

화학기상증착 다이아몬드 막의 레이저 평탄화

박영준 · 백영준

한국과학기술연구원 박막기술연구센터
(1999년 2월 3일 접수)

Lapping of Chemical Vapor Deposited Diamond Films Using Copper Vapor Laser

Young-Joon Park and Young-Joon Baik

Thin Film Technology Research Center, Korea Institute of Science and Technology,
Seoul 136-791, Korea

(Received February 3, 1998)

초 록

구리증기레이저 빔을 이용하여 다이아몬드 막의 평탄화를 시도하였다. 광학계를 이용하여 원형 또는 막대기 모양의 레이저 빔을 형성하였고 주사속도(0.125, 0.5, 0.75 mm/sec) 및 shift(5, 10, 20, 40, 100 μm)에 따른 다이아몬드 막의 평탄화 효과를 조사하였다. 주사속도와 빔 shift가 작은 경우 좋은 평탄화 결과를 얻었다. 주사속도 0.125 mm/sec, shift 10 μm 로 주사한 결과 약 20 mm의 거리에 걸쳐 주사 전 약 700 μm 이었던 높이 차가 주사 후 약 200 μm 정도로 감소하면서 평탄화되었다. 표면 거칠기도 빔 shift를 5 μm 로 한 경우, 주사 전 약 3.53 μm 에서 주사 후 약 2.47 μm 로 감소하였다. 그러나 표면 거칠기는 shift가 약 10 μm 보다 크면 오히려 나빠지는 결과를 얻었는데, 이는 레이저 빔의 강도가 균일하지 않고 빔 중심에 집중되기 때문이었다. 대면적의 효과적인 평탄화를 위해서는 빔 강도의 공간 분포가 균일한 고효율의 레이저가 필요함을 제안하였다.

ABSTRACT

Laser lapping of diamond films is performed with focused beam of copper vapor laser. Both spherical and rod-shape laser beam are used. Diamond surface is scanned at various scan speeds(0.125, 0.5, 0.75 mm/sec) and beam shifts(5, 10, 20, 40, 100 μm). At 0.125 mm/sec, 10 μm scan condition, the level difference of diamond surface of about 700 μm over 20 mm is reduced to 200 μm . In addition, surface roughness is also improved from 3.53 μm to 2.47 μm at 5 μm beam shift. But, at higher beam shift than 10 μm , laser scan makes the surface rougher, which is considered to be due to the non uniform spatial distribution of laser energy. It is concluded that homogenized laser beam with high average power is needed for large area laser lapping of diamond films at appreciable rates.

Key words : Laser lapping, Diamond films, Copper vapor laser

1. 서 론

다이아몬드 막은 매우 큰 열전달 계수를 가지고 있기 때문에 MCM(multi chip module)과 같이 열 처리가 중요한 패키징 분야에 응용가능성이 크다.^{1,4)} 이러한 응용을 위해서 다이아몬드 막은 10W/cmK 이상의 열전달 계수, 큰 면적, 500 μm 이상의 두께, 편평한 표면 등의 조건을 만족시켜야 한다.⁵⁾ 편평한 표면이 필요한 이유는 크게 두 가지가 있는데, 첫째는 열처리 기판으로 사용될 경우 소자와의 접촉성을 증가시켜서 열 전달 능력을 향

상시키기 위해서고, 둘째는 다이아몬드 막에 금속 배선을 할 경우 photolithography 공정을 하게 되는데 이때 표면의 거칠기가 해상도를 결정하기 때문이다.

다이아몬드는 성장면의 특징에 의하여 표면이 울퉁불퉁한 각진 면으로 이루어져 있다는 것과, 합성 중에 상당한 응력이 발생하여 막 전체에 bow 와 warpage가 존재한다는 점의 두 가지 문제가 존재한다. 따라서 반도체 공정이 가능한 편평한 웨이퍼로 만들기 위해서는 CVD (chemical vapor deposition)로 합성된 다이아몬드 막을 적당한 방법으로 연마하여야 한다. 연마에는 전체 평

탄도를 향상시키는 lapping과 표면을 경면화하는 polishing이 있다.

다이아몬드 막은 잘 알려진 대로 매우 큰 경도와 화학적 안정성을 가지고 있어서 이를 가공하는 것은 매우 어렵다. 현재 다이아몬드의 연마 방법에는 기계적,⁶⁾ hot metal,⁷⁾ 열화학적,⁸⁾ 레이저 방법^{5,9-11)} 등이 있는데, 아직 소요 시간 및 경비 문제를 완전히 해결한 정립된 방법은 없다. 그 중 레이저에 의한 방법은 상대적으로 가공 후 표면의 오염이 작고, 곡면 등 복잡한 형상의 가공이 가능하다는 것과 함께 상대적으로 빠른 polishing이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 지금까지 다이아몬드 막의 표면 거칠기를 감소시키는 polishing을 위하여 많은 연구가 진행되고 왔다.^{5,9-11)} 그러나 막의 전체 곡률을 보정하는 lapping의 목적으로 레이저를 이용한 연구는 드물다.

레이저를 이용하여 굽은 면을 평평하게 하기 위해서는 굽은 면에서 높은 부분이 선택적으로 빨리 제거될 수 있도록 레이저를 표면에 조사할 수 있는 방법이 관건이다. 그 중 한 방법은 레이저를 표면에 조사하기 전에, 다이아몬드 표면의 굽은 위치를 확인한 후, 표면의 높은 부분에 레이저를 위치 시켜서 그 부분만을 집중적으로 깎아내는 것이다. 그러나 이러한 방법은 매우 번거롭고 복잡하다. 그리고 표면이 부분적으로 돌출한 경우에 적용할 수 있고 표면 전체가 전체적인 곡률을 가지고 굽어 있는 경우에는 적용하기가 어렵다. 다른 방법으로, 별도의 레이저를(예, He-Ne 레이저) 이용하여 표면의 돌출 정도를 인식하여 표면의 골짜기에 따라 표면에 조사되는 레이저의 파워를 조절하는 것이다. 즉 많이 돌출한 부분에서는 레이저의 파워를 높이고 적게 돌출한 부분에서는 레이저의 파워를 줄여서 결과적으로 평평한 면을 형성하는 것이다. 그러나 이러한 방법은 현재 개념만이 제시되었을 뿐, 실제적으로 구현되지는 않았고, 다수의 레이저를 동시에 사용하고 이들을 연결하여 연동시킬 수 있는 복잡한 설치가 필요하다.

