혹은 진공 챔버 어셈블리(210)로부터 작업물 제거시에 동작하는 밀봉된 셔터 혹은 셔터유사 요소 형태이다. 작업물 삽입/제거 어셈블리(220)의 제2 구체적 실시예는 에어 록 형태이다.

- <195> 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)을 포함하는 시스템(70)의 바람직한 실시예에서, 예를 들면 에어 록 형태의 작업물 삽입/제거 어셈블리(220)는 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)을 통해, 작업물을 진공 챔버 어셈블리(210)에 삽입시, 혹은 작업물을 진공 챔버 어셈블리(210)에서 제거할 때, 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210) 도처의 진공환경을 보전하는 기능을 한다. 이러한 작업물 삽입/제거 어셈블리(220)는 전형적으로 주요 구성성분들로서 챔버, 및 연결밸브를 포함한다.
- <196> 도 15를 참조하면, 이러한 실시예에서, 챔버는 작업물 홀더 어셈블리(420)에 작업물 로딩, 혹은 작업물 홀더 어셈블리(420)로부터 작업물 언로딩이 행해지는 지역 혹은 볼륨 공간으로서 기능한다. 챔버의 내부환경은 작업물 홀더 어셈블리(420)에 작업물을 로딩하거나, 작업물 홀더 어셈블리(420)로부터 작업물의 언로딩의 실제 단계에 따라, 대기압에, 혹은 진공에 있다. 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)을 포함하는 시스템(70)의 바람직한 실시예에서, 예를 들면, 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)의 5-축/6 DOF(자유도) 작업물 조작 및 위치결정 어셈블리(410)는 에어 록 어셈블리의 챔버와 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210)간에 작업물 홀더 어셈블리(420)를 이송하는데 사용된다.
- <197> 또한, 이러한 실시예에서, 연결밸브는 에어 록 어셈블리의 챔버의 지역 혹은 볼륨 공간을 진공 챔버 어셈블리(210)의 지역 혹은 볼륨 공간에 결합할 뿐만 아니라 진공 챔버 어셈블리(210)의 지역 혹은 볼륨 공간으로부터 에어 록 어셈블리의 챔버의 지역 혹은 볼륨 공간을 분리하는 기능을 한다. 일반적으로, 연결밸브는 제2 챔버의 지역 혹은 볼륨 공간으로부터 제1 챔버의 지역 혹은 볼륨 공간을 분리할 뿐만 아니라, 제2 챔버의 지역 혹은 볼륨 공간에 제1 챔버의 지역 혹은 볼륨 공간을 수동, 반자동, 혹은 완전 자동으로 결합할 수 있게 기능하고 구성되는 임의 유형의 밸브이다. 바람직하게, 연결밸브는 에어 록 어셈블리 및 진공 챔버 어셈블리(210)의 챔버의 지역 혹은 볼륨 공간들의 결합 혹은 분리시 완전 자동 동작을 가능하게 하게 기능하고 구성된다. 대안적으로, 연결밸브는 에어 록 어셈블리 및 진공 챔버 어셈블리(210)의 챔버의 지역 혹은 볼륨 공간들의 결합 혹은 분리시 수작업을 할 수 있게 구성되고 기능한다.
- <198> 샘플 조작 및 위치결정 유닛(400)을 포함하지 않는 시스템(70)의 바람직한 실시예에서, 에어 록 형태의 작업물 삽입/제거 어셈블리(220)는 바람직하게는 작업물 홀더 수용기를 더 포함한다.
- <199> 진공 게이지 어셈블리는 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)을 통해, 작업물 홀더 어셈블리(420)에 작업물의 로딩, 혹은 작업물 홀더 어셈블리(420)로부터 작업물의 언로딩 전에, 혹은 중에, 혹은 후에 임의의 시간에, 진공 챔버 어셈블리(210) 내 존재하는 진공상태, 및 에어 록 어셈블리의 챔버 내에 존재하는 진공상태를 연속적으로 게이지 혹은 모니터하는 기능을 한다. 진공 게이지 어셈블리는 주요 구성성분들로서, 진공 챔버 어셈블리(210)에 동작적으로 연결된 적어도 한 진공 게이지, 및 에어 록 어셈블리의 챔버에 동작적으로 연결된 적어도 한 진공 게이지를 포함한다.
- <200> 진공유닛(200)에서, 프리-펌프 어셈블리, 및 고진공 펌프 어셈블리는 진공 챔버 어셈블리(210)를 약  $10^{-3}$  Torr 및 약  $10^{-6}$  Torr 아래로 각각 펌핑하기 위한 것이다. 진공유닛(200)은 예를 들면 진공 챔버 어셈블리(210)에서, 그리고 시스템(70)의 선택적 추가의 유닛들에서, 약  $10^{-10}$  Torr만큼 낮은 압력을 갖는 진공환경으로, 초고진공 상태를 제공하여 유지하기 위한 어셈블리들 및 관계된 환경을 옵션으로 포함한다.
- <201> 진공 분배 어셈블리는 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210)에 동작적으로 연결된 시스템(70)의 서로 다른 유닛들에 서로 다른 소정 레벨들의 진공을 분배하고 유지하며, 정압(positive pressure)의 시스템(70)의 서로 다른 유닛들을 퍼지하기 위한 것이다. 예를 들면, 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)을 통해, 작업물 홀더 어셈블리(420)에 작업물의 로딩, 혹은 작업물 홀더 어셈블리(420)로부터 작업물의 언로딩 전에, 혹은 중에, 혹은 후에 임의의 시간에, 진공유닛(200)의 에어 록 어셈블리를 퍼지한다.
- <202> 도 11, 도 12, 도 13, 도 14를 참조하여, 시스템(70)은, 옵션으로, 그리고 바람직하게, 작업물을 촬상하고, 작업물의 이온빔 밀링의 정도를 결정하고 제어하기 위한 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)을 포함한다. 바람직하게, 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)은 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210)에 동작적으로 연결된다.
- <203> 도 14는 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300), 및 이의 주요 구성성분들로서, 이온빔 유닛(600)에 관련하여, 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400), 구성성분 이미징 유닛(600), 및 작업물에 관련하여 이들 모두를 도 12 및 도 13에 도시한 시스템(70)의 부분으로서의 구체적 바람직한 실시예의 (동시적) 개략적 사시도이다.
- <204> 도 14를 참조하여, 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)은 주요 구성성분들로서, 스캐닝 전자 마이크로스코프

(SEM) 컬럼 어셈블리(310), 2차 전자 검출기 어셈블리(320), 백-스캐터링 전자 검출기 어셈블리(330), 및 투과 전자 검출기 어셈블리(340)를 포함한다. 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300), 및 이의 선택된 주요 구성성분들은 여기 도시된, 각종 시스템 유닛들, 및 이들의 어셈블리들과의 동작에 관련하여 도 2, 도 3, 도 4, 도 8, 도 9, 도 16, 도 17에 도시되었다.

