(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년11월30일
(11) 등록번호 10-2472722
(24) 등록일자 2022년11월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23B 27/14 (2006.01) *C23C 16/48* (2006.01)
C30B 25/00 (2006.01) *C30B 29/04* (2006.01)
C30B 31/22 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23B 27/14 (2013.01)
C23C 16/486 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0099012
(22) 출원일자 2021년07월28일
심사청구일자 2021년07월28일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020160145922 A
KR101072825 B1

(73) 특허권자
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
김종국
경상남도 창원시 의창구 창원대로 18번길 41 (팔용동)
장영준
경상남도 창원시 성산구 원이대로 863번길 7 (가음동, 창원더샵센트럴파크 3단지)
김원석
경상남도 창원시 상남동 상남로35 새롬아이포빌
(74) 대리인
이원희

전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 이아람

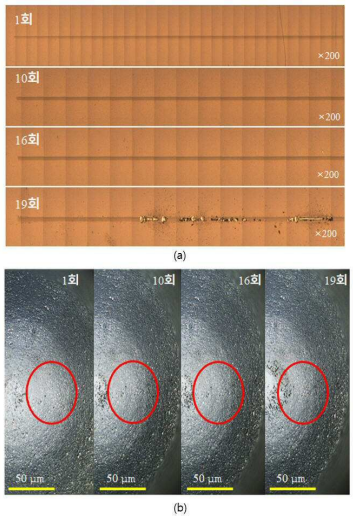
(54) 발명의 명칭 **다이아몬드 공구 및 이의 수명 연장 방법**

(57) 요 약

본 발명은 다이아몬드 공구 및 이의 수명 연장 방법에 관한 발명으로, 구체적으로, 기재 상에 형성되는 다이아몬드 막을 포함하는 다이아몬드 공구로서, 상기 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 이온 빔으로 처리한 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구 및 이의 수명 연장 방법을 제공한다.

본 발명에 따른 다이아몬드 공구는 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 고에너지 이온 빔 처리함으로써, 다이아몬드 막의 내부 응력을 완화하고 표면 거칠기를 개선할 수 있다. 본 발명은 특히, 공구 사용 개시 후 표면 거칠기가 유지되는 효과가 있다. 이에 따라, 공구 사용시 높은 표면 거칠기로 인한 불필요한 대상 시료 손상이 방지되어, 다이아몬드 공구로서의 기능적 수명이 향상되는 장점을 갖는다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
C30B 25/00 (2013.01)
C30B 29/04 (2013.01)
C30B 31/22 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

기재 상에 형성되는 다이아몬드 막을 포함하는 다이아몬드 공구로서,

상기 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 이온 빔으로 처리한 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 이온 빔 처리는 60분 이상 수행하는 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 다이아몬드 막 표면을 2.5 keV 이상의 이온 빔으로 5분 이상 처리하는 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 다이아몬드 막은 화학기상증착법(CVD)으로 증착되는 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 다이아몬드 공구는 이온 빔 처리한 다이아몬드 막 상에 피복되는 ta-C(tetrahedral amorphous carbon) 막을 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 ta-C 막은 자장여과아크(filtered cathodic vacuum arc) 방식으로 피복되는 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 다이아몬드 공구는 다이아몬드 인덴터인 것인, 다이아몬드 공구.

청구항 8

기재 상에 형성되는 다이아몬드 막을 포함하는 다이아몬드 공구에 있어서,

상기 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 이온 빔으로 처리하는 단계를 포함하는 것인, 다이아몬드 공구의 수명 연장 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 다이아몬드 공구 및 이의 수명 연장 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 다이아몬드는 순수한 탄소가 고온 및 고압에서 결정화된 sp3 결합을 갖는 광물이다. 다이아몬드는 고열전도율, 고캐리어 이동도, 고절연 파괴 전계, 저유도 손실 등 우수한 특성을 갖고, 특히 고경도인 점에서 절삭 공구나 내마모 공구 등에 널리 이용되고 있다.

[0004] 다이아몬드의 인공적인 합성은 고온 고압법(HPHT)와 화학기상 증착법(CVD)가 있다. 종래에는 천연 혹은 고온 고압법에 의해 합성된 다이아몬드가 널리 이용되었지만, 최근 화학기상 증착법(CVD)으로도 두껍게 자립할 수 있는 단결정 다이아몬드를 합성할 수 있게 되어, 여러가지 응용이 기대되고 있다.

[0005] 고온 고압법의 경우 합성된 다이아몬드는 분말 형태이고, 화학기상 증착법은 기판 상에 코팅된 막의 형태를 갖는다. 따라서, 화학기상 증착법이 다양한 산업적 응용에 더 적합하다.

[0006] 인조 다이아몬드를 소재로 하여 제조된 공구를 의미하는 다이아몬드 공구(diamond tool)는 다이아몬드 톱, 다이아몬드 연마 휠 및 유리가공용 다이아몬드 공구 등으로 분류되며, 각종 금속이나 비금속의 절삭 및 연마 작업 등에 사용되고 있다. 또한, 기계부품, 광학 부품, 전자 부품, 반도체 재료 등에도 이용될 수 있으며, 소재의 특성 평가를 위한 접촉자로서 나노 압입 시험용 장치, 밀착력 평가 장비에 다이아몬드 인덴터가 사용되고 있다.

[0007] 화학기상증착법으로 다이아몬드 막을 형성하는 경우 3차원적 복잡한 형상에 적용 가능한 이점이 있다. 다만, 화학기상증착법에 의한 다이아몬드 막은 용착, 높은 내부 응력으로 인한 박리 현상이 일어나며 표면조도가 거칠고 공구의 수명이 저하되는 문제점이 있다.

[0008] 이에, 다이아몬드 공구의 표면을 제어하여 다이아몬드 공구의 기능적 수명을 개선하기 위한 방법이 요구된다.

[0009] 표면개질 방법으로는 기계적 또는 화학적 방법이 있으나, 최근에는 더욱 근접한 표면을 개질 시킬 수 있는 전자빔, 레이저 빔, 플라즈마/이온빔 등을 이용한 방법이 효과가 우수한 것으로 입증되어 점차 그 응용범위가 늘어나고 있다.