이러한 표면 평탄화를 위한 레이저 조사 방법의 어려움은 레이저가 렌즈에 의하여 제한된 위치에 초점이 형성된 경우 표면 높이에 따라 에너지 강도가 달라진다는 원리를 이용하여 해결할 수 있다. 레이저는 일종의 빛이기 때문에 렌즈를 이용하여 모을 수 있다. 이때 레이저 빔의 크기는 초점에서 최소가 되고 에너지 밀도(laser fluence)는 최대가 된다. 그리고 초점거리에서 멀어질수록 빔의 크기가 커지면서 에너지 밀도는 감소한다. 물질이 레이저에 의하여 제거되는 속도는 레이저의 에너지 밀도에 따라 다르다. 일반적으로 에너지 밀도가 증가할수록 제거속도는 빨라진다. 그리고 각 물질에 대하여 임계 에너지 밀도가 존재하는데, 이 보다 작은 밀도에서는 물질의 제거가 발생하지 않는다. 평평하지 않은 표면을

초점이 형성된 레이저로 주사(scan)하면 위치에 따라 표면에 초점이 형성된 정도가 달라지고 이에 따라서 물질이 제거되는 속도가 달라진다. 만일 레이저를 표면 중 가장 높은 부분에서 초점이 형성되도록 한 후 표면 전체를 빔으로 주사하면, 높은 부분일수록 레이저에 의한 물질의 제거가 빨리 일어나서 전체표면이 평평해 질 것이다. 어느 정도의 주사로 초점위치에 있는 물질이 제거된 후에는, 레이저의 초점을 점진적으로 아래로 조절하면서 표면 전체를 주사함으로써 평탄도를 증가시킬 수 있다.

본 연구에서는 위의 개념을 이용하여 레이저를 이용한 다이아몬드 막의 표면의 전체 기울기를 연마하는 초기 lapping의 가능성을 연구하였다. 사용 레이저는 구리 증기 레이저이고, 약 10W의 레이저 빔을 spherical 및 cylindrical 렌즈로 집광하여 초점을 형성하여 연구하였다. 평탄화 결과는 surface profiler, SEM(scanning electron microscopy) 및 광학 현미경으로 분석하였다.

2. 실험 방법

레이저는 러시아 Mechatron사의 CVL-10 모델의 구리 증기 레이저를 사용하였다. CVL-10의 제원은 다음과 같다: 평균파워: 10W, 반복주파수: 16 kHz, 펄스길이: 20 ns, 파장: 510.6 nm(60%), 578.2 nm(40%), 레이저 빔 직경: 14 mm, 불안정 공진기(unstable resonator). (CVL-10의 개략적 구성은 참고문헌 12 참조) 레이저 빔을 두 개의 거울을 통하여 형성시키고 이 빔을 렌즈를 통하여 한 점으로 집약한다. 이때 두 개의 거울은 불안정 공진기의 구성을 가지고 있어서 나오는 레이저 빔은 도넛 형태 분포를 나타낸다.

모아지는 초점의 모양 및 크기는 사용하는 렌즈에 따라 달라진다. 본 연구에서는 spherical 렌즈와 cylindrical 렌즈를 이용하여 각 각 원형 및 막대기 모양의 레이저 빔을 형성하였다. Spherical 렌즈는 초점거리가 약 100 mm이었으며 약 40 μ m 직경의 원형 빔이 형성되었다. 이때의 초점길이는 약 200 μ m였다. 막대기 모양의 빔은 원형 빔에 비하여 표면 전체를 조사하는데 효율적이기 때문에 두 개의 cylindrical 렌즈를 직각으로 배열하여 형성하였다. 각 각의 초점거리는 약 100 mm와 75 mm이었고 두 렌즈간의 거리가 조절 가능하도록 설치하였다. 이 렌즈에 의하여 형성되는 빔의 모양은 두 렌즈의 초점위치 및 시편의 위치에 따라 달라진다. 두 렌즈를 직각으로 배열하였으므로 각 각의 렌즈는 원래 14 mm 직경의 원형 레이저를 직각 방향에서 각 각 독립적으로 집광하게 된다. 만일 한 렌즈의 초점위치를 고정하고 이 위치에 시편의 표면을 위치한 후 다른 렌즈의 위치를 변화시키면 두 렌즈 사이의 초점 위치에 따라 표

면에 형성되는 레이저 빔의 모양이 달라진다. 두 렌즈의 초점 위치가 일치하게 되면 매우 작은 거의 정사각형의 빔이 형성되고, 두 초점 위치가 달라지면 벗어날수록 한 쪽 변의 길이가 길어지는 막대기 모양의 빔이 형성된다. 이렇게 원형 또는 막대기 모양으로 만들어진 레이저 빔으로 표면을 zig-zag로 조사하여 평탄화하였다.