- <205> SEM 컬럼 어셈블리(310)는 작업물의 표면을 따라 스캐닝하는, 302(도 2, 도 3, 도 4, 도 8, 도 9, 도 17a, 도 17b에서)로 언급되고, PE(도 16, 도 17a, 도 17b에서)로 언급된, 1차전자의 전자빔 프로브를 생성하기 위한 것이다.
- <206> 옵션으로, 그리고 바람직하게, 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)이 포함된 시스템(70)에서, 2차전자 검출기 어셈블리(320), 및/또는 백-스캐터링 전자 검출기 어셈블리(330)와 함께 포함된 SEM 컬럼 어셈블리(310)는 작업물의 표면을 물리적으로 분석하는 기능을 할 수 있다. 대안적으로, 혹은 추가로, SEM 컬럼 어셈블리(310)는 작업물의 벌크 물질을 물리적으로 분석하기 위해, 전자들이 통과할 수 있는 작업물에 대해, 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)의 투과된 전자 검출기 어셈블리(340)를 이용함으로써 STEM 모드에서 동작할 수 있다.
- <207> 2차전자 검출기 어셈블리(320)는 1차전자(302)(도 2, 도 3, 도 4, 도 8, 도 9, 도 17a, 도 17b)와 PE(도 16, 도 17a, 도 17b)와, 작업물 표면간의 상호작용의 결과로서, 작업물 표면으로부터 방출되는, 318(도 3 및 도 8)로 언급되고, 또한 SE(도 16)로 언급된, 2차전자들을 검출하기 위한 것이다. 작업물의 표면의 이미지를 얻기 위해, 검출된 2차전자(318)의 신호가 처리된다. 바람직하게, 2차전자 검출기 어셈블리(320)는 본 발명의 이행 동안 연속적으로 동작한다.
- <208> 백-스캐터링 전자 검출기 어셈블리(330)는 작업물의 서브-표면 및/또는 표면층들로부터 백-스캐터링되는 1차전자(302)(도 2, 도 3, 도 4, 도 8, 도 9, 도 17a, 도 17b) 및 PE(도 16, 도 17a, 도 17b)를 검출하기 위한 것이다. 작업물의 이미지들을 얻기 위해, 검출된 백-스캐터링된 1차전자(308)(도 3, 도 8)의 신호가 처리된다. 바람직하게, 백-스캐터링 전자 검출 어셈블리(330)는 본 발명의 이행 동안 연속적으로 동작한다.
- <209> 투과 전자 검출기 어셈블리(340)는 작업물을 통해 투과되는 1차전자(302)(도 2, 도 3, 도 4, 도 8, 도 9, 도 17a, 도 17b) 및 PE(도 16, 도 17a, 도 17b)를 검출하기 위한 것이다. 바람직하게, 투과 전자 검출기 어셈블리(340)는 본 발명의 이행 동안 연속적으로 동작한다.
- <210> 요약하여, 도 2에서, 여기서 일괄하여 304로 언급한 2차전자 및 백-스캐터링 전자들은 일반적으로 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)에 의해 검출되는 것으로 도시되었다.
- <211> 도 11, 도 12, 도 13, 도 15를 참조하면, 시스템(70)은, 옵션으로, 그리고 바람직하게, 작업물을 조작하기 위한 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)을 포함한다. 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)은 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210)에 동작적으로 접속된다.
- <212> 도 15는 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400) 및 이의 주요 구성성분들의 구체적인 바람직한 실시예의 (동시성) 개략적 사시도로서, 특히, 도 11, 12, 14에 도시된 시스템(70)의 일부로서, 작업물이 없을 경우(a), 작업물이 있을 경우(b) 작업물 홀더 어셈블리(420)의 확대도이다. 도 15에 도시한 바와 같이, 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)은 주요 구성성분들로서, 5축/6DOF(자유도) 작업물 조작 어셈블리(410), 작업물 홀더 어셈블리(420), 및 캘리브레이트 어셈블리(430)를 포함한다.
- <213> 5-축/6DOF(자유도) 작업물 조작기 어셈블리(410)는 지향 복수-편향된 이온빔(20)에 대해서, 그리고 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210)에 대해서 작업물을 조작하고 위치결정하기 위한 것이다.
- <214> 작업물 홀더 어셈블리(420)는 진공유닛(200)에서, 진공 챔버 어셈블리(210)에 작업물의 삽입을 용이하게 하고, 진공챔버 어셈블리(210)로부터 작업물의 제거를 용이하게 하기 위한 것이다. 작업물 홀더 어셈블리(420)는 추가로 작업물의 지향 복수-편향된 이온빔 밀링시 작업물을 유지하기는 기능을 한다.
- <215> 캘리브레이트 어셈블리(430)는 이온빔 유닛(100)의 지향 복수-편향된 이온빔(20)에 관하여, 그리고 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)의 SEM 컬럼 어셈블리(310)에 의해 투과된 1차전자 빔에 관하여 작업물을 캘리브레이트할 수 있게 하기 위한 것이다.
- <216> 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)을 포함하는 시스템(70)의 바람직한 실시예에서, 예를 들면, 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)의 5축/6DOF(자유도) 작업물 조작 및 위치결정 어셈블리(410)은 에어 록 어셈블리의 챔버와 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210)간에 작업물 홀더 어셈블리(420)를 이송하는데 사용된다.

- <217> 도 11, 도 12, 도 13을 참조하면, 시스템(70)은, 옵션으로, 그리고 바람직하게, 시스템(70)의 동작동안 진동 발생을 방지 혹은 최소화하기 위한 진동방지유닛(500)을 포함한다. 진동방지 유닛(500) 및 이의 구성성분들은 시스템 지지 어셈블리(900)에 직접 실장되고 이에 동작적으로 연결된다. 진동방지 유닛(500)은 복수의 전자-공기 작용형 및/또는 전자-기계식 활성 댐핑 어셈블리들, 예를 들면, 도 13에 500으로 표시한 4개의 전자-공기작용형 활성 댐핑 어셈블리들의 주 구성성분들을 포함한다. 바람직하게, 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들(800)은 진동방지 유닛(500)에 전자장치를 제공하여 이의 프로세스 제어를 할 수 있게, 진동방지 유닛(500)에 동작적으로 연결된다.
- <218> 도 11, 도 12, 도 13, 도 14를 참조하면, 시스템(70)은, 옵션으로, 그리고 바람직하게, 작업물을 촬상하기 위한 구성성분 이미징 유닛(600) 및 선택된 옵션으로서의 바람직한 추가의 유닛들의 구성성분들로서, 특히 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300), 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400), 및 적어도 하나의 작업물 분석유닛(700)을 포함한다.
- <219> 구성성분 이미징 유닛(600)은, 특히 도 14에 도시한 바와 같이, 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)에서 나가서 작업물의 표면을 향해 지향되고, 이에 입사하여 충돌하여 밀링을 행하는 지향 복수-편향된 이온빔(20)을 촬상하는 데에도 사용된다. 구성성분 이미징 유닛(600)은 진공 챔버 어셈블리(210)에 동작적으로 연결된다. 구성성분 이미징 유닛(600)은 주요 구성성분으로서 도 12, 도 13, 도 14에 600으로 표시한, 비디오 카메라를 구비한다. 바람직하게, 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들(800)은 구성성분 이미징 유닛(600)에 전자장치를 제공하여 프로세스 제어를 할 수 있게, 구성성분 이미징 유닛(600)에 동작적으로 연결된다.
- <220> 도 11을 참조하면, 시스템(70)은, 옵션으로, 그리고 바람직하게, 작업물을 분석하기 위한 적어도 하나의 작업물 분석유닛(700)을 포함한다. 일반적으로, 이온빔 유닛(100) 및 진공유닛(200), 및 적어도 하나의 작업물 분석유닛(700)을 포함하는 시스템(70)은 특히, 위에서 언급한 분야들에서 널리 사용되는 이를테면 반도체 웨이퍼 혹은 칩으로부터 얻어지는 것들과 같은 샘플들 혹은 물질들 형태의, 다양한 서로 다른 유형들의 작업물들을 분석하기 위해 구현될 수 있다.
- <221> 통상, 각 작업물 분석유닛(700)은 진공유닛(200)의 진공 챔버 어셈블리(210)에 적어도 부분적으로 동작적으로 접속된다. 바람직하게, 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들(800)이 각 작업물 분석유닛(700)에 전자장치를 제공하여 프로세스 제어를 할 수 있게, 각 작업물 분석유닛(700)에 동작적으로 접속된다.
- <222> 작업물 분석유닛(700)은 예를 들면 작업물의 표면에 입사하여 충돌하는(반드시 밀링할 필요없이) 이온빔 유닛(100)의 지향 복수-편향된 이온빔(20)을 사용하는 SIMS(2차 이온 매스 스펙트로미터)이다. 시스템(70)의 이러한 구체적 실시예에서, 진공유닛(200)은 바람직하게는 SIMS의 구성성분들을 포함하는 진공 챔버 어셈블리(210)에 약  $10^{-10}$  Torr만큼 낮은 압력을 갖는 진공환경의 초고진공 상태를 제공하여 유지하기 위한 어셈블리들 및 관계된 장비를 포함한다. 대안적으로, 작업물 분석유닛(700)은 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)의 SEM 컬럼 어셈블리(310)에 의해 생성되는 1차전자 PE 빔을 사용하는 EDS(에너지 분산 스펙트로미터)이다.
- <223> 옵션으로, 그리고 바람직하게는 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)이 포함된 시스템(70)에서, 그에 포함된 SEM 컬럼 어셈블리(310)는 작업물의 표면을 물리적으로 분석하기 위해 기능할 수 있다. 대안적으로, 혹은 추가로, SEM 컬럼 어셈블리(310)는 작업물의 벌크 물질을 물리적으로 분석하기 위해, 전자들이 투과되는 작업물에 대해서, 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)의 투과된 전자 검출기 어셈블리(340)를 이용함으로써 STEM 모드에서 동작할 수 있다.
- <224> 시스템(70)에서, 이온빔 유닛(100) 및 진공유닛(200)에 전자장치를 제공하여 프로세스 제어를 할 수 있게 하는 것 외에도, 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들(800)은 선택적 추가의 동작적으로 접속된 시스템 유닛들에 전자장치를 제공하여 프로세스 제어를 할 수 있게 하기 위한 것이다.
- <225> 이온빔 유닛(100) 및 진공유닛(200)에 동작적으로 접속되는 것 외에도, 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들(800)은 각 선택적 추가의 유닛, 즉 시스템(70)의, 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300), 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400), 진동방지 유닛(500), 구성성분 이미징 유닛(600), 및/또는 적어도 하나의 작업물 분석유닛(700)에 동작적으로 접속된다.
- <226> 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들(800)은 다수의 다음의 주요 구성성분들로서, 예를 들면 입력/출력(I/O) 및 D/A(디지털 아날로그) 및 A/D(아날로그 디지털) 기능 케이블들, 와이어들, 접속기들, 차폐, 접지, 각종 전자장치 인터페이스들, 네트워크 접속기들을 포함하여, 연관된 컴퓨터 소프트웨어, 전원들, 파워 변환기들, 제어기들, 제어기 보드들, 각종 인쇄회로기판들(PCB)과 함께, 중앙 제어 패널 혹은 보드, 적어도 하나의 컴퓨터, 마이