[0011] 이온빔 조사를 이용한 표면 개질의 원리 및 과정은 다음과 같다(도 1 참조).

[0012] 다이아몬드 표면 개질을 위한 주요 수단은 이온빔 조사 시 Ar 이온의 입사 침투 과정을 이용한 것이다. 이온의 침투 과정은 Ar 도펀트 원자 (dopant atoms)를 활용하여 0.5 kV ~ 5.0 kV 급의 고에너지 가속화를 통해 1단계 표면 충돌 (etching) 및 2단계 입사 침투 과정을 활용한다. Ar 도펀트 원자는 이온소스에서 이온화 되며 소스는 일반적으로 Ar과 같은 중성 가스를 플라즈마화 하여 Ar 도펀트 원자는 전자 충돌에 의해 이온화되며 가속전극을 통해 빠져 나온 이온 빔은 빔이 집중되고 분산 발생 없이 선형의 자유이동을 하게 된다.

[0013] 이때, 제조된 Ar 이온빔은 0.5 kV 에서 5.0 kV 값에 이르는 에너지로 가속화 되고 다이아몬드 표면에 충돌하게 된다.

[0014] 도펀트 Ar이 표면에 닿으면 1단계로 다이아몬드 표면에 존재하는 표면 불순물 및 표면의 탄소원소를 제거(에칭 또는 스퍼터링)하게 되며, 이후 Ar 이온에너지와 입사각에 비례하는 일정 깊이 방향으로 다이아몬드의 결정구조에 침투하게 된다.

[0015] 이때, 깊이 침투는 선형적 깊이 침투가 아닌, 충돌에 의한 “Drunkard's Walk”의 경로를 가지게 된다. 이러한 경로 침투는 Diamond의 결정구조 중 흑연구조 또는 불완전한 미활성 구조와 충돌하게 되어 sp3 성분 증대를 위

한 활성화에 도움을 주게 되며 최종적으로는 결정화 구조로의 추가적 재배열화를 기대할 수 있게 된다.

[0016] 본 발명자는 이와 같은 고에너지 이온 빔을 이용한 다이아몬드 공구 표면 처리를 통해 다이아몬드 공구 가공 시 발생된 표면 거칠기 및 결정성 다이아몬드의 내부 경합 구조를 개선하여 수명을 늘리고자 연구한 결과 본 발명에 이르게 되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0018] 본 발명의 목적은 다이아몬드 공구 및 이의 수명 연장 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0020] 상기 목적을 달성하기 위하여,

[0021] 본 발명의 일 측면에서는

[0022] 기재 상에 형성되는 다이아몬드 막을 포함하는 다이아몬드 공구로서,

[0023] 상기 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 이온 빔으로 처리한 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구를 제공한다.

[0025] 본 발명의 다른 일 측면에서는

[0026] 기재 상에 형성되는 다이아몬드 막을 포함하는 다이아몬드 공구에 있어서,

[0027] 상기 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 이온 빔으로 처리하는 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구의 수명 연장 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0029] 본 발명에 따르면, 다이아몬드 공구의 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 에너지 이온 빔 처리함으로써, 다이아몬드 막의 내부 응력을 완화하고 표면 거칠기를 개선할 수 있으며, 이를 통한 다이아몬드 공구의 치핑을 줄일 수 있다. 본 발명은 특히, 공구 사용 개시 후 표면 거칠기가 유지되는 효과가 있다. 이에 따라, 공구 사용시 표면 거칠기로 인한 불필요한 대상 시료 손상이 방지되며, 치핑에 의한 다이아몬드 표면의 결합을 줄일 수 있어, 다이아몬드 공구로서의 기능적 수명이 향상되는 장점을 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 빔 처리 과정을 모식적으로 나타낸 도이다.

도 2는 본 발명의 일 실험예에서, 비교예 1의 다이아몬드 인덴터를 이용한 스크래치 반복 실험 시 대상 시료 표면을 관찰한 도(a)이고, 인덴터의 표면 변화를 나타낸 도(b)이다.

도 3은 본 발명의 일 실험예에서, 실시예 1의 다이아몬드 인덴터를 이용한 스크래치 반복 실험 시 대상 시료 표면을 관찰한 도(a)이고, 인덴터의 표면 변화를 나타낸 도(b)이다.

도 4는 본 발명의 일 실험예에서, 실시예 2의 다이아몬드 인덴터를 이용한 스크래치 반복 실험 시 대상 시료 표면을 관찰한 도(a)이고, 인덴터의 표면 변화를 나타낸 도(b)이다.

도 5는 본 발명의 일 실험예에서, 실시예 3의 다이아몬드 인덴터를 이용한 스크래치 반복 실험 시 대상 시료 표면을 관찰한 도(a)이고, 인덴터의 표면 변화를 나타낸 도(b)이다.

도 6은 본 발명의 일 실험예에서, 실시예 4의 다이아몬드 인덴터를 이용한 스크래치 반복 실험 시 대상 시료 표면을 관찰한 도(a)이고, 인덴터의 표면 변화를 나타낸 도(b)이다.

도 7은 본 발명의 일 실험예에서, 실시예 5의 다이아몬드 인덴터를 이용한 스크래치 반복 실험 시 대상 시료 표면을 관찰한 도(a)이고, 인덴터의 표면 변화를 나타낸 도(b)이다.

도 8은 본 발명의 일 실험예에서, 실시예 6의 다이아몬드 인덴터를 이용한 스크래치 반복 실험 시 대상 시료 표면을 관찰한 도(a)이고, 인덴터의 표면 변화를 나타낸 도(b)이다.

도 9는 본 발명의 일 실험예에서, 실시예 7의 다이아몬드 인덴터를 이용한 스크래치 반복 실험 시 대상 시료 표면을 관찰한 도(a)이고, 인덴터의 표면 변화를 나타낸 도(b)이다.