레이저 가공에 사용된 다이아몬드 후막은 직류 플라즈마 장비로 합성하였다. 다이아몬드 막의 증착 조건은 3% CH₄, 97% H₂의 조성, 약 1200°C의 증착온도이다. 다이아몬드 막의 레이저가공은 특별한 분위기의 사용 없이 공기 중에서 행하였고, 컴퓨터로 구동되는 시편지지대를 이용하여 연마를 수행하였다. 피치가 1 mm인 나사골을 형성하고 이를 스텝모터를 이용하여 구동함으로써 시편의 위치를 제어하였다. 스텝모터는 800 스텝으로 한 바퀴를 회전하게 되어 있어서, μm 단위의 제어가 가능하다. 레이저 주사는 위의 방법으로 형성된 원형 또는 막대기 모양의 레이저 빔을 각각 0.125, 0.5, 0.75 mm/sec의 속도로 주사하였고, 한 번 주사한 후 빔을 옆으로 옮기는 shift를 각각 5, 10, 20, 40, 100 μm 로 변화시키면서 그 효과를 보았다.

연마 전 후의 다이아몬드 막의 표면 거칠기 및 각인 깊이는 surface profiler로 측정하였고, 미세조직은 SEM으로 촬영하였다. 그리고 표면의 전체 기물기가 개선된 정도를 알기 위하여 광학 현미경의 스테이지에 변위계이치를 설치하여 막의 표면 높이를 측정하였다.

3. 결 과

Fig. 1(a)는 다이아몬드 표면에 spherical 렌즈로 레이저 빔을 집광하여 초점을 형성한 후 조사한 사진이다. 직경이 약 40 μm 인 원형 구멍이 형성되었고 구멍 주변에 흑연화된 손상지역이 거의 형성되지 않은 것으로부터 레이저 빔의 직경이 대략 40 μm 정도이고 레이저 에너지 밀도는 초점 경계를 벗어나면 급격히 저하됨을 알 수 있다. 이러한 원형 빔으로 평평한 다이아몬드 막의 표면을 주사하면 Fig. 1(b)와 같이 다이아몬드가 뚜렷한 선 모양으로 약 40 μm 의 균일한 선폭으로 가공됨을 알 수 있다. 초점이 정확히 형성되었기 때문에 가공 선 주위에 흑연화 지역이 거의 형성되지 않았고, 가공된 내벽도 거의 직각에 가깝게 형성되었다.

실제 레이저 빔이 굽어진 표면을 주사하게 되면, 표면의 높이에 따라 초점의 형성 정도가 달라지게 된다. 초점에서 벗어난 정도에 따른 다이아몬드 막의 가공 양상을 보기 위하여 평평한 다이아몬드 면을 인위적으로 약 1/10의 기물기로 기물인 후 가장 높은 부분에 초점을 형성시키고 아래 방향으로 레이저 빔을 주사하면서 표면

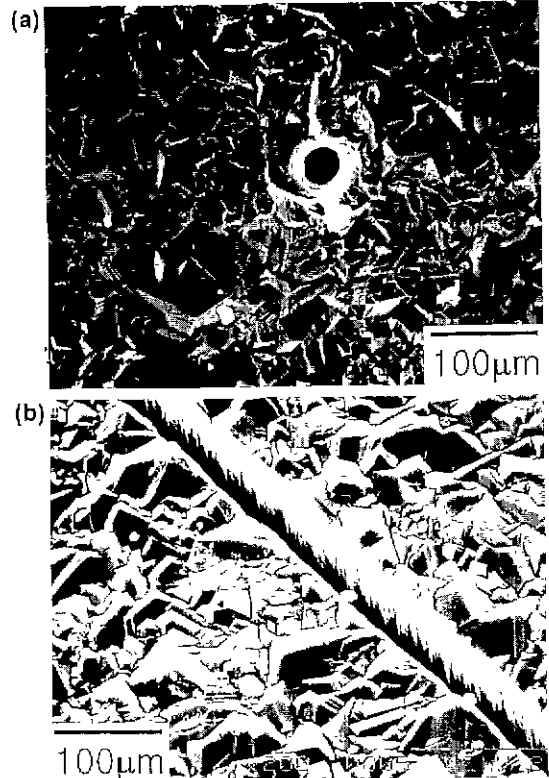


Fig. 1. SEM surface micrographs of diamond films irradiated by focused spherical beam of copper vapor laser: (a) static irradiation and (b) scanning(0.125 mm/sec).

의 가공양상을 살펴보았다. 주사속도는 0.125 mm/sec 이었다. 초점이 잘 형성된 주사 초기의 윗 부분은 Fig. 1(b)와 같이 가공 부산물이 없는 뚜렷한 경계의 가공양상을 보였다. 아래로 내려 갈수록 초점에서 벗어나서 되어, 초점에서 벗어난 지역에서는, Fig. 2와 같이, 상당한 가공 부산물이 각인 내벽 및 주위에 붙어있고, 내벽의 기물기도 상대적으로 완만함을 알 수 있다. 초점에서 벗어난 레이저의 경우 빔의 폭을 따라 레이저의 세기가 완만한 Gaussian 분포를 하게 되어, 중심 부분만 다이아몬드 가공의 임계 레이저 에너지 밀도 이상이 되고, 그 주변에서는 흑연화 및 가공 부산물들의 재증착 등에 의하여 넓은 지역에 debris를 형성하는 것으로 판단된다.¹²⁾ 그리고 이러한 지역 보다 더 아래로 내려가서 초점으로부터 더 멀어지면, 레이저 빔의 강도가 더욱 작아져서, 전혀 다이아몬드 표면이 가공되지 않았다. Fig. 3에 이러한 초점위치에 따른 가공양상을 나타내었다. 주사속도는 0.75 mm/sec이고, 1/10의 기물기를 가지는 다이아몬드 표면을 주사할 때 발생한 절삭 폭과 흑연화 등을

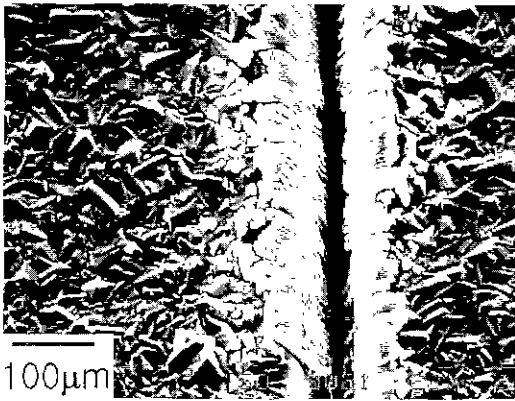


Fig. 2. SEM surface micrograph of diamond films scanned by off-focused spherical beam of copper vapor laser: scan speed: 0.125 mm/sec.

