

구리증기레이저를 이용한 다이아몬드막의 가공

박영준 · 백영준

한국과학기술연구원 박막기술연구센터
(1997년 10월 1일 접수)

Machining of Diamond Films with Copper Vapor Laser

Young-Joon Park and Young-Joon Baik

Thin Film Technology Research Center, Korea Institute of Science and Technology
(Received October 1, 1997)

요 약

구리증기레이저를 이용하여 다이아몬드막의 절단 및 평탄화 등 레이저에 의한 가공을 연구하였다. 다이아몬드막은 직류 플라즈마 화학증착 장비로 합성하였으며, 두께는 약 350 μm 와 800 μm 이었다. 컴퓨터로 제어되는 시편지대틀을 이용하여 공기 중에서 가공하였다. 7W의 구리증기레이저로 주사하는 경우, 절삭깊이는 주사속도가 작을수록, 주사반복수가 클수록 증가하다가 포화되었다. 초점이동없이 얻을 수 있는 최대절삭깊이는 0.5 mm/sec의 주사속도로 8회 반복하는 경우 얻어졌다. 그리고 막대기 모양의 빔을 만들어서 직각으로 다이아몬드 표면에 조사함으로써 효과적인 초기평탄화를 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

Cutting and planarization of diamond films have been performed using copper vapor laser under air atmosphere. Diamond films of about 350 μm and 800 μm thick have been synthesized with DC plasma assisted chemical vapor deposition. The position of a specimen has been controlled by computer-driven stage. With copper vapor laser beam of 7W, cutting depth increases rapidly and saturates with increasing scan number and decreasing scan speed. 8 repetitive scans at scan speed of 0.5 mm/sec produce the maximum cutting depth without focus shifting. Rod-shape copper vapor laser beam can be made and used effectively in planarization of rough diamond surface.

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

1. 서 론

CVD 방법으로 다이아몬드막의 합성이 가능하게 되면서¹⁾, 다이아몬드의 우수한 기계적, 물리적, 화학적 성질을 이용하여²⁾, 이를 적외선 창(infrared window)^{3,4)}, MCM (multi chip module) 용 열전달재(thermal spreader)^{5,6)}, 절삭공구^{7,8)} 등으로 이용하려는 연구가 진행되고 있다. CVD 다이아몬드막을 이러한 용도로 사용하기 위해서는 합성된 다이아몬드막의 표면을 평탄화하고 이를 원하는 모양으로 가공하여야 한다. 그러나 다이아몬드는, 잘 알려진 대로, 매우 큰 경도와 화학적 안정성⁹⁾ 때문에 기존의 기계적 접촉식가공법으로는 가공이 어렵다. 이러한 관점에서 레이저를 이용한 다이아몬드막의 가공은 매우 유망한 방법으로 인식되고 있으며, 많은 연구가 진행되고

있다.^{6,11)}

레이저는 파워(power), 파장(wavelength), 빔 크기 (beam size), 피크파워(peak power), 펄스폭(pulse width) 등의 변수를 가지고 있다. 이들은 레이저의 종류에 따라 다르고, 같은 레이저에서도 장치의 설계에 따라 다른 값을 가지게 된다. 재료의 가공은 재료의 특성 및 가공의 종류에 따라 요구되는 레이저의 특성이 다르다. 따라서 가공하고자 하는 재료 및 그것이 요구하는 특성에 따라 적합한 레이저의 선택이 중요하게 되고 이에 따라 가공의 결과가 달라진다.

레이저에 의하여 다이아몬드막이 가공되는 기구에는 크게 두 가지가 있다. 레이저 빔이 펄스인 경우, 충분히 큰 피크파워에 의해서 다이아몬드가 승화되는 기구와 연속빔인 경우, 탄소의 산화에 의한 기구가 있다.⁹⁾ 레이

저를 이용하여 다이아몬드와 같이 열전도도가 매우 크고 승화 온도가 매우 높은 재료를 가공하기 위해서는 짧은 시간에 빛에너지를 집중적으로 조사하여 다이아몬드를 승화점 이상으로 승온할 수 있는 펄스 형 레이저가 적합하다. 지금까지 다이아몬드 가공에 사용되는 레이저에는 구리증기(copper vapor) 레이저^{7,9)}, Nd:YAG 레이저⁸⁾, 엑시머(eximer) 레이저^{6,10)} 등이 있는데 이들은 모두 펄스 형으로써 작은 평균 출력의 레이저 빔으로도 순간적인 조사를 통하여 다이아몬드를 가공할 수 있다.