도 10은 본 발명의 일 실험예에서, 이온 빔 처리의 가속 전압 및 처리 시간에 따른 다이아몬드 인덴터의 수명 특성을 나타낸 그래프이다.

도 11은 본 발명의 일 실험예에서, 다이아몬드 인덴터의 표면 거칠기 (Ra) 측정 방법을 나타낸 도이다.

도 12는 본 발명의 일 실험예에서, 다이아몬드 인덴터의 표면 거칠기 변화에 의한 수명 특성을 나타낸 도이다.

도 13은 본 발명의 일 실험예에서, 다이아몬드 인덴터의 마찰 계수 변화에 의한 수명 특성을 나타낸 도이다.

도 14는 본 발명의 일 실험예에서, 다이아몬드 인덴터 표면에 아르곤 이온을 주입할 때, 이온 빔 에너지에 따른 주입되는 평균 깊이(R_a) 및 최대 주입 깊이(R_{max})를 나타낸 그래프이다.

도 15는 본 발명의 일 실험예에서, 이온 빔 에너지에 따른 이온 주입 깊이 및 이온 주입 궤적을 보여주는 표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

[0034] 한편, 본 발명의 실시 형태는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명하는 실시 형태로 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 발명의 실시 형태는 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 나아가, 명세서 전체에서 어떤 구성요소를 "포함"한다는 것은 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.

[0036] 본 발명의 일 측면에서

[0037] 기재 상에 형성되는 다이아몬드 막을 포함하는 다이아몬드 공구로서,

[0038] 상기 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 이온 빔으로 처리한 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구를 제공한다.

[0040] 본 발명의 다이아몬드 공구는 기재 상에 형성되는 다이아몬드 막을 포함한다.

[0041] 상기 다이아몬드 막은 다양한 방법으로 기재 상에 형성될 수 있으며, 예를 들어 화학기상증착법(CVD)으로 증착될 수 있다.

[0042] 상기 다이아몬드 막은 공구 기능에 요구되는 경도를 부여하는 역할을 한다. 다이아몬드는 경도 약 75 GPa 이상의 단단한 소재로 내마모 부품의 표면 피복이나 절삭공구 등의 표면 피복에 적용되고 있다. 화학기상증착법으로 다이아몬드 막을 형성하는 경우 3차원적 복잡한 형상에 적용 가능한 이점이 있다. 다만, 화학기상증착법에 의한 다이아몬드 막은 높은 내부 응력으로 인한 박리 현상이 일어나고 표면 조도가 거친 문제점이 있다.

[0044] 상기 다이아몬드 공구는 다이아몬드 인덴터일 수 있다.

[0046] 본 발명의 다른 일 측면에서

[0047] 기재 상에 형성되는 다이아몬드 막을 포함하는 다이아몬드 공구에 있어서,

[0048] 상기 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 이온 빔 처리를 수행하는 것을 특징으로 하는, 다이아몬드 공구의 수명 연장 방법을 제공한다.

[0050] 이하, 본 발명의 다른 측면에서 제공되는 다이아몬드 공구의 수명 연장 방법을 단계별로 상세히 설명한다. 위의 다이아몬드 공구에서 설명한 내용은 중복하여 설명하지 않더라도, 본 발명의 다른 측면에서 제공되는 다이아몬드 공구의 수명 연장 방법에 적용될 수 있다.

[0052] 본 발명의 수명 연장 방법은 상기 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 이온 빔으로 처리하는 단계를 포함한다.

[0054] 상기 이온 빔이 처리된 다이아몬드 막은 고에너지 이온 빔에 의해 발생한 열로 인해 내부 응력이 감소하는 효과가 있다. 또한, 다이아몬드 막의 표면이 에칭되어 표면 거칠기를 개선할 수 있고, 이온 침투로 다이아몬드 막의

결정구조 내 미활성 구조를 결정화구조로 추가적 재배열하여 활성화하는데 기여할 수 있다.

[0055] 상기 이온 빔은 헬륨(He), 질소(N), 아르곤(Ar), 크립톤(Kr) 및 제논(Xe)으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 원자 또는 분자를 사용할 수 있다.

[0057] 상기 조사된 이온 빔의 이온 에너지는 1.0 keV 이상이다.

[0058] 상기 이온 빔의 이온 에너지가 1.0 keV 미만인 경우 이온이 다이아몬드 표면으로부터 일정 깊이 방향으로 다이아몬드의 결정구조에 침투하지 못하고 표면의 불순물 및 표면 에칭만 진행되어, 다이아몬드의 결정구조를 재배열을 위한 활성화 및 스트레스를 완화시키지 못하여 수명 향상 증대에 효과를 줄 수 없는 문제점이 있다.

[0060] 이때, 상기 이온 빔 처리는 바람직하게는 60분 이상 수행할 수 있다.

[0061] 상기 이온 빔 처리 시간이 60분 미만인 경우 표면에 주사되는 이온의 에너지가 표면에서 내부로 퍼져 나가면서 표면 부근의 다이아몬드 결정구조의 재배열화 및 스트레스를 완화하기에는 충분한 에너지가 공급되지 않아서, 수명 향상 증대를 기대할 수 없는 한 문제점이 있다.

[0063] 일 실시예에서, 상기 다이아몬드 막 표면을 2.5 keV 이상의 이온 빔으로 5분 이상 처리하는 것일 수 있다.

[0064] 도 10 및 도 11에서 확인할 수 있듯이, 이온 빔의 이온 에너지가 증가할수록 이온이 더욱 깊은 범위까지 주입될 수 있으며, 이에 따라 더욱 깊은 위치까지 결정 구조 또는 결함 구조를 변경할 수 있다.

[0066] 상기 다이아몬드 공구는 이온 빔 처리한 다이아몬드 막 상에 피복되는 ta-C(tetrahedral amorphous carbon) 막을 더 포함할 수 있다.

[0067] 상기 ta-C 막은 다이아몬드 막 상에 피복되어 다이아몬드 막의 높은 내부 응력을 완화시키고, 인덴터 사용시 표면 거칠기를 개선시킬 수 있다. 또한, 다이아몬드 막을 보호하고 먼저 마모되는 희생층의 역할을 할 수 있다.