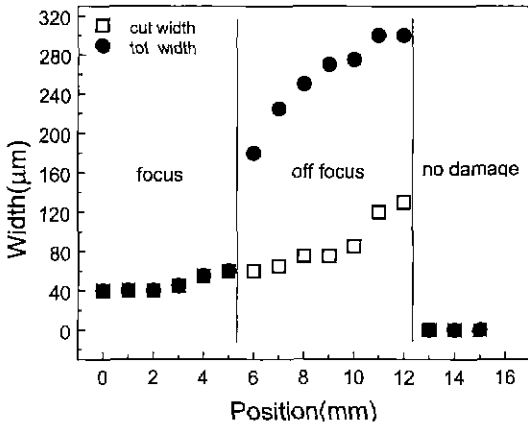


Fig. 3. The width of groove formed on diamond surface by scanning of spherical beam of copper vapor laser. The diamond surface has slope of 1/10 and the laser beam is focused at position 0: scan speed: 0.125 mm/sec.

포함한 전체 손상 지역의 폭을 나타내었다. 위치가 0 일 때 초점이 형성된 것이고 위치가 증가할수록 초점에서 멀어짐을 나타낸다. 약 5 mm까지는 debris가 관찰되지 않았고 그 이후부터 관찰되었다. 5 mm 이상에서는 전체 손상 지역의 폭이 급격히 증가하는 반면 절삭된 폭은 크게 증가하지 않았다. 그리고 약 12 mm 이상에서는 다이아몬드 표면이 전혀 가공되지 않았다.

레이저 빔으로 zig-zag 주사를 하여 면적을 형성한 다음 레이저 주사 전 후의 면의 거칠기 변화를 관찰하였다. 표면의 lapping 효과를 보기 이전에, 표면 거칠기의 관점에서 최적화된 주사속도 및 빔 shift 조건을 얻기 위하여 평평한 다이아몬드 표면을 주사하였다. Fig. 4는

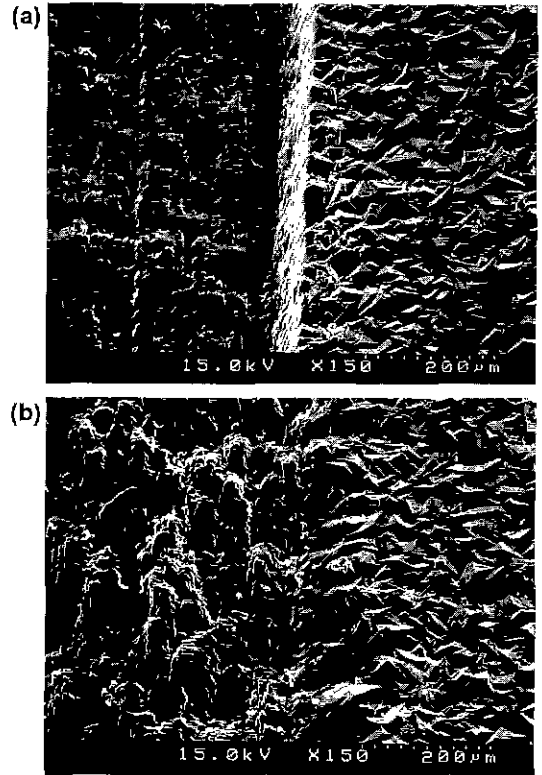


Fig. 4. SEM surface micrographs of diamond films zig-zag scanned by focused spherical beam of copper vapor laser: (a) scan speed: 0.125 mm/sec, shift: 5 μm and (b) scan speed: 0.5 mm/sec, shift: 5 μm.

주사속도가 다른 경우의 다이아몬드 표면 사진을 나타낸다. Fig. 4(a)는 0.125 mm/sec의 주사속도, Fig 4(b)는 0.5 mm/sec의 주사속도이다. 빔 shift는 5 μm였고, 대기 중에서 주사하였다. 각 사진의 오른쪽은 주사 전의 표면조적이고 왼쪽이 주사 후의 표면이다. 사진에서 보듯이 레이저 빔 주사에 의하여 다이아몬드 막 표면의 각진 면이 없어지면서 거칠기가 변하고 있음을 알 수 있다. Surface profiler로 표면의 거칠기를 정량화 하였는데, 평균 거칠기 Ra를 보면, 주사 전의 as-grown의 표면이 3.53 μm, 0.125 mm/sec로 주사한 경우가 2.47 μm, 0.5 mm/sec로 주사한 경우가 10.85 μm로 나타났다. 0.125 mm/sec 주사속도의 경우에는 표면 거칠기가 개선된 반면, 0.5 mm/sec의 경우에는 오히려 나빠졌다.

표면 거칠기가 개선된 주사속도인 0.125 mm/sec로 주사속도를 고정하고, 빔 shift를 변화시키면서 주사하여 표면 거칠기의 변화를 관찰하였다. Fig. 5에 빔 shift가 각각 10 μm(a), 20 μm(b), 그리고 40 μm(c)의 경우 레이저 빔 조사 전 후의 미세 사진을 나타내었다. 빔