크로프로세서, 혹은 중앙처리장치(CPU)를 구비한다.

- <227> 도 4 및 도 9를 참조하면, 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들(800)은 이온빔 유닛(100)의 여러 전원들, 일반적으로, 그리고 특히, 이온빔 소스 어셈블리(110) 및 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리(120)의 전원들에 동작적으로 접속되고 일체화된다.
- <228> 본 발명의 또 다른 주요 면은 지향 복수-편향된 이온빔이 작업물을 밀링하기 위한 시스템의 서브-조합이고, 이에 의해서 다음의 주요 구성성분들 및 이들의 기능들로서, 이온빔 유닛이 지향 복수-편향된 이온빔을 형성하기 위해, 제공된 이온빔을 지향시키고 적어도 2회 편향시키는, 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리를 포함하며, 지향 1회 편향된 이온빔을 형성하기 위해서, 제공된 이온빔을 편향 및 지향시키도록 이온빔 지향 및 복수-편향 어셈블리가 이온빔 제1 편향 어셈블리를 포함하며, 지향 2회 편향된 이온빔을 형성하기 위해, 지향 1회 편향된 이온빔을 편향 및 지향시키는 이온빔 제2 편향 어셈블리가 복수-편향된 이온빔 유형인 것인, 이온빔 유닛; 및 이온빔 유닛에 동작적으로 접속되어, 이온빔 유닛에 대해 진공환경을 제공하고 유지하는 진공유닛을 포함하는, 제공된 이온빔을 지향 복수-편향시키는 시스템이 제공된다.
- <229> 따라서, 도 2-14를 참조하면, 제공된 이온빔을 지향 복수-편향시키는 시스템은 다음의 주요 구성성분들 및 이들의 기능들로서, 지향 복수-편향된 이온빔(20)을 형성하기 위해, 제공된 이온빔(10)을 지향시키고 적어도 2회 편향시키며, 지향 1회 편향된 이온빔(16)을 형성하기 위해, 제공된 이온빔(10)을 편향 및 지향시키도록 이온빔 제1 편향 어셈블리(122)를 포함하는 이온빔 지향 복수-편향 어셈블리(120)를 포함하는 것으로, 위에 예시적으로 기술된 바와 같은 이온빔 유닛(100); 및 복수-편향된 이온빔 유형인 지향 2회 편향된 이온빔(20)을 형성하기 위해, 지향 1회 편향된 이온빔(16)을 편향 및 지향시키는 이온빔 제2 편향 어셈블리(124); 및 이온빔 유닛(100)에 동작적으로 접속되어, 이온빔 유닛(100)에 대해 진공환경을 제공하고 유지하는 진공유닛(200)을 포함한다.
- <230> 본 발명의 또 다른 주요 면은 작업물의 이온빔 밀링의 정도를 결정하고 제어하기 위한 방법의 제공으로서, 다음의 주요 단계들, 및 구성성분들 및 이들의 기능들로서, 작업물의 두께, 작업물 내 타겟의 깊이, 및 작업물의 적어도 한 표면의 토폴로지로 구성된 그룹에서 선택된 작업물의 적어도 한 파라미터의 한 세트의 사전에 결정된 값들을 제공하는 단계; 다음의 주요 단계들, 및 구성성분들과 이들의 기능들로서, 이온빔을 제공하는 단계; 및 작업물의 표면을 향해 지향되고 이에 입사하여 충돌하여 밀링을 행하는 지향 복수-편향된 이온빔을 형성하기 위해, 제공된 이온빔을 지향시키고 적어도 2회 편향시키는 단계를 포함하여, 작업물의 지향 복수-편향된 이온빔 밀링을 위한 방법을 사용하여 작업물의 지향 복수-편향된 이온빔 밀링을 수행하는 단계; 적어도 한 파라미터의 한 세트의 측정된 값들을 형성하기 위해서, 작업물의 적어도 한 파라미터를 인시튜 실시간으로 측정하는 단계; 비교에 연관된 한 세트의 값 차이들을 형성하기 위해, 제공되어 있는 한 세트의 소정의 값들에 상기 측정된 한 세트의 값들을 비교하는 단계; 값 차이들이 소정의 범위 내에 있게 될 때까지, 작업물에 지향 복수-편향된 이온빔 밀링을 계속적으로 수행하기 위해 한 세트의 값 차이들을 피드백하는 단계를 포함한다.
- <231> 작업물의 이온빔 밀링 정도를 결정하고 제어하는 방법에서, 작업물의 적어도 한 표면의 선택도는 작업물의 소정의 파라미터들 중 하나인 것인 토폴로지에 대응한다.
- <232> 작업물의 이온빔 밀링의 정도를 결정하고 제어하는 방법은 작업물의 두께, 작업물 내 타겟(90)의 깊이, 및 작업물의 적어도 한 표면인 3개의 파라미터들의 펄스 피드백 제어에 따른다. 두께를 결정하는(측정하는) 방법들이 공지되어 있으나, 본 발명의 방법은 이들 파라미터들의 실시간, 인시튜 제어를 수행하고 이를 자동으로 행하는 능력을 제공함으로써, 작업물의 이온빔 밀링은 타겟(90)이 소정의 깊이에 있을 때 소정의 두께에서 종료되고, 경계를 이루는 표면들(맨 위 및 바닥)이 제어된 토폴로지를, 선택도를 갖고서 혹은 선택도 정도를 포함하여 선택도없이, 이들 표면들이 길이방향 축(40)을 기준으로 (바람직하게는) 이에 평행하게 또는 이 축을 기준으로 소정의 일탈된 각도 없이, 갖게 하도록 제어된다.
- <233> 이 제어는 SE, BSE 및 TE 검출기들의 사용을 포함하여, 정적 작업물, 지향 복수-편향된 이온빔 밀링, 및 실시간 인시튜 SEM/STEM 이미징(최상의 해상도를 가진)을, 조합하여 혹은 개별적으로, 행하는 방법에 의해 가능해진다. 또 다른 구체적 바람직한 실시예에서, 이 제어는 작업물의 윗면 혹은 바닥면이 SEM의 전자빔에 의해 활상될 수 있도록, 길이방향 축(40)에 관하여 180도로 작업물을 회전시킴으로써 작업물의 위치를 변경하기 위해 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)을 수반함으로써 가능해진다. 작업물에서 타겟(90)의 깊이를 제어하기 위한 방법은 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)에 의해 작업물을 기울이고 타겟(90)의 기울이지 않은 이미지(92)에 비교해서, 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300)의 투과된 전자 검출기(340)에 의해 활상된 타겟(90)의 대응 시프트  $\Delta L$ 에 일치시키는 것이다. 작업물 내 타겟(90)의 깊이는 도 16, 17a, 17b에 도시한 바와 같이, 여기서  $\beta$ 로 언급된 경사각, 및 타겟(90)의 이미지(2)의 시프트 정도로부터 계산된다.