[0069] 상기 ta-C 막은 자장여과아크(filtered cathodic vacuum arc) 방식으로 피복될 수 있다. 구체적으로, 상기 자장여과아크 방식의 진공아크증착법을 이용하여 피복될 수 있다.

[0070] 상기 자장여과아크 방식(magnetic filter)의 진공아크증착법을 이용하는 경우, 비이온화된 마이크론 크기의 거대입자가 보호막으로 들어가 막질을 저하시키는 문제를 해결할 수 있어 바람직하다.

[0071] 또한, 자장여과아크방식을 이용하는 경우, sp3 결합 분율이 높으며, 수소가 없는 무수소 비정질 탄소 막을 형성할 수 있기 때문에, 자장여과아크방식을 사용하지 않는 경우에 비하여 높은 경도의 탄소 막을 형성할 수 있다.

[0072] 자장여과아크 방식을 사용하게 되면 카본 막의 기저물질로 고체의 흑연(graphite)을 사용하며 최대 100eV의 높은 이온에너지를 동반하므로 치밀하고 높은 경도의 탄소 막을 제작할 수 있다.

[0074] 본 발명의 수명 연장 방법은 상기 이온 빔 처리된 다이아몬드 막 상에 ta-C(tetrahedral amorphous carbon) 막을 자장여과아크(filtered cathodic vacuum arc) 방식의 진공아크증착법으로 피복하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0076] 본 발명의 수명 연장 방법은 상기 이온 빔 처리한 후 ta-C 막을 피복하기 전, 상기 이온 빔 처리된 다이아몬드 막 상에 밀착층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0077] 상기 밀착층은 피복되는 ta-C 막의 접착력을 향상시켜주는 중간층으로, 일 예로 타이타늄(Ti) 또는 크롬(Cr) 일 수 있다.

[0079] 본 발명에 따른 다이아몬드 공구는 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 고에너지 이온 빔 처리함으로써, 다이아몬드 막의 내부 응력을 완화하고 표면 거칠기를 개선할 수 있다. 본 발명은 특히, 공구 사용 개시 후 표면 거칠기가 유지되는 효과가 있다. 이에 따라, 공구 사용시 높은 표면 거칠기로 인한 불필요한 대상 시료 손상이 방지되어, 다이아몬드 공구로서의 기능적 수명이 향상되는 장점을 갖는다.

[0080] 또한, 고에너지 이온 빔 처리한 후 희생층으로 작용 가능한 ta-C 막을 피복하는 이중 표면 처리를 함으로써, 다이아몬드 공구의 수명을 더욱 개선할 수 있다.

[0083] 이하, 본 발명을 실시예 및 실험예를 통해 상세히 설명한다.

[0084] 단, 후술하는 실시예 및 실험예는 본 발명을 일 측면에서 구체적으로 예시하는 것일 뿐, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0086] **<실시예 1~6>**

[0087] 다이아몬드 공구의 일종인 다이아몬드 인덴터를 제조하였다. 기재 상 다이아몬드 막을 CVD 방법으로 증착하였다. 음극 간격이 2mm인 선형 이온 소스에서 이온화된 아르곤(Ar) 도펀트 원자를 발생시키고, Ar 이온을 1.0~3.0x 10^{-4} torr의 진공 상태에서 가속 전압 1.0 keV을 인가해 고에너지 가속화하여 상기 다이아몬드 막 표면에 이온 빔을 조사하였다.

[0089] 하기 표 1에 상기 실시예 1에서 이온 가속 전압 및 처리 시간을 달리한 실시예 1 내지 6를 정리하였다.

표 1

[0091]

	가속 전압(keV)	처리 시간(분)
실시예 1	1.0	30
실시예 2	1.0	60
실시예 3	1.7	5
실시예 4	1.7	60
실시예 5	2.5	5
실시예 6	2.5	60

[0093] **<실시예 7>**

[0094] 상기 실시예 5에서, 다이아몬드 막을 이온 빔 처리한 후,

[0095] 자장여과아크(filtered cathodic vacuum arc) 방식의 코팅장치를 이용하여 상기 이온 빔 처리된 다이아몬드 막 상에 500 nm 두께로 ta-C 막을 피복하였다.

[0097] **<비교예 1>**

[0098] 상기 실시예 1에서, 이온 빔 처리를 하지 않은 것을 제외하고는 실시예 1의 제조방법과 동일한 방법으로 다이아몬드 인덴터를 준비하였다(EISEN Diamond indenter, https://ichiban.com.my/products/4467/Eisen-Diamond-Indenter-for-Hardness-Testing-Machine).

[0100] 준비

[0101] 고경도 평가 시료의 준비

[0102] WC-Co(Tungsten Carbide Cobalt) 기재에 ta-C 막을 1.5 ㎛ 두께로 코팅하여, 경도 60±5 GPa, 탄성계수 612±57 GPa를 갖는 고경도 평가 시료를 준비하였다.

[0104] **<실험예 1> 다이아몬드 인덴터의 스크래치 거동 실험**

[0105] 본 발명의 다이아몬드 인덴터 이온 빔 표면 처리에 따른 수명 개선 효과를 평가하기 위하여, 실시예 1 내지 7 및 비교예 1의 다이아몬드 인덴터를 대상으로 아래와 같은 스크래치 실험을 수행하였다.

[0106] 비교예 1 및 실시예 1 내지 7의 다이아몬드 인덴터를 이용하여 준비한 고경도 평가 시료의 표면에 10N의 하중을 인가한 뒤, 10 mm 길이(distance)로 스크래치 실험을 실시하였다. 이어서 동일한 인덴터를 계속 사용하여, 동일한 방법으로 준비한 별도의 고경도 평가 시료들에 상기 스크래치 실험을 반복 실시하였다.

[0108] 실험 이후, 각 고경도 평가 시료의 표면을 관찰한 것을 도 2a 내지 9a에 나타내었다. 또한, 비교예1, 실시예 1 내지 7의 다이아몬드 인덴터의 각 스크래치 실험 이후의 외관을 관찰하고, 그 결과를 도 2b 내지 9b에 나타내었다.