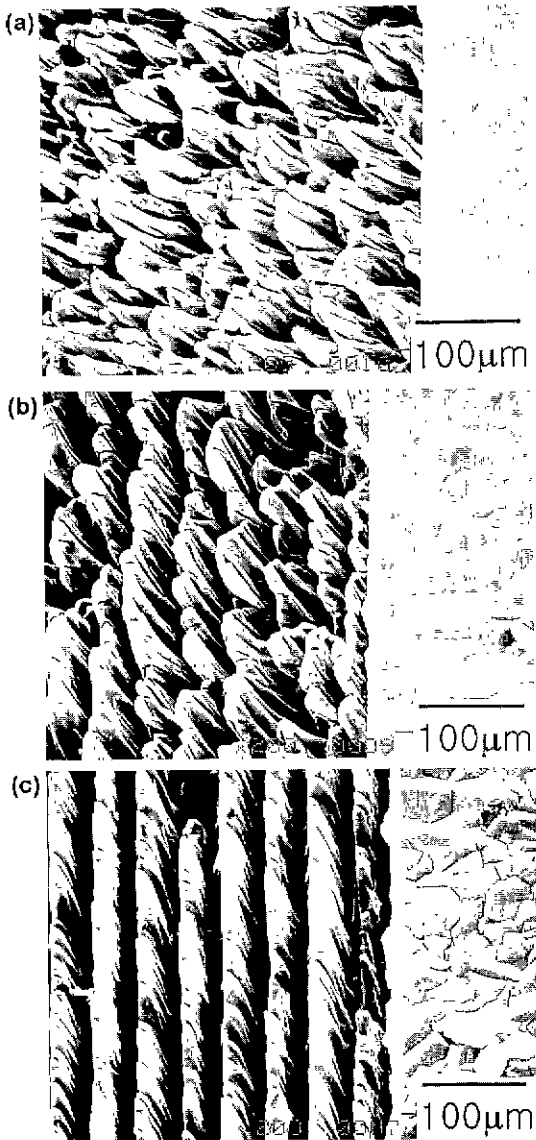


Fig. 5. SEM surface micrographs of diamond films zig-zag scanned by focused spherical beam of copper vapor laser: scan speed: 0.125 mm/sec, (a) shift: 10 μm , (b) shift: 20 μm and (c) shift: 40 μm .

의 직경이 약 40 μm 이므로, 각 빔 shift는 빔 직경보다 작아서, 모든 경우 주사되는 지역은 겹치게 되어서 레이저 조사에 의하여 어느 정도 평탄한 면을 예상할 수 있다. 그러나 조사된 면은 예상과 달리 상당히 거칠게 되었음을 알 수 있다. 이러한 결과의 원인은 레이저 빔의 불균일을 생각할 수 있다. 즉 레이저 빔이 40 μm 정도의 직경으로 모아진다 하여도, 그 위치에 따라 레이저 세기가 달라서 중심 부분일수록 큰 에너지 밀도를 가지

게 되면 Fig. 5 과 같은 결과를 얻게 된다. 따라서 10 μm 의 shift에서도 전체 면이 균일한 조사를 받지 않은 것처럼 표면이 울퉁불퉁한 형상을 하고 있다. 이러한 현상을 억제하기 위해서는 충분히 작은 shift로 레이저의 세기가 거의 일정하다고 가정할 수 있는 레이저의 중심

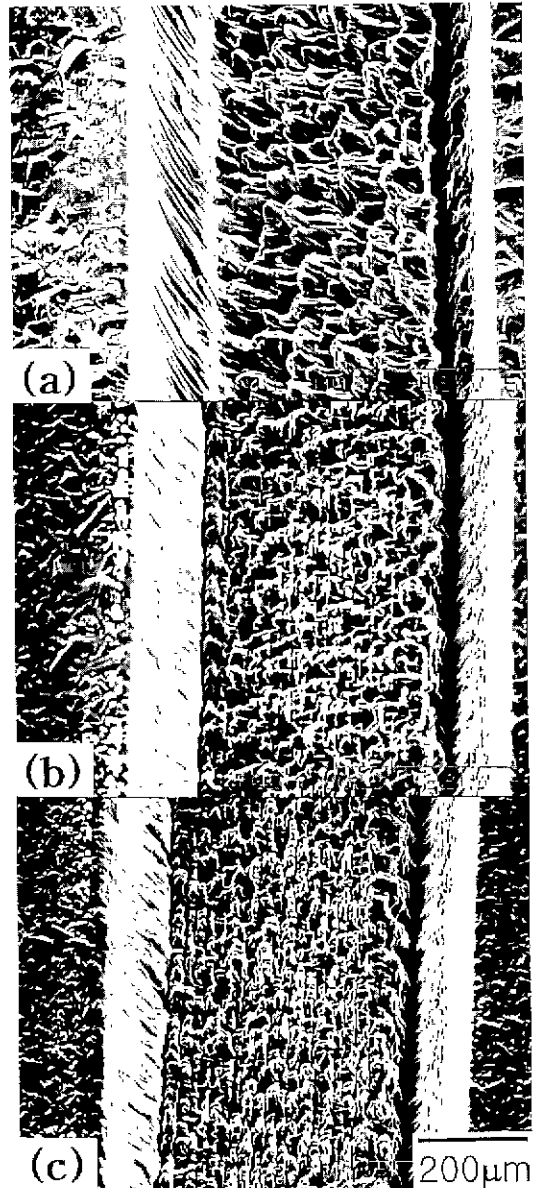


Fig. 6. SEM surface micrographs of non-flat diamond films zig-zag scanned by spherical beam of copper vapor laser: scan speed: 0.125 mm/sec, shift: 10 μm , position: (a) 0 mm(focused), (b) 9 mm(off-focused) and (c) 18 mm(far off-focused).

부분을 겹쳐서 주사하여야 함을 알 수 있다.