이중 엑시머레이저는 자외선 영역의 짧은 파장으로 열효과가 작은 반면, 흡수가 잘되어서 aspect ratio가 큰 가공은 어렵고, 폴리머가공이나 화학반응을 이용한 표면의 미세가공¹¹⁾ 등에 응용되고 있다.

Nd:YAG 레이저는 현재 세계적으로 재료의 가공에 가장 많이 사용되는 레이저로 그 기술이 성숙되어 있고 이를 이용하여 많은 재료를 성공적으로 가공하고 있다. 그러나 레이저 본래의 파장이 약 1064 nm로써 적외선 구역에 존재해서 열효과가 크고, 고체 레이저 매질의 불균일한 온도 분포에 의한 다소 큰 발산각 등 미세가공용 레이저로써 최적의 조건을 갖추고 있지는 않다.

반면 구리증기레이저는 약 510 nm 파장의 녹색의 가시광선을 주로 발산하는 가시광선 레이저 중 가장 효율적인 레이저로 Nd:YAG에 비하여 상대적으로 작은 열효과를 가지고 있다. 또한 레이저 물질의 매우 높은 증폭효율 및 균일한 기체 분포를 통하여 회절한계(diffraction limit)의 1-2배 정도의 매우 작은 발산각의 고품질의 레이저 빔을 만들 수 있다. 그리고 약 50-250 kW의 피크파워로 다이아몬드 같은 고융점 물질의 가공을 비열적으로(non-thermally) 진행할 수 있으며, 수십 kHz의 반복수로 빠른 가공도 가능하다. 그리고 큰 aspect ratio를 가지고 있어서 미세하고 깊은 가공이 가능하다.¹²⁾

이러한 좋은 장점에도 불구하고 구리증기레이저는 그 개발동기가 우리나라 농축에 관련된 군사목적이었기 때문에 일반적인 연구개발이 매우 제약받아 왔다. 따라서 본 연구에서는 레이저를 이용한 다이아몬드막의 효율적인 절단조건을 이해하기 위하여 구리증기레이저를 가공레이저로 채택하여 레이저빔의 초점위치, 주사속도 및 주사 반복수 등 기초 가공변수에 대한 다이아몬드막의 절단양상을 연구하였다. 그리고 거친 다이아몬드막의 성장면을 막대기 모양의 구리증기레이저 빔을 이용하여 평탄화 하는 가능성을 타진하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용한 레이저는 러시아 Mechatron사의 CVL-10 구리증기레이저이다. CVL-10의 제원은 다음과

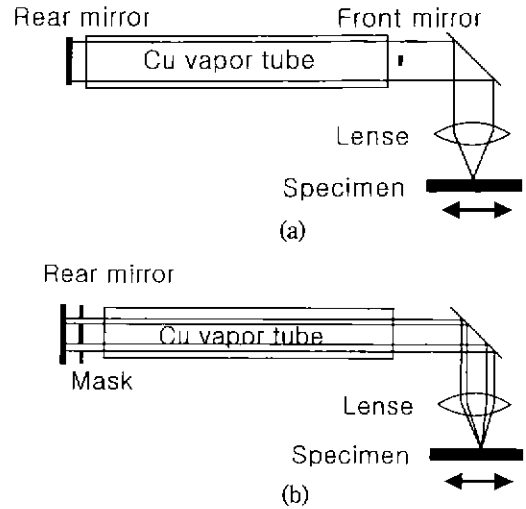


Fig. 1. Schematic structures of copper vapor laser equipment (CVL-10). (a) mode I and (b) mode II.

같다: 평균파워: 10 W, 반복주파수: 16 kHz, 펄스길이: 20 ns, 파장: 510.6 nm(60%), 578.2 nm(40%), 레이저 빔 크기: 14 mm, 불안정 공진기(unstable resonator)

CVL-10에는 두 가지 모드가 있다. 모드 I(Fig. 1(a))은 레이저 빔을 두 개의 거울을 통하여 형성시키고 이 빔을 렌즈를 통하여 한 점으로 집약한 모드이다. 이때 두 개의 거울은 불안정 공진기의 구성을 가지고 있어서 나오는 레이저 빔은 도넛 형태 분포를 가지게 되고, 그 세기는 폭을 따라서 거의 일정한 크기를 나타낸다. 이때 모아지는 초점의 크기는 사용하는 렌즈에 따라 달라지는데, 본 연구에서는 초점거리가 약 10 cm의 렌즈를 이용하여 약 20 μm 직경의 빔으로 모았으며, 이 때의 초점깊이는 약 200 μm 였다. 이 구성은 다이아몬드 등의 재료를 절단하거나 구멍뚫기 등에 적합하고, 시편지지대를 정교히 구동할 경우, direct writing 등의 용도에 적합하다.