[0110] 여기서, n회의 의미는 동일한 인덴터를 이용하여 스크래치 실험을 n번 반복 실시한 것을 말하며, n번째 실험에 사용된 고경도 평가 시료의 표면을 나타낸다.

[0112] 상기 도 2 내지 9를 살펴보면, 비교예 1은 19회 이후에 고경도 평가 시료의 탈막이 관찰되었다. 실시예 1 및 3은 각각 6회, 4회 이후 고경도 평가 시료 탈막이 관찰되었고, 다이아몬드 막 상에 거친 마모 표면이 확인되었다.

[0113] 반면, 실시예 2 및 4는 31회까지 고경도 평가 시료가 탈막되지 않았고, 다이아몬드 막의 표면 거칠기가 변화가 관찰되지 않았다. 실시예 5 및 6는 30회, 52회까지도 고경도 평가 시료의 탈막 및 표면 거칠기 변화가 관찰되지

않았다.

[0114] 또한, ta-C 막을 피복한 실시예 7은 52회까지 고경도 평가 시료 표면에서 탈막이 관찰되지 않았다.

[0116] 상기 결과를 바탕으로, 이온 빔 처리의 가속 전압 및 처리 시간에 따른 다이아몬드 인덴터의 수명 특성을 도 10에 도시하였다.

[0117] 상기 도 10에 따르면, 이온 빔 처리를 수행하지 않은 기존의 다이아몬드 인덴터의 수명은 19회로 확인되었다. 1.0 keV의 이온 빔을 30분, 1.7 keV의 이온 빔을 5분 조사한 경우 기존 다이아몬드 인덴터와 비교하여 수명 향상되지 않았다.

[0118] 반면, 1.0 keV에서 60분, 1.7 keV에서 60분 이온 빔 처리를 수행한 경우 19회에서 30회로 37% 수명이 연장되었다. 또한, 2.5 keV에서 5분, 60분 처리한 경우 52회로 63% 수명이 연장되는 것을 확인하였다.

[0119] 따라서, 다이아몬드 공구의 다이아몬드 막의 표면을 1.0 keV 이상의 에너지로 60분 이상 이온 빔 처리하거나 2.5 keV 이상의 에너지로 5분 이상 이온 빔 처리한 경우, 다이아몬드 인덴터의 수명이 개선되는 우수한 효과 있음을 확인하였다.

[0120] 또한, 상기 이온 빔 처리 후 다이아몬드 막 상에 ta-C 막을 코팅할 수 있고, 다이아몬드 인덴터의 수명을 더 개선할 수 있음을 알 수 있다.

[0122] **<실험예 2> 다이아몬드 인덴터의 표면 거칠기 및 마찰 계수 평가**

[0123] 상기 실험예 1의 비교예 1, 실시예 1 내지 7의 다이아몬드 인덴터를 이용한 스크래치 실험에서, 각 스크래치 실험 이후의 비교예 1, 실시예 1 내지 7의 다이아몬드 인덴터의 표면 거칠기 및 마찰계수를 다음과 같은 방법으로 평가하였다. 표면 거칠기 측정 방법은 도 11에 도시하였다. 평가 결과는 도 12 및 도 13에 나타내었다.

[0125] 일반적으로 다이아몬드를 이용한 스크래치 실험 시 고정식 수직하중을 10N으로 인가하고, 이동거리 10 ㎜, 스크래치 속도 16.7 ㎛로 하였다. 이때 다이아몬드 인덴터의 진행방향의 반대 방향으로 마찰력이 발생하게 되며 이러한 마찰력의 힘은 전압으로 나타나게 된다. 스크래치 시험기에 스트레인게이지와 센서를 부착하여 마찰계수를 얻을 수 있다. 이때 시험 환경은 대기 온도가 23 ℃, 상대습도가 30 %인 동일한 건조 마찰환경에서 측정되었다.

[0127] 표면 거칠기의 경우 비접촉식 레이저 컨포컬 현미경을 활용하고 10nm의 해상도로 표면의 거칠기를 측정하였다. 레이저를 사용하여 표면을 측정하기 때문에 구성이 복잡하고 각도가 가파른 형태를 포함하여 측정하므로 복잡하고 가파른 불규칙 형태의 표면 측정에 용이한 장점이 있다.

[0128] 스크래치 테스터를 진행을 할 때 Diamond 압입자의 앞부분에만 연속적 인장응력이 작용하여 팁의 마모와 거칠기가 변화하게 된다.

[0129] 따라서, 다이아몬드 티브이 형상 프로파일을 측정하여 실제 스크래치 테스터 시 실제로 접촉되는 부분에 대한 구간 지정을 하여 중심선 평균 거칠기(Ra) 값을 측정하였다(도 11).

[0131] 도 12는 표면 거칠기 변화에 의한 수명 특성을 나타낸다.

[0132] 도 13은 마찰 계수 변화에 의한 수명 특성을 나타낸다.

[0134] 도 12에 따르면,

[0135] 1.0 keV 이상의 에너지로 60분 이상 이온 빔 처리하거나 2.5 keV 이상의 에너지로 5분 이상 이온 빔 처리한 경우, 사용 개시 후 다이아몬드 인덴터의 표면 거칠기(Ra) 값이 6㎛ 이하를 유지하는 것으로 나타났다. 또한 이 경우, 다이아몬드 인덴터의 수명이 개선되는 것으로 확인되며, 이에 이온 빔 처리로 다이아몬드 인덴터의 표면 거칠기가 낮게 유지되어 인덴터의 기능적 수명이 개선되는 것을 알 수 있다.

[0137] 도 13에 따르면,

[0138] 평균 마찰계수가 0.1을 초과하는 경우 다이아몬드 막 표면 형상이 변형되고, 마모되어 사용이 불가한 것으로 평가되며, 평균 마찰계수가 0.1 이하인 경우는 계속 사용 가능한 것으로 평가된다.