사실상 웨이퍼의 전체 곡률을 조절하는 초기 lapping의 경우에는 표면의 미세 거칠기도 중요하지만, 가장 중요한 부분은 전체의 막에서 표면 높이의 차이가 레이저 조사에 의하여 감소할 수 있는 가이다. 전체의 표면이 평탄화될 수 있으면, 미세한 거칠기는 최종연마 등의 과정을 통하여 제거될 수 있기 때문이다. 따라서 10 μm shift, 0.125 mm/sec의 주사속도로 실제로 기울어진 면을 주사하여 표면 기울기의 개선효과(표면 lapping 효과)가 발생하는 지를 조사하였다. 초점이 형성된 원형 레이저 빔의 초점을 기울어진 다이아몬드 표면의 가장 높은 부분에 위치시킨 후 전체 표면을 같은 조건으로 주사하였다. 그러면, 가장 높은 부분에서의 레이저 밀도가 가장 커서, 가장 빠른 속도로 깎이기 때문에 전체적인 표면의 기울기는 개선될 것으로 예상된다.

Fig. 6에 실제 증착에 의하여 기울어진 다이아몬드 표면을 10 μm shift, 0.125 mm/sec의 주사속도로 공기 중에서 주사한 표면 조직사진을 나타내었다. Fig. 7에 주사 전 as grown 표면의 profile과 주사 후의 표면 profile을 나타내었다. 주사 전의 표면은 전체적으로 한 쪽 방향으로 기울어진 모습을 하고 있으며, 가장 높은 부분을 위치 0으로 하고 각 위치에 따른 표면 높이를 나타내면, 약 20 mm에 걸쳐서 약 700 μm 의 높이 차이가 존재함을 알 수 있다. 레이저 빔의 초점은 높이가 약 1250 μm 인 위치 0에 일치시키고 전체 길이를 조사하였다.

먼저 표면 profile의 변화를 보면 초점이 형성된 위치 0에서는 약 600 μm 이상 깎인 반면, 위치 18에서는 약 100 μm 정도 깎이어서 전체적인 표면 높이 차가 주사 전 약 700 μm 에서 약 200 μm 정도로 감소하였음을 알 수 있다. 이것은 초점의 형성위치에 따라 레이저 에너지

밀도가 달라서 예상한 대로 명확한 가공속도의 차이를 야기하는 것으로 판단된다. 이러한 효과에 의하여 얻을 수 있는 최저 높이 차는 레이저를 집광하는 렌즈와 빔의 파장에 따라 달라진다. 렌즈의 초점 깊이가 작을수록 작은 높이 차가 가능한데, 초점 깊이는 렌즈의 초점거리가 작을수록, 레이저의 파장이 작을수록 작다.

각인 바닥의 모양은 초점이 형성된 정도에 따라 다를 수 있다. 초점이 잘 형성된 경우에는 Fig. 5(a)와 같이 정확한 배열이 형성되지 않은 울퉁불퉁한 면이 형성된 반면, 초점에서 멀어진 경우에는 shift에 따른 골이 형성되면서 상대적으로 덜 거칠은 면이 형성되었음을 알 수 있다. 이것은 약간의 off-focus되어 있을 때의 빔의 에너지 분포가 상대적으로 넓은 면적에 걸쳐서 균일하여, shift 폭보다 넓은 면적이 비슷한 속도로 가공될 수 있기 때문으로 생각된다. 반면, 초점이 형성된 곳에서는 매우 빠른 가공속도를 기대할 수 있으나 빔의 중심에서 밖으로 벗어날수록 에너지 밀도가 급격히 감소해서 상대적으로 거칠은 가공표면이 형성되는 것으로 판단된다.

위의 결과들은 원형의 레이저 빔을 이용하여 얻은 것인데, 대면적의 다이아몬드 표면을 주사하는데 있어서 원형의 레이저 빔 보다는 막대기 모양이 훨씬 효율적이고 빠르다. 본 연구에서는 두 개의 cylindrical 렌즈로, 본래 14 mm 직경의 레이저 빔을 막대기 모양으로 만들어서 다이아몬드 표면을 주사하였다. 첫째 cylindrical 렌즈와 둘째 cylindrical 렌즈는 서로 직각을 유지한 체 간격을 바꿀 수 있어서, 서로의 간격과 시편의 위치에 따라 막대기의 길이 및 폭을 조절할 수 있다. Fig. 8은 길이가 약 330 μm 인 막대기 빔으로 다이아몬드 성장면

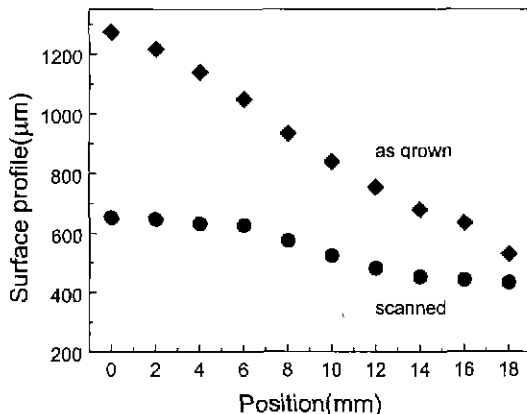


Fig. 7. Surface profile of Fig. 6 before and after laser scan.

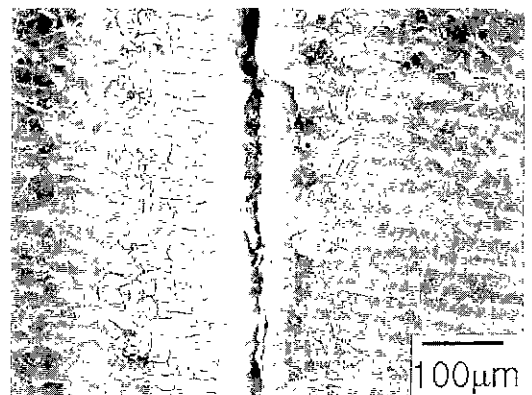


Fig. 8. SEM surface micrograph of diamond films scanned by focused rod-shape beam of copper vapor laser: scan speed: 0.125 mm/sec, beam length: 330 μm .