- <234> 도 16은 작업물의 이온빔 밀링의 정도를 결정하고 제어하기 위해서, 도 14에 도시된, 작업물에 관련하여, 도 11, 도 12, 도 13에 도시한 시스템(70)의 일부로서, 이온빔 유닛(100), 및 작업물 조작 및 위치결정 유닛(400)과 함께, 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛(300) 및 이의 주요 구성성분들의 구체적인 바람직한 실시예를 사용하는 조합된 단면도(상측부분(a)) 및 평면도(하측부분(b))을 도시한 개략도이다.
- <235> 도 16에서, 80은 투과된 전자 검출기 어셈블리(340)의 검출기 세그먼트들, 즉 342, 344, 346의 투영을 지칭하며, 각 검출기 세그먼트는 독립적인 검출기로서 동작하고, 각각은 시스템(70)의 전자장치 및 프로세스 제어 유틸리티들(700)의 일부인 별도의 전자회로에 동작적으로 접속된다. 투과된 전자 검출기 어셈블리(340)의 검출기 세그먼트들로부터의 신호들, 즉 342, 344, 346은 특히 밝은 필드 및 어두운 필드 STEM 이미지들에 관계된 것으로서, 임의의 원하는 조합에 따라, 측정 혹은 관찰하는데 사용될 수 있다.
- <236> 도 17a 및 도 17b는 작업물의 이온빔 밀링의 정도를 결정하고 제어하는 부분으로서, 도 14 및 도 16에 도시한 작업물 이미징 및 밀링 검출유닛에 포함된 투과된 전자 검출기 어셈블리를 사용하여, 밀링된 작업물 내 타겟(90)의 깊이를 결정하는 개략적 단면도이다.
- <237> 전술한 신규성 및 발명성의 면들, 및 잇점이 있는 면들, 특성들, 혹은 특징들에 기초하여, 본 발명은 이온빔 밀링의 현 알려진 기술들의 한계를 극복하고 범위를 넓힌다.
- <238> 명확성을 위해, 개별적 실시예들의 맥락에서 기술된 본 발명의 어떤 면들 및 특성들은 단일 실시예에 조합하여 제공될 수도 있음을 알 것이다. 반대로, 명확성을 위해 단일 실시예의 맥락에서 기술된 본 발명의 여러 면들 및 특성들은 개별적으로 혹은 어떤 적합한 서브-조합으로 제공될 수도 있다.
- <239> 본 명세서에서 언급된 모든 공보들, 특허들 및 특허출원들은 이들이 참조문헌으로 여기 포함되게 구체적으로 및 개별적으로 나타내진 것과 같게 하는 정도로 이 명세서에 참조문헌으로 그들의 전부가 여기 포함된다. 또한, 이 출원에서 임의의 참조문헌의 인용 혹은 확인은 본 발명에 대한 종래 기술로서 사용될 수 있다는 승인으로서 해석되지 않는다.
- <240> 본 발명을 구체적 실시예들 및 이들의 예들에 관련하여 기술하였으나, 많은 대안들, 수정들 및 변형들이 당업자들에게 명백할 것이 명백하다. 따라서, 첨부된 청구항들의 정신 및 넓은 범위 내에 드는 모든 이러한 대안들, 수정들, 및 변형들을 포괄한다.

**도면의 간단한 설명**

- <34> 이제, 본 발명은 첨부 도면들을 참조하여 단지 예시적으로 설명된다. 강조될 사항으로서, 도면들에 대해 특정하게 상세히 참조하는 것과 관련하여, 나타낸 특징의 사항들은 단지 예시적인 것으로서, 단지 본 발명의 바람직한 실시예를 예시적으로 설명하기 위한 것이며, 본 발명의 원리들 및 개념적인 양상들을 가장 유용하고 쉽게 이해할 수 있게 하는 것으로 여겨지는 것을 제공하기 위해 제시된 것이다. 이러한 점에서, 본 발명을 기본적으로 이해하는 데에 필요한 것 이외에는 본 발명의 구조적인 세부 사항들을 보다 상세히 나타내고자 하지 않았으며, 도면들을 참조하여 이루어지는 설명에 의해, 본 발명의 몇 가지의 형태가 실제로 어떻게 수행되는 지가 당업자에게 명백해질 것이다.
- <35> 도 1은 샘플 홀더 요소에 의해 받쳐지는 (마스킹 요소를 갖는) 표면, 및 선택된 특징부들 및 그 파라미터들을 갖는 반도체 웨이퍼 또는 칩의 일부의 전형적인 미리 준비된 샘플인, 예시적인 워크피스의 투시도를 나타내는 개략도로서, 예를 들어 미세 분석용 샘플 준비의 일부로서, 또는/그리고 샘플 분석의 일부로서, 예를 들어 본 발명을 실시함으로써 이러한 샘플에 대해 이온빔 밀링이 행해진다.
- <36> 도 2는, 본 발명에 따른, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키고, 그 정도를 결정 및 제어하는 예시적인 바람직한 실시예의 측면도를 나타내는 개략도로서, 특히 진공 유닛의 진공 챔버 어셈블리와 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛과 관련하여 이온빔 유닛을 나타내는바, 이러한 모든 것들은 워크피스 및 그 표면과 관련된다.
- <37> 도 3은, 본 발명에 따른, 도 2에 도시한 예시적인 바람직한 실시예의 측면도를 보다 상세하게 나타내는 개략도로서, 특히 이온빔 유닛이 이온빔을 2번 편향시키기 위한 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하는 장치의 예시적인 특징의 바람직한 실시예를 나타내고, 워크피스 이미징 및 밀링 검출 회로의 예시적인 특징의 바람직한 실시예를 나타낸다.
- <38> 도 4는, 본 발명에 따른, 도 2 및 3에 도시된 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향하고, 그