모드 II(Fig. 1(b))에서는 뒤쪽반사거울 앞에 마스크가 설치되고 이를 이용하여 레이저 빔을 원하는 모양으로 마스크해 줌으로써 레이저빔의 형상을 바꿀 수 있다. 이때 앞쪽거울은 존재하지 않고, 시편의 표면이 거울을 대신하게 되어서, 표면에 따라 가공되는 정도가 다르다. 이러한 구성은 선택적 가공을 가능하게 한다.

레이저 가공에 사용된 다이아몬드후막은 직류 플라즈마 장비로 합성하였다. 다이아몬드막의 두께는 약 350 μm 와 800 μm 두 종류였고, 3% CH_4 , 약 1200°C의 증착온도에서 합성하였다.

다이아몬드막의 레이저가공은 특별한 분위기의 사용 없이 공기 중에서 행하였고, 컴퓨터로 구동되는 시편지

지대를 이용하여 절단 등의 가공을 수행하였다. 피치가 1 mm인 나사꼴을 형성하고 이를 스텝모터를 이용하여 구동함으로 시편의 위치를 제어하였다. 스텝모터는 800 스텝으로 한 바퀴를 회전하게 되어 있어서, μm 단위의 제어가 가능하다.

두께가 약 $350 \mu\text{m}$ 인 다이아몬드막을 이용하여, 레이저빔의 초점위치, 주사속도, 주사 반복수 등 기초 변수에 대한 가공양상을 조사하였다. 이때 CVL-10의 모드 I을 이용하였으며, 레이저의 출력은 약 7W였고, 주사속도(scan speed)는 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 mm/sec였다. 주사반복수(scan number)는 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14회였다.

다이아몬드막의 평탄화는 두께가 약 $800 \mu\text{m}$ 인 막을 이용하여 수행하였다. 먼저 모드 I에서 다이아몬드막을 약 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 의 크기의 사각형으로 절단하여 사용하였다. 평탄화는 다이아몬드막의 거친 성장면에서 행하였고, CVL-10의 모드 II를 이용하여 레이저 빔을 약 $500 \mu\text{m}$ 길이의 막대기 모양으로 만들어서 표면을 주사하는 방법으로 수행하였다. 막대기 모양의 레이저 빔은 뒤쪽의 거울 앞에 막대기 모양의 마스크를 설치하여 형성하였으며, 마스크의 크기는 다이아몬드막의 표면에서 빔의 길이가 약 $500 \mu\text{m}$ 가 되도록 정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 레이저의 초점을 달리하여 다이아몬드막을 주사하였을 때의 표면사진이다. 주사속도는 2 mm/sec, 주사반복수는 2회였다. 다이아몬드가 레이저를 받게 되면 실제로 절삭되지 않더라도 표면이 흑연화되는데, 표면의 검은 부분이 이러한 지역으로 생각되며, 절삭은 그중 화살표 구간에서 만 진행되었다. Fig. 2(a)는 레이저의 초점을 다이아몬드막의 표면에 형성시킨 on-focus의 경우인데 약 $45 \mu\text{m}$ 의 폭을 가지는 홈이 레이저가 주사된 곳을 따라 형성되었다. 반면 Fig. 2(b)는 레이저의 초점을 표면에서 벗어나게 한 off-focus의 경우인데 Fig. 2(a)와는 달리 폭이 약 $83 \mu\text{m}$ 인 넓은 홈이 형성되었다. 그리고 off-focus의 경우 홈 주위에 상당한 debris가 형성되었음을 알 수 있다. 그리고 단면사진을 통하여 on-focus의 경우가 가장 깊숙이 홈이 형성되었음을 알 수 있었다.

레이저에 의하여 다이아몬드막이 가공되기 위해서는 레이저의 에너지가 다이아몬드를 투과하지 않고 흡수되어야 한다. 이러한 흡수여부는 이론적으로 레이저의 파장과 가공되는 재료의 빛 흡수 스펙트럼에 의하여 결정된다. 순수한 다이아몬드 단결정은 약 $0.227 \mu\text{m}$ 이상의 빛을 투과시키는 것으로 알려져 있다.¹³⁾ 따라서 이론적으로는 이보다 작은 파장을 가지는 레이저를 선택해야