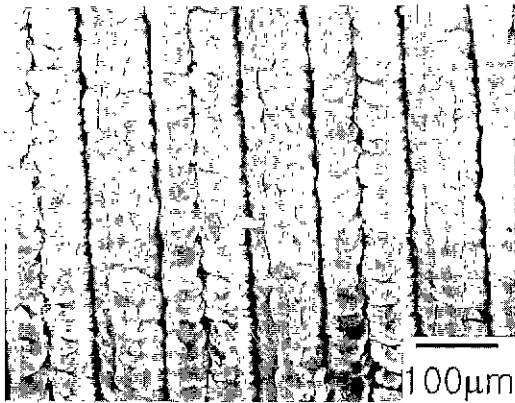


Fig. 9. SEM surface micrographs of diamond films zig-zag scanned by focused rod-shape beam of copper vapor laser: scan speed: 0.125 mm/sec, beam length: 250 μm , shift: 100 μm .

을 0.125 mm/sec의 속도로 주사한 경우의 표면조직을 나타낸다. Debris가 증착된 전체 지역의 폭은 빔의 길이와 비슷하였으나 실제 각인 부분의 폭은 약 130 μm 정도였다. Surface profiler로 측정한 결과, 각인 부분의 깊이도 균일하지 않고 중심으로 갈수록 깊어지는 V형 골이 형성되었음을 알 수 있었다. 가장 깊은 중심 부분의 깊이는 약 90 μm 이었고 깊이가 균일한 지역이 거의 형성되지 않았다. 이러한 결과는 막대기 모양의 레이저 빔이 길이 방향으로 에너지 세기가 일정하지 않고 중심 부분으로 갈수록 에너지 세기가 증가함을 의미한다. 이러한 결과로부터 레이저 빔의 초기 에너지 분포도 바깥으로 갈수록 감소함을 추정할 수 있다. 따라서 이러한 빔으로 주사할 경우 균일한 가공이 어려움을 알 수 있다. 예상한 대로 이러한 막대기 빔으로(길이 : 250 μm , shift : 100 μm) 면적으로 형성한 경우 표면이 균일하지 못하고 beam shift 간격과 관련있는 골이 형성되었음을 알 수 있다(Fig. 9). 이는 위에서 언급한 에너지 불균일성에 의하여, 에너지 세기가 큰 중심을 겹치지는 못하고 주사하였기 때문으로 판단된다.

4. 토 의

초점이 형성된 레이저 주사에 의하여 다이아몬드 표면의 평탄도는 개선되었다. 그러나 표면 거칠기는 빔의 shift가 충분히 작은 경우에만 개선되었고, 막대기 모양의 빔이나 원형의 빔에서도 대략 10 μm 보다 큰 shift에서는 표면의 거칠기는 shift 크기와 관련이 있는 골이 표면에 형성되면서 거칠어짐을 알 수 있었다. 이것은 위에서 지적하였듯이 구리증기레이저 빔의 불균일성에 기인

한다. 불안정공진기로 형성되는 빔이기 때문에 빔의 폭에 따른 분포가 거의 일정하여 이러한 빔으로 막대기 모양을 만들 경우 빔 shift를 크게 하면서, 일정한 레이저 에너지로 표면을 빠른 속도로 조사할 수 있을 것을 판단하였으나, 예상과는 달리, 막대기의 중심 부분에 레이저 빔의 에너지가 집중됨을 알 수 있었다. 에너지가 집중된 지역이 상당히 작아서 막대기의 길이가 250 μm 정도인 경우에도 약 100 μm 의 shift로도 이 부분을 겹치면서 조사할 수 없었다. 따라서 레이저를 이용하여 표면 거칠기도 개선되면서 전체 표면을 빠른 속도로 주사하기 위하여 레이저 빔의 균일성을 확보하는 것이 중요하다. 빔의 균일성을 확보하는 방법에는 레이저 빔의 모드를 조절하는 방법과 광학계를 이용한 homogenizer 등을 이용하여 빔을 균일하게 만드는 방법 등이 있는데, 모드를 조절하여 얻을 수 있는 균일도가 Gaussian 분포 이상일 수 없으므로 광학계를 이용한 레이저 빔의 후 처리가 유망할 것으로 판단된다.

표면 평탄도의 관점에서 보면 레이저 빔의 주사는 상당한 효과가 있음을 알 수 있었다. 특별한 부가 장치 없이 레이저 빔을 렌즈로 집광하여 초점을 형성시킴으로써 표면위치에 따라 레이저 밀도를 달리함으로써 표면의 평탄도가 개선됨을 확인하였다. 약 40 μm 직경의 원형 빔으로 주사할 경우, 5 μm 의 shift에서는 표면 거칠기도 함께 개선되었음을 알 수 있었다. 그러나 shift가 큰 경우에는 원형 빔의 경우에도 표면 거칠기가 증가하였다.

레이저 빔의 불균일성으로 인하여 표면 거칠기를 감소시키면서 동시에 표면 평탄도를 개선하는 공정은 상당한 시간이 소요됨을 알 수 있다. 한 예로 위에서 표면 거칠기와 평탄도가 동시에 개선된 조건이 10 μm shift에서 0.125 mm/sec의 속도로 4 인치 웨이퍼 전체 표면을 가공하는데 걸리는 시간은 약 75일 정도로 상당히 긴 시간이 소요된다. 이러한 조건에서 초점이 형성된 지역에서는 약 600 μm 정도가 작아있는데, 약 100 μm 정도가 각이는 조건으로 완화할 경우 주사속도를 증가시킬 수 있어서 전체시간을 줄일 수 있다. 주사속도와 각이는 깊이를 단순비례로 가정하면 6 배의 속도인 0.75 mm/sec의 속도로 주사가 가능하다. 이러한 속도에서도 약 12일이 소요되어 비현실적이다.