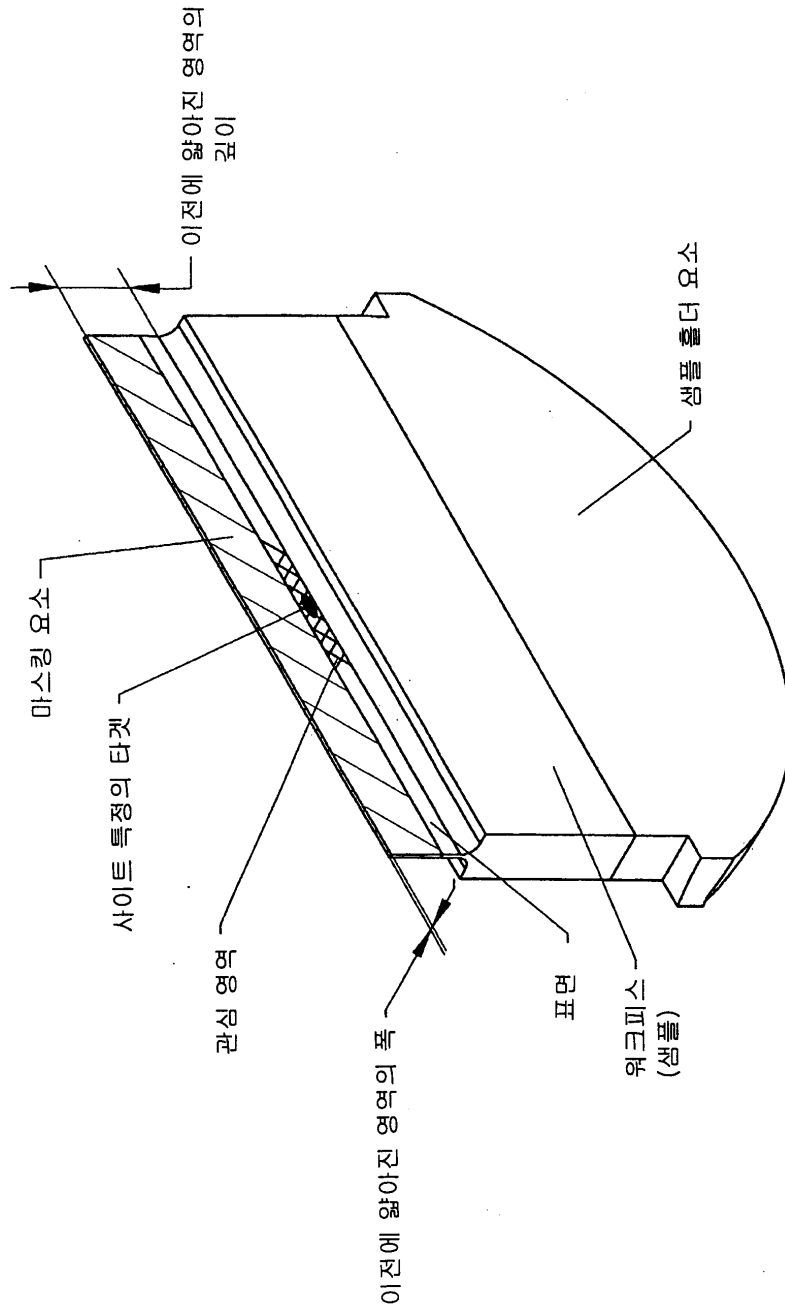
정도를 결정 및 제어하는 것의 측면도를 나타내는 개략도로서, 특히 장치의 컴포넌트 레벨 버전의 측면도를 보다 상세하게 보여주는바, 여기서 이온빔 유닛은 이온빔을 2번 편향시키도록 구성되어 이러한 기능을 하는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함한다.

- <39> 도 5는, 본 발명에 따른, 도 2, 3 및 4에 도시된 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 것의 투시도를 나타내는 개략도로서, 특히 이온빔을 2번 편향시키도록 구성되어 이러한 기능을 하는, 이온빔 유닛의 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리에 포함되는 제 1 이온빔 편향 어셈블리 및 제 2 이온빔 편향 어셈블리 각각의 예시적인 특성의 바람직한 실시예를 나타낸다.
- <40> 도 6a 내지 6e는, 본 발명에 따른, 세로축 주위로 0° 내지 360° 범위로 회전하고, 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위로 입사되어 충돌하고, 밀링하는, 다수회 편향되어 가해지는 이온빔중에서 가해지는 2회 편향된 이온빔 형태에 해당하는, 제 1 이온빔 편향 어셈블리 및 제 2 이온빔 편향 어셈블리에 의해 워크피스와 동축의 임의로 할당되는 세로축에 대해 가해지고 다수회 편향되는 이온빔의 회전 (각도) 시퀀스의 투시도를 나타내는 개략도들이다.
- <41> 도 7a는, 본 발명에 따른, (일반적으로 직사각형 슬래브(slab) 형상의) 제 1 타입의 예시적인 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사하고 충돌하여, 밀링하는 다수회 편향(2번 또는 3번 편향)되어 가해지는 이온빔을 클로즈업한 투시도를 나타내는 개략도로서, 특히 이온빔, 표면 및 워크피스의 상대적인 지오메트리(geometry) 및 치수를 보여준다.
- <42> 도 7b는, 본 발명에 따른, (예를 들어 도 1에 나타난 것과 유사한, (마스크 요소)를 갖는 표면이 샘플 홀더 요소에 의해 받쳐지는 반도체 웨이퍼 또는 칩의 일부의 전형적인 샘플의) 제 2 타입의 예시적인 워크피스의 표면쪽으로 가해지고, 그 위에 입사하고 충돌하여, 밀링하는 다수회 편향(2번 또는 3번 편향)되어 가해지는 이온빔을 클로즈업한 투시도를 나타내는 개략도로서, 특히 이온빔, 표면 및 워크피스의 상대적인 지오메트리 및 치수를 보여준다.
- <43> 도 8은, 본 발명에 따른, 도 2에 도시된 예시적인 바람직한 실시예의 보다 상세화된 측면도를 나타내는 개략도로서, 특히 이온빔을 3번 편향시키기 위한 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하는 이온빔 유닛의 예시적인 특성의 바람직한 실시예를 나타내고, 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛의 예시적인 특성의 바람직한 실시예를 나타낸다.
- <44> 도 9는, 본 발명에 따른, 도 2 및 8에 도시된 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향하고, 그 정도를 결정 및 제어하는 것의 측면도를 나타내는 개략도로서, 특히 이온빔을 3번 편향시키도록 구성되어 이러한 기능을 하는 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리를 포함하는 이온빔 유닛의 보다 상세화된 컴포넌트 레벨의 측면도를 나타낸다.
- <45> 도 10은, 본 발명에 따른, 도 2, 8 및 9에 도시된 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키는 것의 투시도를 나타내는 개략도로서, 특히 이온빔을 3번 편향시키도록 구성되어 이러한 기능을 하는, 이온빔 유닛의 이온빔 다이렉팅 및 다수회 편향 어셈블리에 포함되는 제 1 이온빔 편향 어셈블리, 제 2 이온빔 편향 어셈블리 및 제 3 이온빔 편향 어셈블리 각각의 예시적인 특성의 바람직한 실시예를 나타낸다.
- <46> 도 11은, 본 발명에 따른, 이온빔 유닛 및 진공 유닛을 포함하는, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 시스템의 예시적인 바람직한 실시예, 및 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛, 워크피스 조작 및 위치결정 유닛, 진동 방지 유닛, 컴포넌트 이미징 유닛 및 적어도 1개의 워크피스 분석 유닛으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 적어도 1개의 부가 유닛을 추가적으로 포함하는 가능한 많은 특성의 예시적인 바람직한 실시예들을 나타낸다.
- <47> 도 12는, 본 발명에 따른, 도 11에 나타난, 워크피스를 밀링하기 위해 이온빔을 가하고 다수회 편향시키기 위한 시스템 및 그 부가 유닛들의 투시도를 나타내는 (아이소메트릭) 개략도이다.
- <48> 도 13은, 본 발명에 따른, 도 11 및 12에 도시된 시스템의 상부도를 나타내는 (아이소메트릭) 개략도이다.
- <49> 도 14는, 본 발명에 따른, 도 12 및 13에 도시된 시스템의 일부로서, 이온빔 유닛, 워크피스 조작 및 위치결정 유닛, 컴포넌트 이미징 유닛과 관련하여, 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛 및 그 주요 컴포넌트들의 예시적인 특성의 바람직한 실시예의 투시도를 나타내는 (아이소메트릭) 개략도를 나타내는바, 이러한 모든 구성 요소들은 워크피스와 관련된다.

- <50> 도 15는, 본 발명에 따른, 도 12 및 13에 도시된 시스템의 일부로서, 워크피스 조작 및 위치결정 유닛, 및 그 주요 컴포넌트들의 예시적인 특성의 바람직한 실시예의 투시도를 나타내는 (아이소메트릭) 개략도로서, 특히 (a) 워크피스가 없는 그리고 (b) 워크피스가 있는 워크피스 홀더 어셈블리를 클로즈업하여 나타낸다.
- <51> 도 16은, 본 발명에 따른, 워크피스의 이온빔 밀링의 정도를 결정 및 제어하기 위해, 도 14에 도시된 워크피스와 관련하여 도 11, 12 및 13에 도시된 시스템의 일부로서, 이온빔 유닛, 워크피스 조작 및 위치결정 유닛과 함께, 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛, 및 그 주요 컴포넌트들의 예시적인 특성의 바람직한 실시예를 이용하는 결합된 단면도(왼쪽 a) 및 상부도(아랫쪽 b)를 나타내는 개략도이다.
- <52> 도 17a 및 17b는, 본 발명에 따른, 도 14 및 16에 도시된 워크피스 이미징 및 밀링 검출 유닛에 포함되는 전송되는 전자 검출기 어셈블리를 이용하여, 워크피스의 이온빔 밀링의 정도를 결정 및 제어하는 것의 일부로서, 밀링되는 워크피스 내의 타겟의 깊이를 결정하는 단면도를 나타내는 개략도이다.