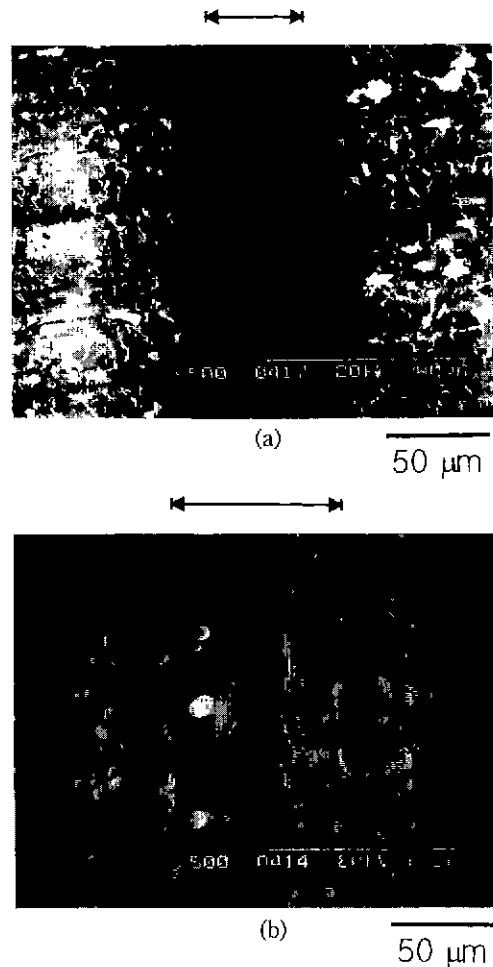


Fig. 2. SEM surface micrographs of diamond films scanned with copper vapor laser. (laser power: 7W, scan speed: 2 mm/sec, scan number: 2) (a) on focus and (b) off focus.

다이아몬드막이 가공된다. 그러나 이보다 큰 파장의 구리증기레이저를 사용하여도 다이아몬드가 가공된 이유는 CVD법 등으로 합성된 다이아몬드는 순수한 단결정이 아니고 많은 불순물과 결정결함이 존재하는 다결정체이기 때문에 이러한 결함에서 레이저의 흡수가 우선적으로 발생할 수 있고, 그 결과 형성된 흑연화 지역을 통하여 레이저의 흡수가 가속적으로 진행되었기 때문이다.

구리증기레이저는 매우 짧은 시간에 큰 피크파워로 순간적으로 다이아몬드 표면을 높은 온도로 가열한다. 다이아몬드 표면이 탄소의 승화온도인 약 4000°C 이상 가열되면, 다이아몬드막의 표면으로부터, 탄소가 승화되어 날아가게 된다. 일단 이러한 작용이 초기 몇 개의 레이저 펄스에 의하여 진행된다면, 다이아몬드막의 표면은

불투명한 흑연화 층(graphitized layer)으로 변하게 되고, 이 후에 입사되는 레이저 펄스들은 이러한 층에 의하여 잘 흡수된다.¹⁰⁾

레이저빔의 에너지 분포는 초점으로부터의 위치에 따라 다르다. 초점 부분은 레이저가 매우 제한된 지역에 집약되어 있어서 레이저의 폭을 따라서 레이저의 세기가 거의 일정한 높은 값으로 유지되다가 경계부분에서 급격히 떨어지는 분포를 가지게 된다. 이때 다이아몬드의 승화에 필요한 임계에너지 밀도를 가지는 영역이 확실하게 구분되고 그 밖의 지역은 거의 레이저가 조사되지 않는다. 따라서 다이아몬드의 가공이 제한된 좁은 지역에서만 진행되고, 그 밖의 지역은 표면만이 약간 흑연화된다(Fig. 2(a)).

반면에 초점에서 벗어난 경우에는 레이저의 폭을 따라서 에너지의 세기가 완만하게 변하는 분포를 가지게 된다. 따라서 다이아몬드 가공에 필요한 임계에너지 밀도 이상의 중앙 부분 이외의 부분도 상당한 에너지의 레이저가 조사되어 표면에서 변화가 발생한다. Fig. 2(b)에서 형성된 홈의 폭으로부터 약 83 μm 에 걸쳐 임계에너지 밀도 이상의 레이저가 조사된 것으로 판단된다. 그리고 그 밖의 지역에서는 홈에서 승화되는 탄소들이 적당한 레이저 에너지에 의하여 반응하여 다이아몬드 표면에 재증착된 것으로 보여진다. 레이저가 표면에 조사될 때, 레이저의 매우 집약된 에너지에 의하여 공기 중에서도 제한된 플라즈마가 표면에 형성되고¹⁰⁾, 이 플라즈마의 분포 및 밀도 등이 표면에서의 재증착을 비롯한 다이아몬드의 가공 부산물에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

Fig. 3은 주사속도에 따른 다이아몬드막의 절삭깊이를 나타낸다. 이때 주사반복수는 1 이었고, 레이저 파워는 7W 였다. 가로축인 주사속도의 역수는 단위길이를