[0139] 사용을 개시한 이후 기존 다이아몬드 인덴터는 사용에 의한 파손 또는 부분적 마모에 의해 마찰계수가 사용 횟수에 따라 증가하였고 0.1이 되었을 때 완전 파손에 따라 사용이 불가한 것으로 확인되었다.

[0140] 다이아몬드 막 표면을 1.0 keV 이상의 에너지로 60분 이상 이온 빔 처리하거나 2.5 keV 이상의 에너지로 5분 이

상 이온 빔 처리한 경우, 사용 개시 이후 평균 마찰계수가 0.1 이하로 유지되어 계속 사용 가능하고, 수명이 개선되는 것을 확인하였다.

[0142] 기존의 다이아몬드 인덴터는 다이아몬드의 높은 내부 응력에 의한 박리 및 거친 표면으로 인하여 대상 소재의 표면에 작용하는 응력이 커서, 이를 이용한 압입시험을 반복하는 경우, 대상 소재 인위적 손상시켜 시험 결과에 영향을 주고, 대상 소재 자체의 손상을 가속화할 수 있는 문제점이 있었다.

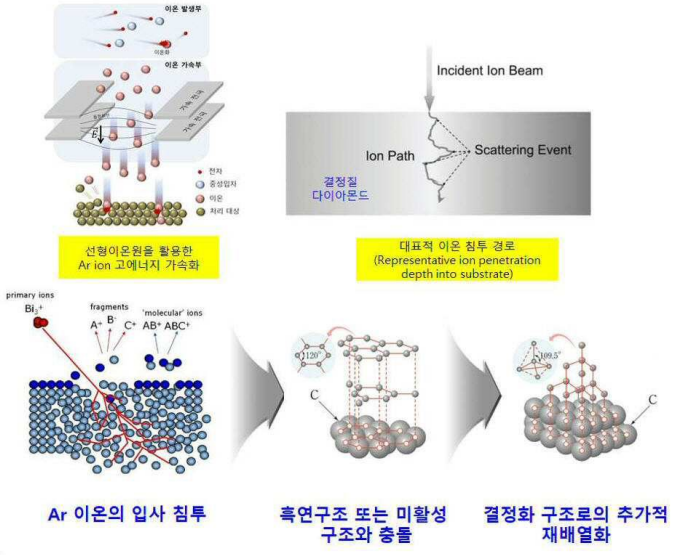
[0143] 실험예 1 및 2에 따르면, 본 발명의 일 측면에서 제공되는 다이아몬드 공구는 다이아몬드 막 표면을 고에너지 이온 빔 처리함으로써, 다이아몬드 막의 내부 응력을 완화하고 표면 거칠기를 개선할 수 있었다. 특히, 공구 사용 개시 후 표면 거칠기가 낮게 유지되는 효과가 확인되었다. 이에 따라, 공구 사용시 표면 거칠기로 인한 시료 손상이 방지되며, 다이아몬드 공구로서의 기능적 수명이 증가하는 효과를 얻었다.

[0144] 또한, 고에너지 이온 빔 처리한 후 희생층으로 작용 가능한 ta-C 막을 피복하는 이중 표면 처리를 함으로써, 다이아몬드 공구의 수명을 더욱 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

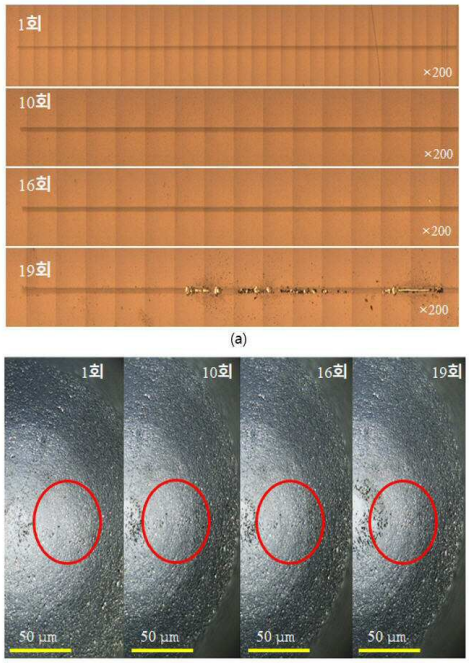
[0146] 이상, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예에는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

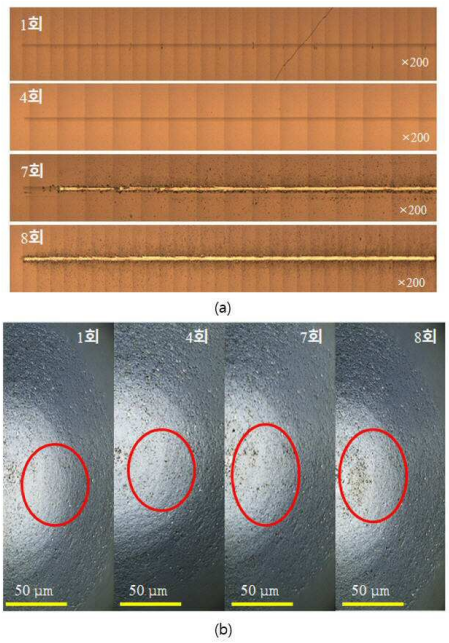
도면1



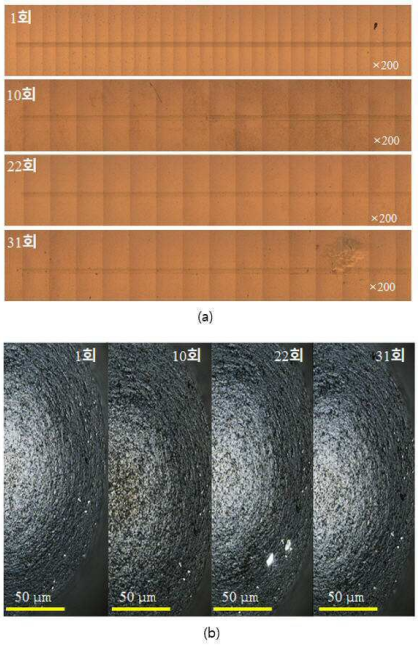
도면2


1회
×200
10회
×200
16회
×200
19회
×200
(a)
1회
10회
16회
19회
50 μm
50 μm
50 μm
50 μm
(b)