도면

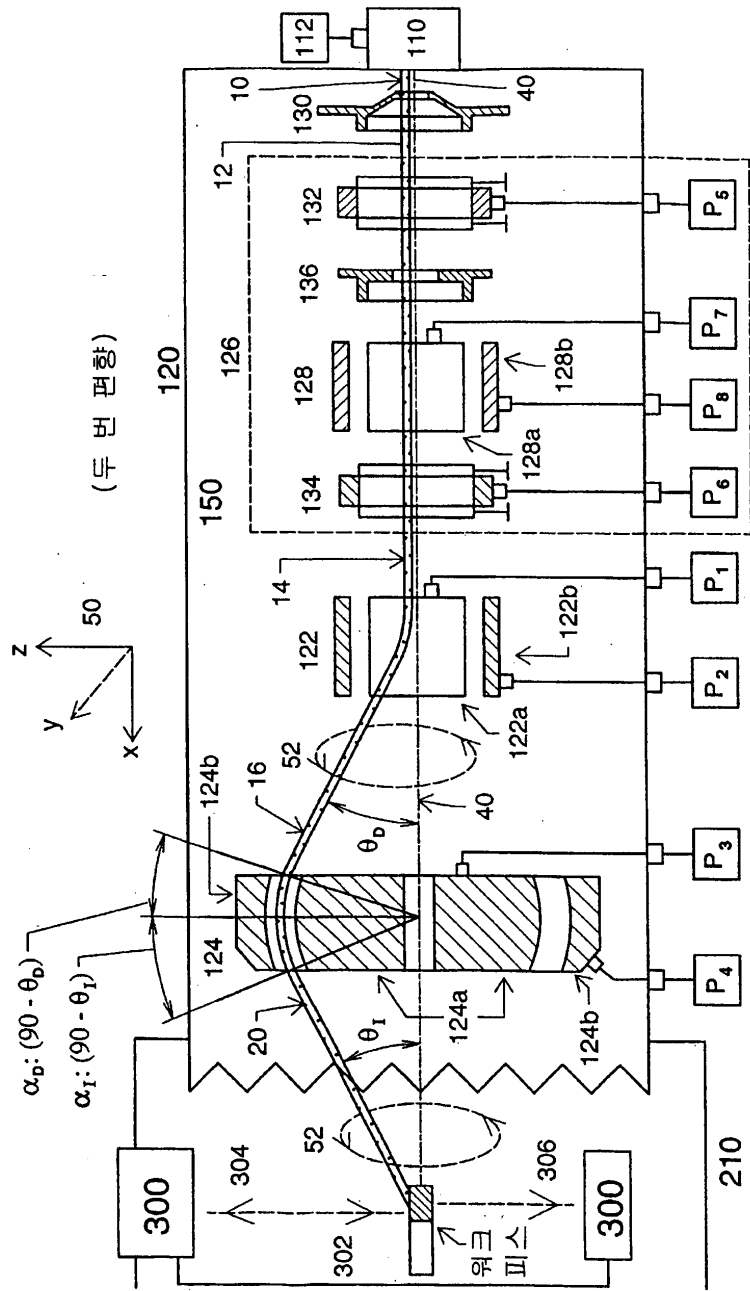
도면1





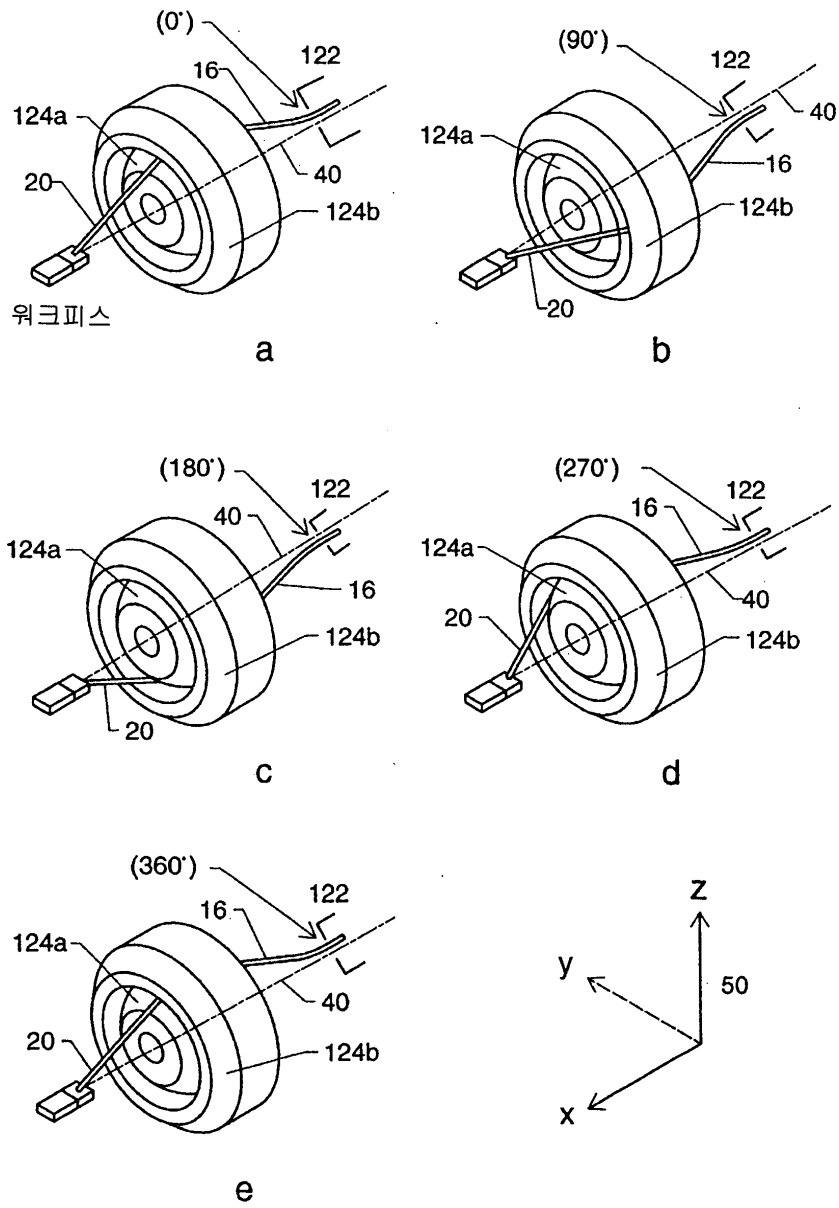


도면4

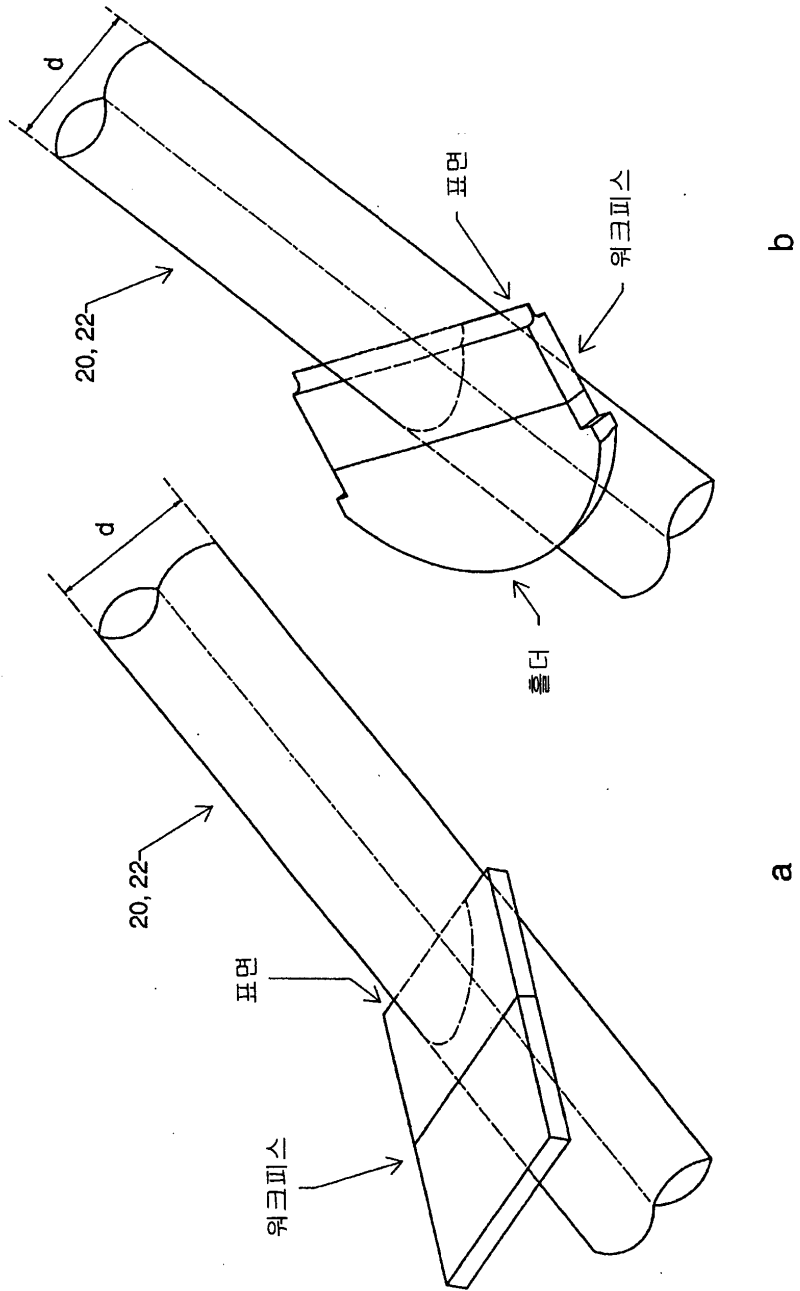