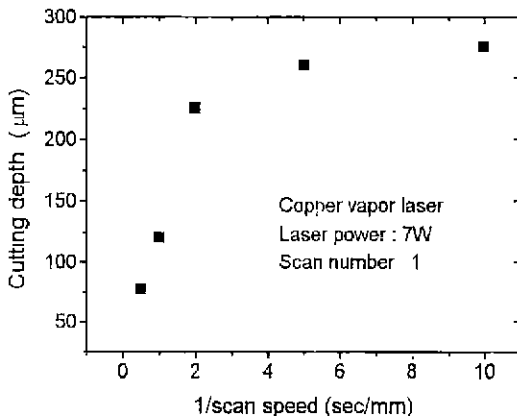


Fig. 3. Cutting depth as a function of scan speed when diamond films are scanned with copper vapor laser. (laser power : 7W, scan number : 1)

주사하는데 걸린 시간, 즉 레이저의 파워가 일정할 때, 단위길이 당 입사되는 총 레이저 에너지를 나타낸다. 이러한 변수가 실제 효율적인 레이저 가공 조건을 결정하는데 중요한 변수이기 때문에, 주사속도 대신 주사속도의 역수를 사용하여 주사속도에 따른 절삭깊이의 변화를 나타내었다. 예상한 대로 주사속도가 느릴수록 절삭깊이는 증가하였다. 그러나 주사속도가 충분히 느려지면 절삭깊이는 이에 따라 더 이상 증가하지 않고, 포화되는 양상을 보여준다. 즉 단위길이 당 입사되는 레이저 에너지가 증가하면 절삭깊이가 증가하다가 포화된다. Fig. 3은 이러한 포화가 약 0.5 mm/sec 에서 발생함을 보여준다. 따라서 0.5 mm/sec의 주사속도가 본 가공조건에서 다이아몬드 절삭에 가장 효율적인 주사속도임을 알 수 있다.

Fig. 4는 주사반복수에 대한 다이아몬드 절삭의 단면 사진을 보여준다. 이때 주사속도는 2 mm/sec였고, 레이저 파워는 7W 였다. 절삭깊이는 주사를 여러 번 할수록 증가하였다. Fig. 5에는 이러한 절삭깊이를 주사반복수에 대한 절삭깊이의 증가를 나타내었다. 그림에서 보듯이 주사반복수에 대한 절삭깊이의 증가도 주사속도에서와 같이 포화효과를 나타낸다. 대체로 약 8 회의 반복에서 약 300 μm 의 절삭두께를 보여준다.

절삭깊이의 포화현상은 레이저의 초점이 가지는 깊이와 관련이 있다. 레이저의 초점깊이보다 더 깊게 절삭이 되면, 레이저 빔이 벌어지면서 에너지 밀도가 감소해서 더 이상 다이아몬드는 절삭되지 않는다. 따라서 이 포화된 절삭깊이는 레이저로 초점을 막의 두께방향으로 이동하지 않고 자를 수 있는 최대두께를 의미한다. 또 다

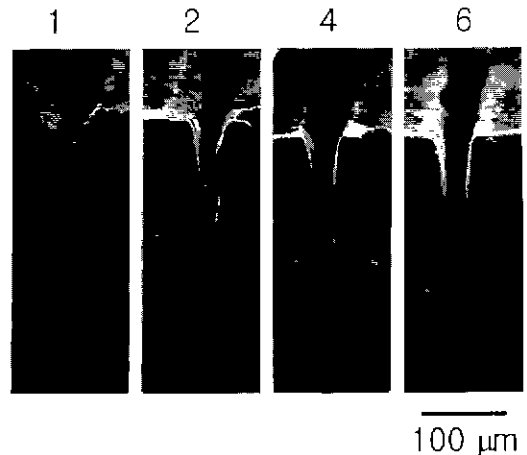


Fig. 4. SEM micrographs of diamond films scanned 1, 2, 4 and 6 times, respectively, with copper vapor laser. (laser power : 7W, scan speed : 2 mm/sec)

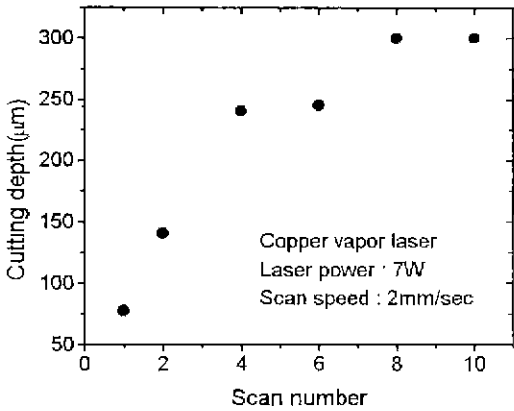


Fig. 5. Cutting depth as a function of a scan number when diamond films are scanned with copper vapor laser. (laser power:7W, scan speed:2 mm/sec)