이러한 문제점은 빔 균일도가 보장되는 고�출력 레이저를 사용하면 해결될 수 있다. 그러나 이러한 장비는 매우 고가이고 기술적인 제작의 한계도 있을 수 있다. 따라서 현재 레이저 기술을 고려할 때에 현실적인 적용은 레이저를 이용하여 평탄도를 중점적으로 개선시키고 표면 거칠기는 좀 증가하여도 이를 다음 공정인 metal lapping 등으로 개선시키는 2 단계 공정이다. 다이아몬드 polishing에서 가장 많은 시간이 소요되는 단계는 전

체 평탄도를 개선시키는 것이다. 평탄도가 어느 정도 개선된 웨이퍼는 metal lapping 공정 등의 후속 공정을 통하여 표면 거칠기를 개선하기가 매우 수월하다. 따라서 표면 거칠기는 좀 나빠지더라도 초기 평탄도의 개선의 효율성에 주안점을 두고 레이저 가공을 고려할 필요가 있다.

5. 결 론

초점이 형성된 레이저 빔의 세기는 초점위치로부터 멀어질수록 감소한다는 단순한 원리를 이용하여 굽은 다이아몬드 막의 평탄화를 수행하였다. 레이저의 초점을 막의 가장 높은 부분에 위치시키고 주사하여, 굽어있는 다이아몬드 막의 표면 각 지점의 높이에 따라 조사되는 레이저 광의 강도가 달라지게 함으로써 평탄화가 이루어지게 하였다. 현재 세계적으로 레이저를 이용한 다이아몬드 막의 가공은, 표면 전체의 곡률을 제어하는 평탄화 연구보다는 단순히 표면의 미세 조도를 연마하는 연구에 집중되어 있다. 그 이유는 평탄화를 위해서는 다수의 레이저를 컴퓨터로 연동하여 표면의 높이를 실시간으로 인식하고 레이저의 파워를 제어하는 복잡한 제어체계가 필요하기 때문이다. 본 연구에서는 매우 간단한 구성으로 굽은 다이아몬드 막의 평탄화 가능성을 보였다. 이는 점에서 의미가 크다고 생각한다.

직경이 약 14 mm인 구리증기레이저 빔을 cylindrical 혹은 spherical 광학렌즈로 초점을 형성하고, 초점위치를 굽은 다이아몬드 표면 중 가장 높은 위치에 일치시키고, 전체 표면을 같은 주사속도인 0.125 mm/sec로 주사하였다. 약 20 mm의 거리에 걸쳐 주사 전 약 700 μm 이었던 높이 차가 주사 후 약 200 μm 정도로 감소하였다. 표면 거칠기도 빔 shift를 5 μm 로 한 경우, 주사 전 약 3.53 μm 에서 주사 후 약 2.47 μm 로 감소하였다. 그러나 표면 거칠기는 shift가 약 10 μm 보다 크면 오히려 나빠지는 결과를 얻었는데, 이는 레이저 빔의 강도가 균일하지 않고 빔 중심에 집중되기 때문이었다.

대면적의 다이아몬드 웨이퍼를 빠른 속도로 평탄화하기 위하여는 긴 막대기 모양의 레이저 빔으로 shift를 크게 한 상태에서 표면을 주사할 수 있어야 한다. 이를 위하여는 균일한 에너지 공간 분포를 가지는 고 출력 레이저의 확보가 필수적이다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 국책사업의 지원으로 이루어

졌으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. W. D. Brown, R. A. Beera, H. A. Naseem and A. P. Malshe, "State-of-the-Art Synthesis and Post-Deposition Processing of Large Area CVD Diamond Substrates for Thermal Management," *Surf. and Coat. Technol.* **86-88**, 698-707 (1996).
2. H. O. Pierson, *Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes*, pp.302-336, Noyes Pub., Mill road, 1993.
3. Max N. Yoder, "The Vision of Diamond as an Engineered Material"; pp.3-17, in *Synthetic Diamond*, Edited by K. E. Spear and H. P. Dismukes, John Wiley & Sons Inc, New York, 1994.
4. A. P. Malshe, H. A. Naseem, W. D. Brown and L. W. Schaper, "Recent Advances in Diamond Based Multichip Modules(MCMs)," *Proc. 3rd Int. Conf. on Applications of Dia. Films and Related mater. cds A. Feldman et al.(NIST Spec. Publ. 885, Washington)* 611-618 (1995).
5. A. M. Ozkan, A. P. Malshe and W. D. Brown, "Sequential Multiple-Laser-Assisted Polishing of Free-Standing CVD Diamond Substrates," *Diamond and Relat. Mater.* **6**, 1789-1798 (1997).
6. S. E. Grillo and J. E. Field, "Polishing of Diamond," *J. of Phys. D: Applied Phys.* **30(2)**, 202-209 (1997).
7. R. Ramesham and M. F. Rose, "Polishing of Polycrystalline Diamond by Hot Nickel Surface," *Thin Solid Films* **320(2)**, 223-227 (1998).
8. A. M. Zaitsev, G. Kosaca, B. Richarz, V. Raiko, R. Job, T. Fries and W. R. Fahrner, "Thermochemical Polishing of CVD Diamond Films," *Diamond Relat. Mater.* **7(8)**, 1108-1117 (1998).
9. V. N. Tokarev and V. I. Konov, "Light-Induced Polishing of Diamond Films"; pp.249-255. *Applications of Dia. Films and Related Mater.* Edited by A. Tzeng et al. Elsevier, Amsterdam, 1991.
10. V. G. Ralchenko, S. M. Pimenov, T. V. Kononenko, K. G. Korotoushenko, A. A. Smolin, E. D. Obraztsova and V. I. Konov, "Processing of CVD Diamond with UV and Green Lasers," *Proc. 3rd Int. Conf. on Applications of Dia. Films and Related mater. cds A. Feldman et al.(NIST Spec. Publ. 885, Washington)*, 225-32 (1995).
11. V. G. Ralchenko and S. M. Pimenov, "Laser Processing of Diamond Films," *Diamond Films and Technology*, **7(1)** 15-40 (1997)
12. 박영준, 백영준, "구리증기레이저를 이용한 다이아몬드막의 가공," *요업학회지* **35(1)**, 41-47 (1998).