도면6



도면7

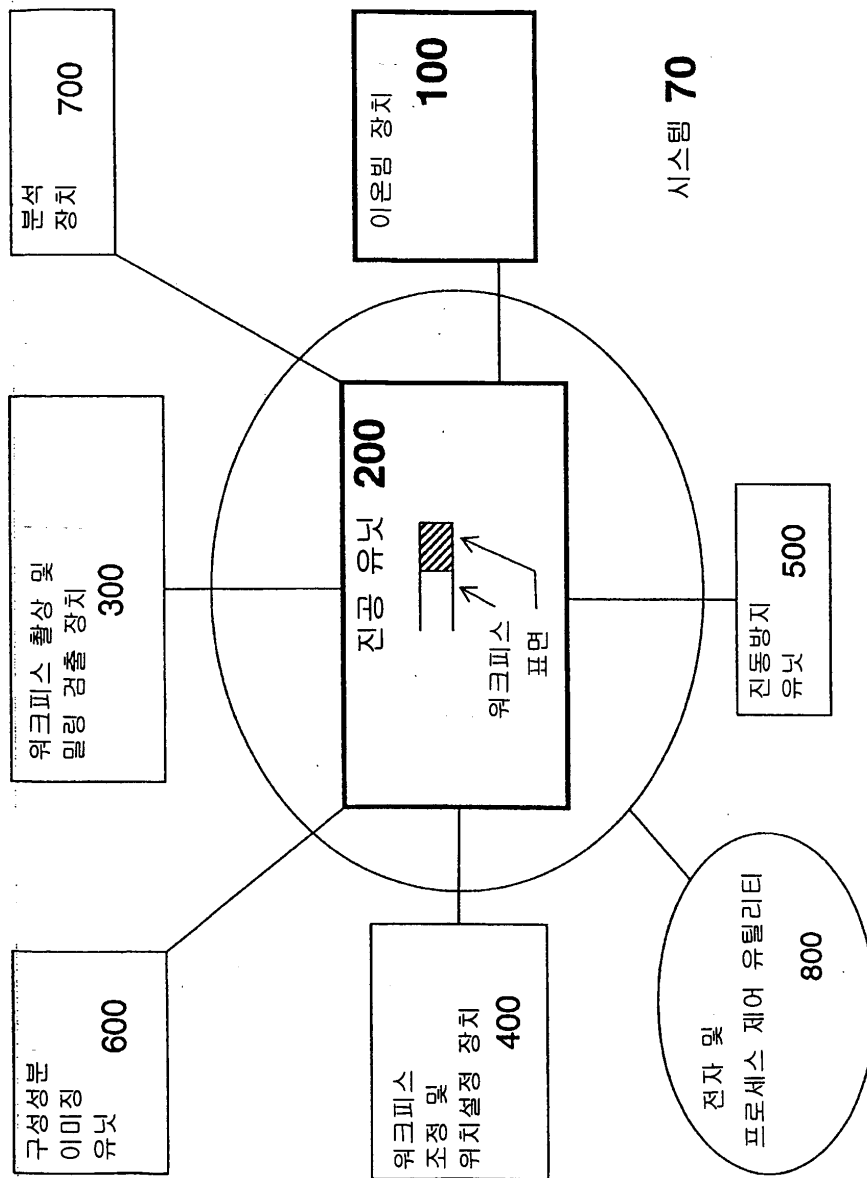






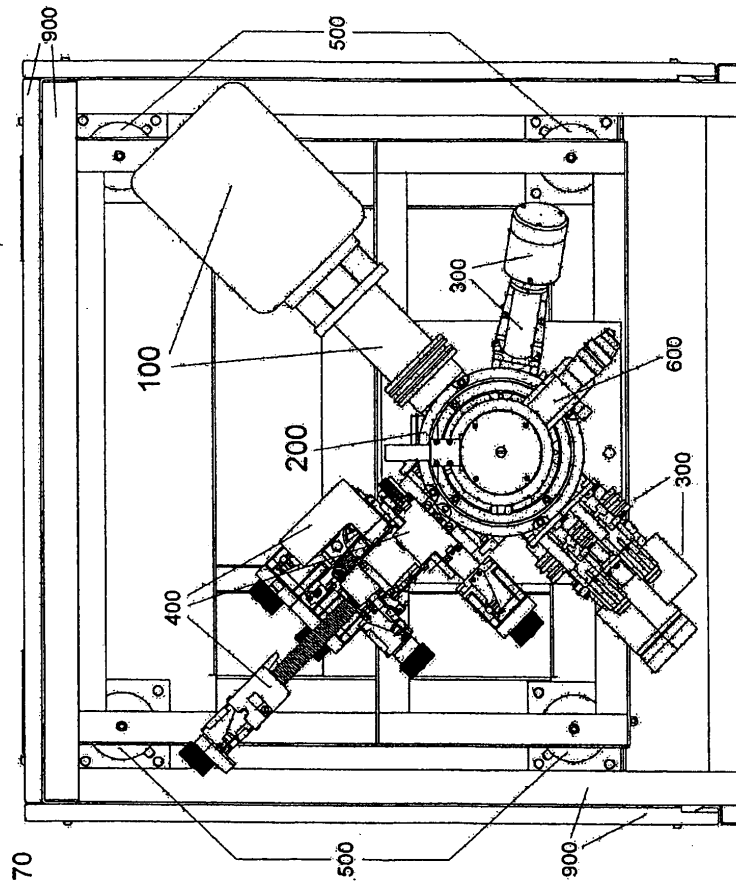


도면11

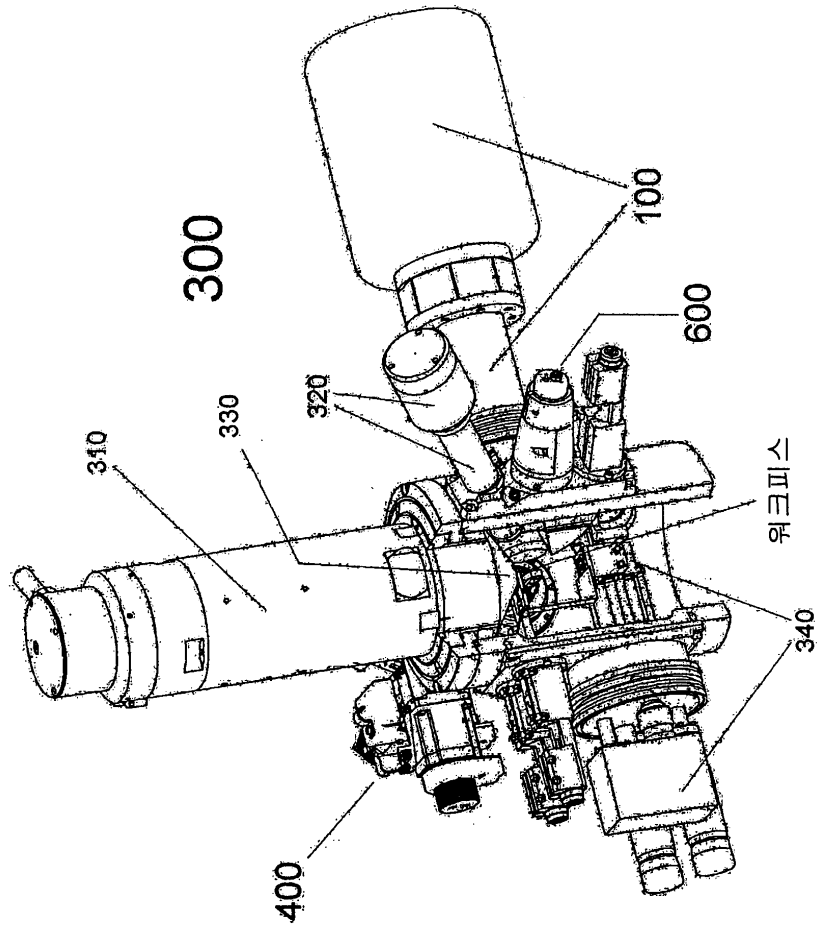