른 원인으로는 레이저에 의해서 가공표면에 형성되는 플라즈마의 영향이 있다. 레이저에 의하여 증발된 기체가 레이저의 도움으로 표면 근처에 플라즈마를 형성할 수 있다. 이 플라즈마에 의하여 레이저가 가공 면에 도달하지 못하고 흡수되어 레이저출력이 저하되어, 깊이 있는 가공이 어려울 수 있다.

그런데 일반적으로 포화절삭깊이는 레이저의 초점깊이보다 크다. 본 연구에서도 포화절삭깊이는 약 300 μm로 레이저의 초점깊이인 200 μm보다 깊었다. Fig. 2(b)가 보여 주듯이 초점을 벗어난 경우에도 다이아몬드의 절단이 발생할 수 있어서 절삭깊이가 초점깊이보다 클 수 있다. 또한 light pipe 효과에 의하여 절삭깊이가 깊어질 수 있다.¹⁵⁾ 이 효과는 시편의 내벽이 레이저 빔을 반사하여 계속적으로 구멍이나 홈 깊이가 초점을 형성시킬 수 있어서 초점깊이보다 깊은 가공이 가능해지는 것이다. 다이아몬드의 경우 절삭된 내벽은 흑연화 되어있어 레이저 빔의 반사가 어려울 수도 있다. 만일 가공되는 구멍이나 홈 내벽의 조건을 레이저 빔이 잘 반사 되도록 조절할 수 있다면 포화절삭깊이는 크게 증가할 수 있을 것이다. 구멍의 깊이와 직경의 비율 aspect ratio라고 하는데 피가공물의 종류와 레이저의 종류에 따라 큰 값을 가질 수 있다. 플라즈마에 레이저가 흡수되는 것은 생성되는 플라즈마의 성질과 레이저빔의 파장 등에 영향을 받는다. 일반적으로 엑시머 레이저는 자외선 구역의 짧은 파장을 가져서 플라즈마에 흡수가 잘되어서 큰 aspect ratio를 기대할 수 없다.

레이저에 의한 가공에서 주사속도와 주사반복수에 따른 포화효과로부터 레이저에 의한 다이아몬드막 가공의 효율적인 조건을 알 수 있다. 주사속도는 0.5 mm/sec,

주사반복수는 8회에서 가장 효율적으로 가공할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 조건은 레이저의 종류, 파워, 레이저 광학, 기관의 종류에 따라 다르다.

Fig. 6은 주사속도에 따른 절삭표면의 사진이다. (b)가 (a)보다 10배 큰 주사속도임에도 불구하고 절삭의 폭이 거의 같음을 알 수 있다. 그리고 주사반복수에 따라서도 절삭의 폭은 크게 증가하지 않았다. 이는 절삭의 깊이를 기준으로 정한 위의 효율적인 가공조건이 가공해상도 관점에서도 효율적임을 나타낸다. 그러나 가공조건에 따른 절삭면의 변형, 절삭각도 등 절삭의 질의 변화에 대한 고찰은 본 연구에서 이루어지지 않았다.

다이아몬드 성장면의 평탄화는 막대기 모양의 레이저

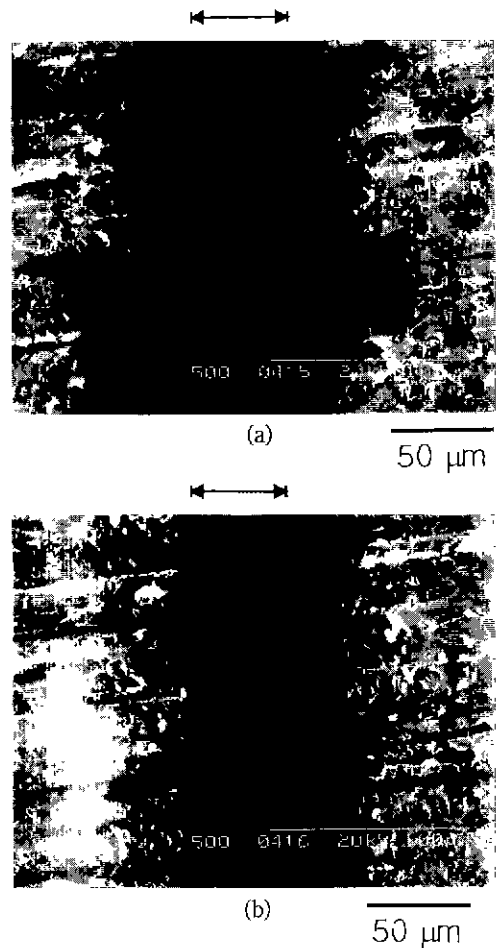


Fig. 6. SEM surface micrographs of diamond films scanned with copper vapor laser at different scan rates of (a) 0.1 mm/sec and (b) 1 mm/sec, respectively. (laser power:7W, scan number:1)