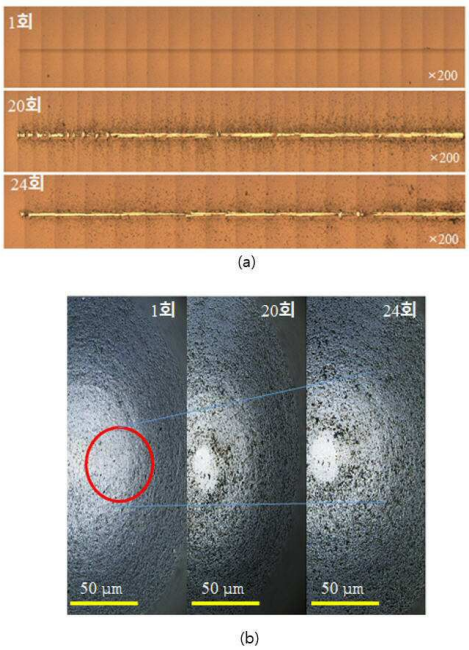
도면3


1회
×200
4회
×200
7회
×200
8회
×200
(a)
1회
4회
7회
8회
50 μm
50 μm
50 μm
50 μm
(b)

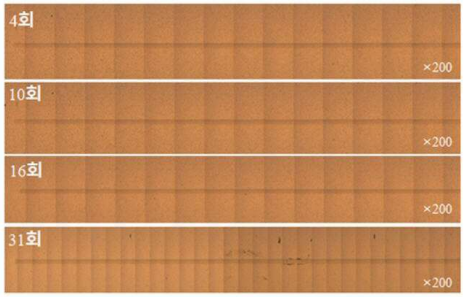
도면4


1회
×200
10회
×200
22회
×200
31회
×200
(a)
1회
10회
22회
31회
50 μm
50 μm
50 μm
50 μm
(b)

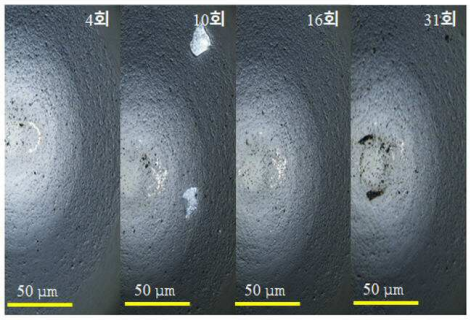
도면5


1회
×200
20회
×200
24회
×200
(a)
1회
20회
24회
50 μm
50 μm
50 μm
(b)

도면6

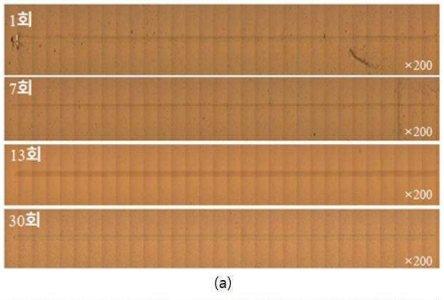

4회
×200
10회
×200
16회
×200
31회
×200

(a)

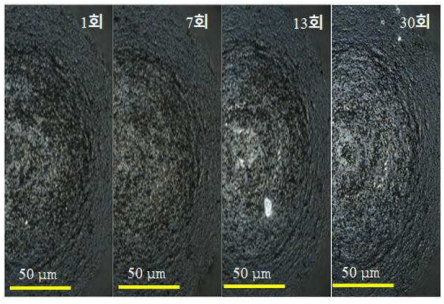

4회
10회
16회
31회
50 μm
50 μm
50 μm
50 μm

(b)

도면7

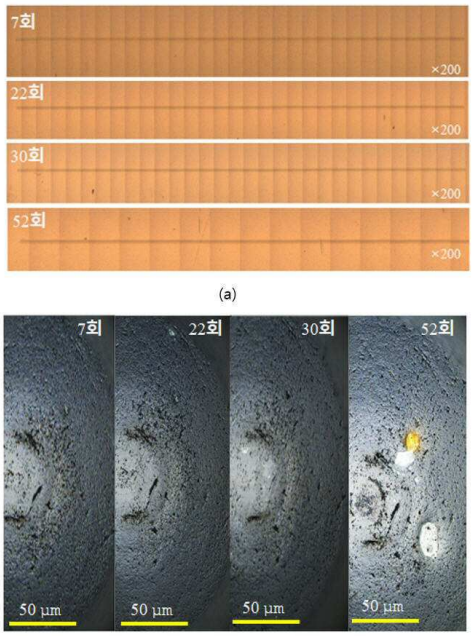

1회
×200
7회
×200
13회
×200
30회
×200

(a)

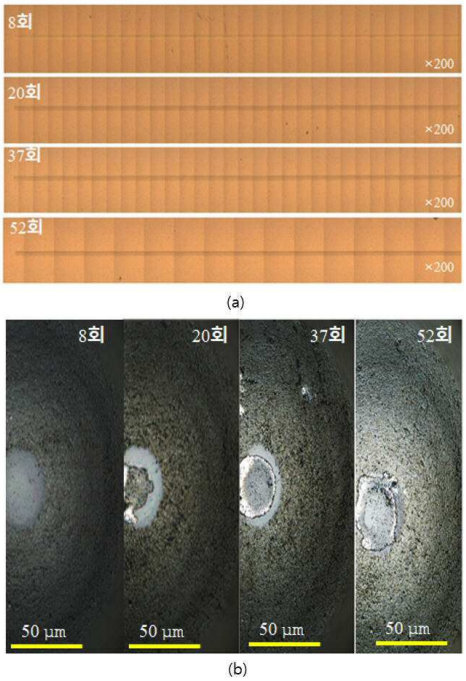

1회
7회
13회
30회
50 μm
50 μm
50 μm
50 μm

(b)