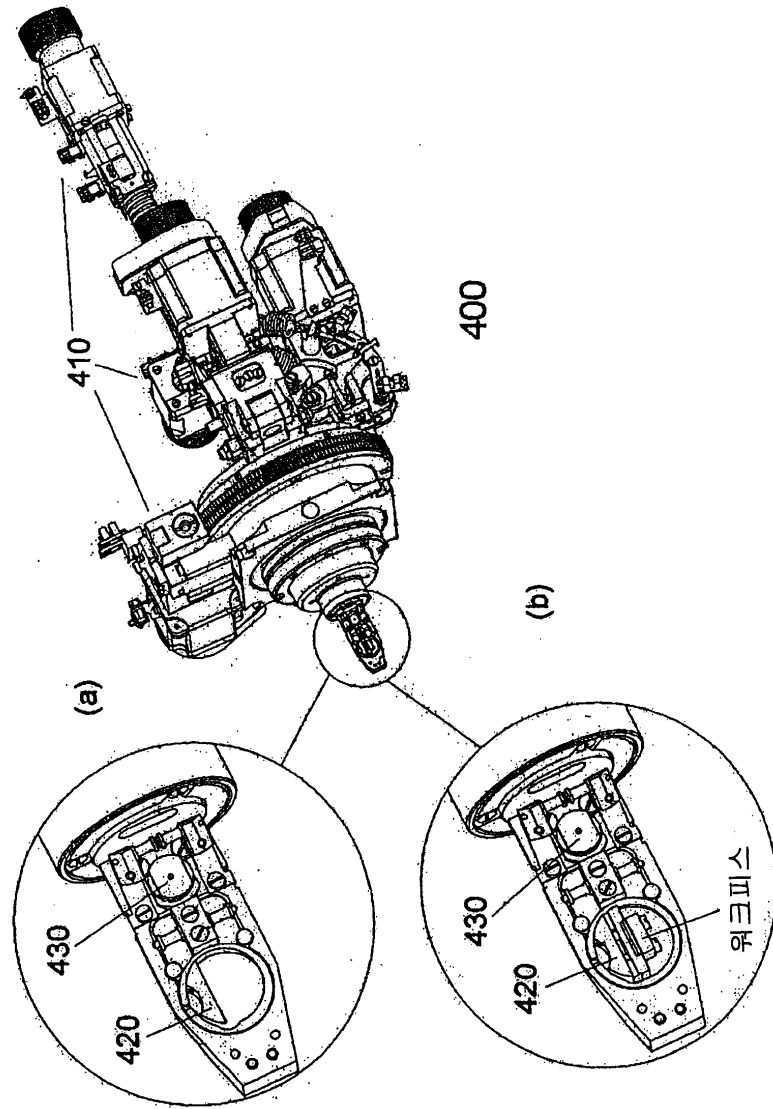
도면13



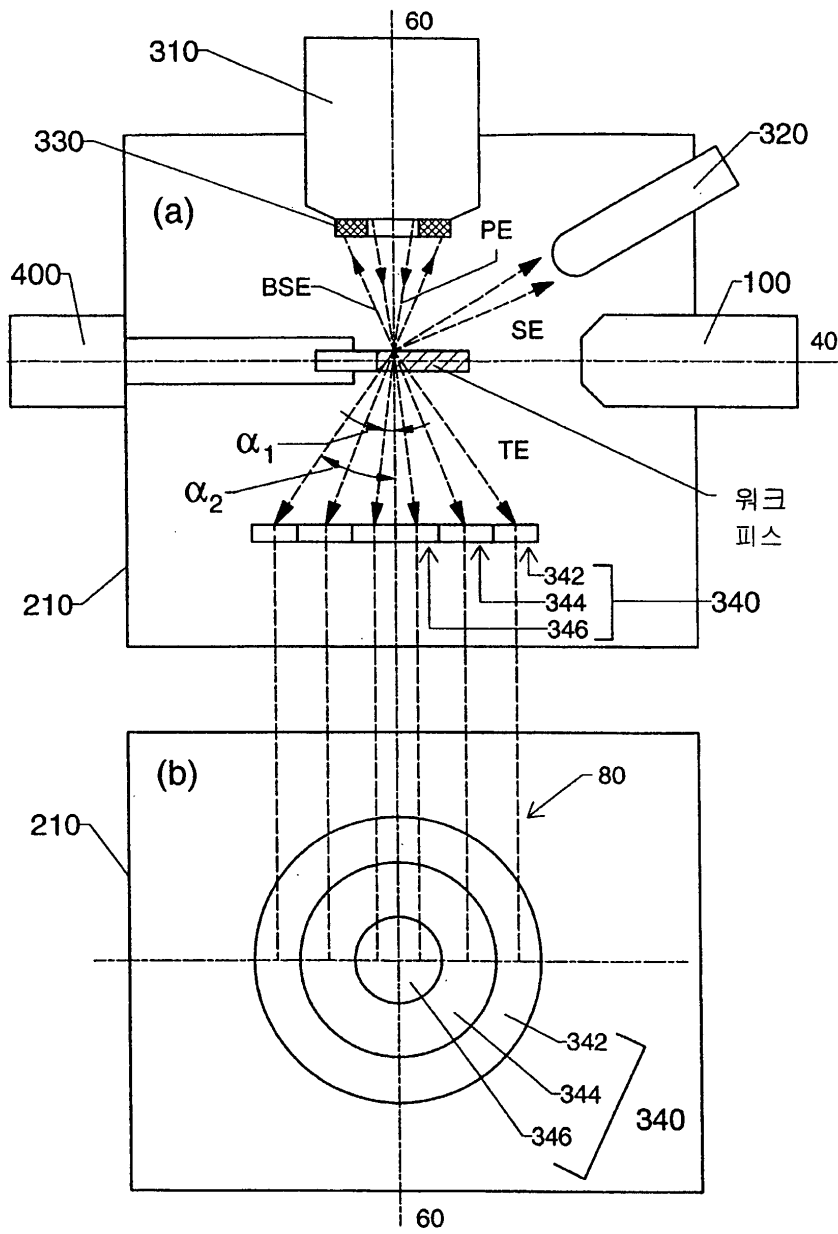
도면14



도면15



도면16



도면17