빔을 이용하였다. 이때 레이저 파워는 약 10 W였고 주사 속도는 약 0.5 mm/sec로 4회 반복주사하였다. 그리고 레이저 빔은 다이아몬드 표면에 90°로 입사하였다. Fig. 7(a)은 평탄화하기 전의 표면조직이다. 전형적인 다결정 다이아몬드막의 표면구조로 잘 발달된 각진 입자면들을 나타내고 있다. Fig. 7(b)는 막대기 모양의 레이저 빔으로 주사한 경우의 표면 사진이다. 각진 표면들이 없어지고 평탄화가 진행되었음을 알 수 있다. 그러나 입자간에 형성된 골은 완전히 없어지지 않았고, 반복 주사를 통해서도 골을 완전하게 제거하기는 어려웠다. 표면에는 남아있는 가공 부산물이 관찰되었는데 이는 용액 중 가공이나 분위기 가공으로 최소화 할 수 있을 것으로 생각된다.

Tokarev 등은¹⁶⁾ 레이저를 조사할 때 다이아몬드막 중 불록부분의 온도가 오목부분의 온도보다 높아서 빨리

승화되어 평탄화가 진행된다고 하였다. 그 이외에 증기에 의한 레이저 빔의 불균일한 차단¹⁶⁾, self-limited ablation¹⁷⁾ 등이 평탄화기구로 제시되었다. 그리고 편평하지 않은 면에서 발생하는 다중반사와 다중흡수도 평탄화를 도울 수 있다. 임의로 기울어진 면에 조사된 레이저 빔은 들어온 방향으로 반사되어 나가는 대신 기울어진 각으로 반사된다. 이때 돌출된 부분은 이러한 반사빔에 조사될 확률이 커서 평탄화가 진행되는 방향으로 레이저 빔이 흡수될 수 있다. 또한 불록부분과 오목부분의 원자의 승화에너지가 달라서 평탄화가 진행될 수도 있을 것이다. 이러한 평탄화 기구들은 레이저 빔이 표면에 90°로 입사하여, 같은 에너지 밀도로 입사하여도, 막표면의 기하학적인 모양에 의하여 평탄화가 진행될 수 있음을 의미한다.

4. 결 론

구리증기레이저로 다이아몬드막을 가공할 경우 가공 변수에 따라 절삭깊이의 포화 현상이 나타났고, 7W CVL-10의 경우 초점이동없이 얻을 수 있는 최대절삭깊이는 0.5 mm/sec의 주사속도로 8회 반복하는 경우 얻어졌다. 그리고 막대기모양의 레이저 빔을 표면에 직각으로 조사하여도 다이아몬드막의 평탄화가 진행되었다.

본 연구에서는 레이저 가공의 질을 높이기 위해서 일반적으로 채택되는 가공분위기 및 용액 등을 사용하지 않고, 구리증기레이저를 공기 중에서 조사하여 가공하였다. 따라서 본 연구의 결과는 구리증기레이저를 이용한 다이아몬드막 가공의 최적화된 결과는 아니다. 그럼에도 불구하고 본 연구결과로부터 구리증기레이저가 다이아몬드막의 가공에 필요한 조건을 갖추고 있음을 알았다. 앞으로 구리증기레이저를 이용한 다이아몬드막 가공의 최적화 연구가 필요하며, 이를 통하여 구리증기레이저를 이용한 고 경질박막의 미세가공이 가능할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 과기처의 선도기술개발 사업중 하나로 수행된 것으로 이에 감사드리며, 본 연구 중 평탄화를 위한 구리증기레이저 사용에 도움을 주신 Mechatron의 Dr. L. Glikin께 감사드립니다.