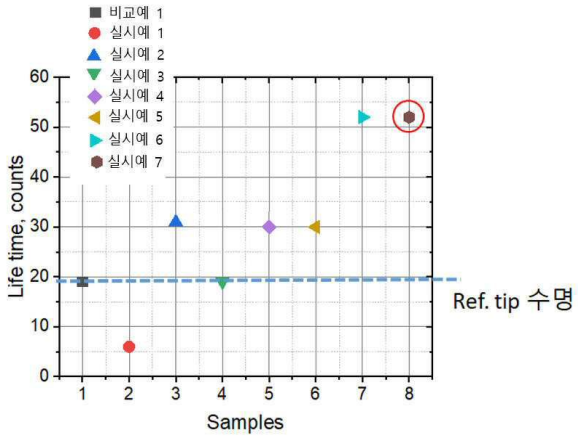
도면8


7회
×200
22회
×200
30회
×200
52회
×200
(a)
7회
22회
30회
52회
50 μm
50 μm
50 μm
50 μm
(b)

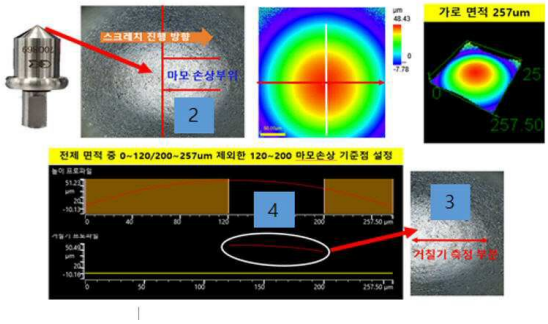
도면9


8회
×200
20회
×200
37회
×200
52회
×200
(a)
8회
20회
37회
52회
50 μm
50 μm
50 μm
50 μm
(b)

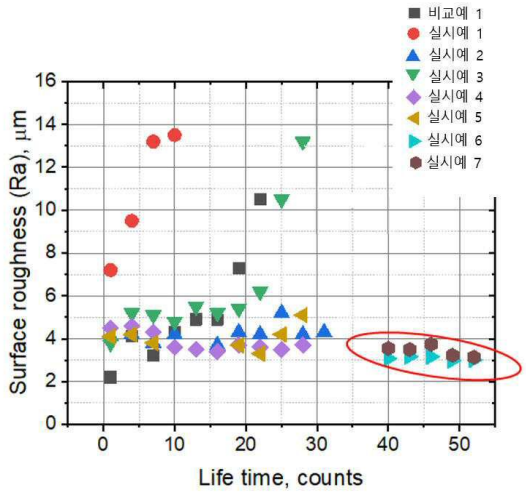
도면10



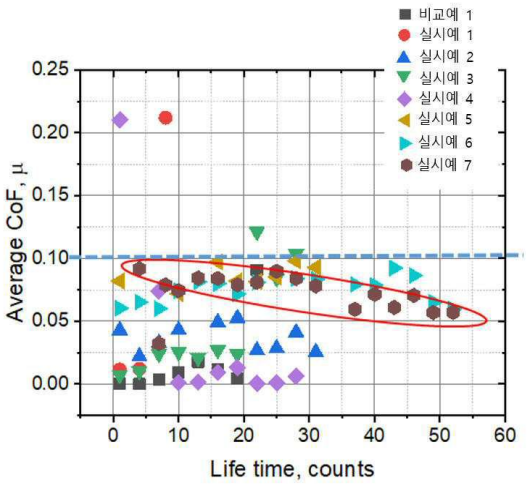
도면11



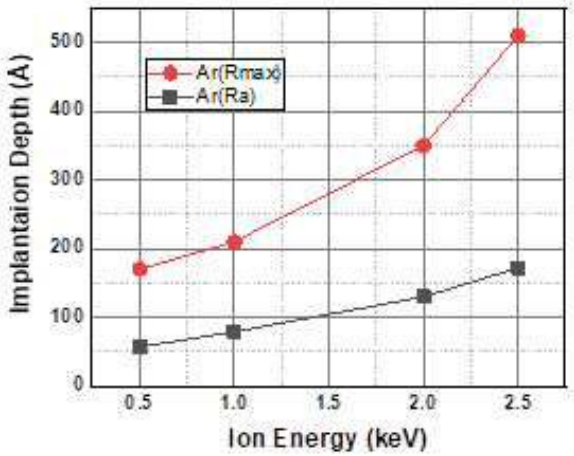
도면12



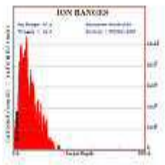
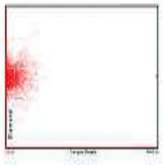
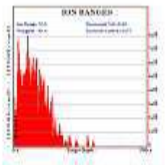
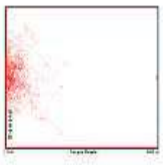
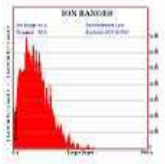
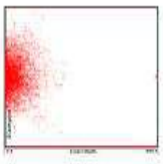
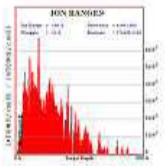
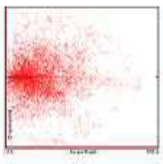
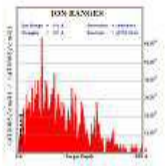
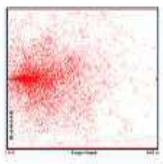
도면13


비교예 1
실시예 1
실시예 2
실시예 3
실시예 4
실시예 5
실시예 6
실시예 7
Average CoF, μ
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
0
10
20
30
40
50
60
Life time, counts

도면14


Ar(Rmax)
Ar(Ra)
Implantaion Depth (Å)
500
400
300
200
100
0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
Ion Energy (keV)

도면15

	이온 주입 깊이	이온 주입 결과
0.5 keV		
1.0 keV (5분 조사)		
1.0 keV (60분 조사)		
2.0 keV		
2.5 keV		
5.0 keV	