REFERENCES

1. H. O. Pierson, "Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes," Noyes Pub., Mill road, 302-36 (1993).

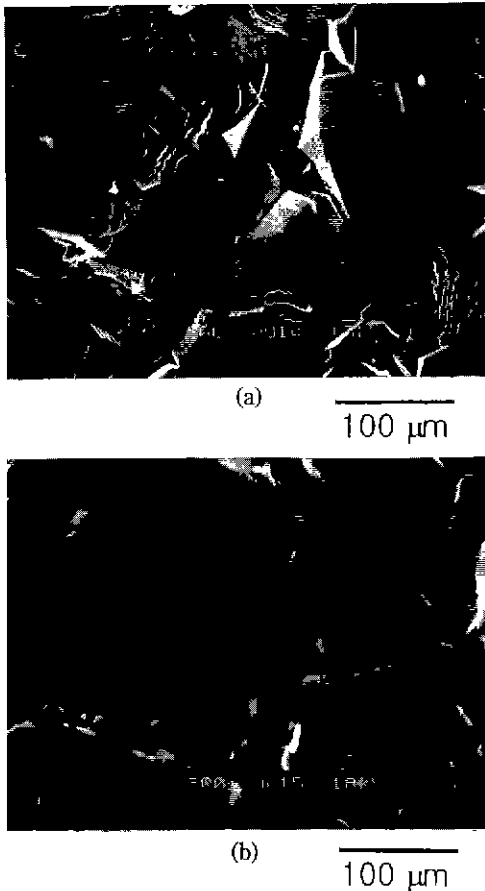


Fig. 7. SEM surface micrographs of diamond films scanned with rod-shape beam of copper vapor laser. (laser power: 10W, beam length: 500 μ m, scan number: 4) (a) before scan and (b) after scan

2. Max N. Yoder, "The Vision of Diamond as an Engineered Material," in Synthetic Diamond eds K E. Spear and H. P. Dismukes (John Wiley & Sons Inc), 3-17 (1994).
3. D. C. Harris, "Diamond Optics: Status for Infrared Applications," Proc. 3rd Int. Conf. on Applications of Dia. Films and Related mater. eds A. Feldman etal. (NIST Spec. Publ. 885, Washington), 539-46 (1995).
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. eds A. Feldman etal.(NIST Spec. Publ. 885, Washington) 611-18 (1995).
5. E. J. Oles, A. Inspektor and C. E. Bauer, "The New Diamond-Coated Carbides Cutting Tools," Dia. & Related Mater., 5, 617-24 (1996).
6. S. Preuss and M. Stuke, "Subpicosecond Ultraviolet Laser Ablation of Diamond: Nonlinear Properties at 248 nm and Time-Resolved Characterization of Ablation Dynamics," *Appl Phys. Lett*, 67(3) 338-40 (1995).
7. V. G. Ralchenko, S. M. Pimenov, T. V. Kononenko, K. G. Korotoushenko, A. A. Smolin, E. D. Obratsova, 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. eds A. Feldman etal.(NIST Spec. Publ. 885, Washington), 225-32 (1995).
8. S. Tezuka, H. Tokura, and M. Yoshikawa, "Cutting of Diamond Grit with YAG Laser," in Sci. and tech. of New Dia, eds. S. Saito etal.(KTK Scientific Pub.,Tokyo), 469-73 (1990).
9. V. G. Ralchenko and S. M. Pimenov, "Laser Processing of Diamond Films," *Diamond Films and Technology*, 7(1) 15-40 (1997).
10. M. Rothschild, C. Amone and D. J. Ehrlich, "Eximer-laser etching of Diamond and Hard Carbon Films by Direct Writing and Optical Projection," *J. Vac. Sci. Technol.*, B4(1) 310-14 (1986).
11. 김재구, 이성국, 황경현, 윤경규, "엑시머레이저를 이용한 폴리우레탄의 미세가공에 관한 연구," 레이저기술, 43(8) 46-61 (1997).
12. K. Errey, "Copper Vapor Lasers-Principles and Key Applications," Proc. of the 5th Workshop on Photoelectronics Instrumentation, 76-87 (1997)
13. H. O. Pierson, "Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes," Noyes Pub., Mill road, pp.265 (1993).
14. A. G. Grigoryants, "Basics of Laser Material Processing," CRC press, Boca Raton Ann Arbor Tokyo London, origi. by P. S. Ivanov), pp.53 (1994).
15. 오명, 강민호, "레이저응용," 청문각, pp 64 (1983).
16. V. N. Tokarev and V. I. Konov, "Light-Induced Polishing of Diamond Films," Applications of Dia. Films and Related mater. eds A. Tzeng etal.(Elsevier. Amsterdam), 249-55 (1991).
17. V. N. Tokarev, J. I. B. Wilson, M. G. Jubber, P. John, and D. K. Milne, "Modeling of Self-Limited Laser Ablation of Rough Surfaces. Application to the Polishing of Diamond Films," *Diamond and Related Materials*, 4, 169-76 (1995).