

LIFT 방법에 의한 전도성 미세 패터닝 공정 연구

Micro patterning of conductor line by laser induced forward transfer(LIFT)

이제훈, 한유희

J.H. Lee, Y.H. Han
한국기계연구원 레이저기술연구그룹

Key Words : LIFT, Nd:YAG laser, Au-film, electroless plating, direct writing method, electrical resistivity.

ABSTRACT

The laser induced forward transfer(LIFT) technique employs a pulsed laser to transfer parts of a thin metal film from an optically transparent target onto an arbitrary substrate in close proximity to the metal film on the target. In this work, a two-step method, the combination of LIFT process, in which a Au film deposited on the Al_2O_3 substrate by Nd:YAG laser and subsequent Au electroless metal plating on the by LIFT process generated Au seed, was presented. The influence of laser parameters, wavelength, laser power, film thickness and overlap ratio of pulse tracks, on the shapes of deposit and conductor line after electroless plating is experimentally studied. As a results, the threshold power densities for ablation, deposition and metallization were determined and comparison of threshold value between the wave length 1064nm and the second harmonic generated 532nm. In oder to determine a possible application in the electronic industry, a smallest conduct spot size, line width and isolated line space were generated.

1. 서 론

현재 미세 패턴(Pattern) 제작에 사용되고

있는 대표적인 방법으로는 리소그래피(Lithography) 방법의 박막기술과 스크린 프린트 방법의 후막기술이 활용되고 있다. 이 방법들은 모두 패턴 형상을 가진 마스크를

사용하여 절연체 기판 표면에 마스크의 패턴을 재현시키는 방법으로써 공정의 유연성이 낮으며 별도의 마스크 제작 공정이 요구되기 때문에 시작품 혹은 소량생산시 제작비가 높아지는 단점을 가지고 있다. 또한 현재 스크린 프린트 기술로써 제작 가능한 패턴의 최소 폭은 100 μm 범위이며 선 폭이 100 μm 이하인 경우에는 고가의 리소그래피 방법을 사용하고 있는 실정이다¹⁾. 이러한 고가의 리소그래피 방법을 수십 μm 범위의 패턴제작에 적용하기에는 경제성이 매우 낮은 것으로 판단되고 있다. 따라서 이러한 두 공정기술의 중간적용영역을 충족시키기 위한 신 공정 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 레이저를 이용한 직접묘화(direct writing) 방법은 다품종 소량생산 그리고 시작품 제작에 유연성 있게 적용될 수 있는 공정으로서 활용도가 크게 기대되고 있다.

레이저 직접묘화 방법²⁻⁷⁾ 중의 하나인 레이저 빔 용발(ablation)에 의한 증착 방법(Laser Induced Forward Transfer, LIFT)은 2 단계의 공정, 즉 타기트의 박막 형성 단계와 용발에 의한 증착 단계로 이루어진 미세 패턴을 제작할 수 있는 매우 간단하면서도 유연성 있는 방법으로 다수의 연구 사례가 알려져 있다⁸⁻¹²⁾. 그러나 지금까지 수행된 연구들을 살펴보면, 단 펄스의 레이저 빔에 의한 패턴 형상에 관한 연구만 알려져 있으며 이렇게 증착된 패턴은 실용화에 필요한 전도성을 갖지 못하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 펄스의 중첩에 의한 전도선을 제작하기 위한 연구 사례는 아직 알려지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 각각 상이한 파장과 특성을 갖고 있는 Nd:YAG-레이저 빔을 이용하여 이들 레이저 빔의 특성이 LIFT 공정의 용발 및 증착 과정에 미치는 영향과

공정 변수가 패턴 형성에 미치는 영향을 관찰하였다. 또한 단 펄스뿐만 아니라 펄스의 중첩에 의한 시드(seed) 패턴 제작과 후 공정으로, Au 무전해 도금공정을 통하여 패턴의 전도성을 향상시키기 위한 실험을 수행하였으며, 이때 주요 공정변수들이 패턴 형성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 적외선과 가시광선 파장대의 레이저 빔을 사용하여 재료에 대한 에너지 흡수율의 차이가 공정에 미치는 영향을 분석하였다.

2. LIFT 공정의 개요 및 실험 방법

2.1 LIFT 공정의 개요

LIFT 방법의 공정과정을 Fig. 1에서 도식적으로 보여주고 있다. 레이저 빔이 투과하는 재질의 한쪽 면에 sub- μm 의 금속박막을 증착시켜 타기트(target)로 사용하며 타기트의 금속박막과 근접하며 평행 되게 기판을 고정시킨다. 타기트와 기판은 서로 결합된 상태로 이송 테이블 상에 고정되어지며 테이블과 레이저 빔을 제어하여 패턴 형상을 가공하게 된다. 집속된 레이저 빔이 타기트를 투과하여 금속박막에 흡수되면 레이저 빔이 조사된 부위의 금속박막은 용발되어 근접한 기판표면에 증착되어 진다. 이렇게 증착된 패턴의 비저항값은 순수 금속의 비저항값 보다 3에서 50배 이상이 되는 것으로 보고되고 있다¹¹⁾. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 증착된 패턴을 무전해 도금공정을 통하여 패턴의 두께를 보강하여 전도성을 향상시켰다.

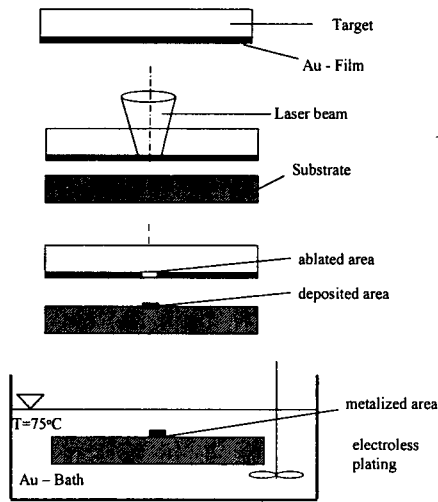


Fig. 1 Schematic diagram of the seed generation by LIFT for electroless metal plating.

2.2 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 레이저는 Rofin-Sinar 사의 RSY 90Q Nd:YAG-레이저로서 레이저 빔의 파장은 1064nm와 주파수를 배가(second harmonic generation)시킨 532nm이다. 각 파장의 펄스 길이는 100ns와 70ns이며 M^2 값이 1.4인 저차 모드의 출력 분포를 나타내고 있다. Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 빔 스위치를 이용하여 두 파장중 한 파장을 선택적으로 사용할 수 있도록 실험장치를 구성하였다. 타기트는 이 두 파장의 빔이 투과되는 1mm 두께의 유리판을 사용하였고, 진공증착기를 이용하여 타기트 유리판의 한쪽 면에는 0.1-0.3 μ m 두께의 Au 박막을 증착하였다. 기판으로는 상용화된 Al₂O₃ 세라믹(96%) 판재를 사용하였으며 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 타기트와 밀접하게 정렬하였다. 이때 타기트와 기판사이의 간격은 두께 10 μ m의 금속박판을 두판의 가장자리에 삽입한 후, 시편 고정장치에서 일정한 압력으로 눌러줌으로서 간격을 일정하게 유지 및 재현시킬 수 있게 하였다. 제

작된 시편은 xy 테이블상에 레이저 빔과 수직되게 고정되어 PC 제어를 이용한 이송이 가능하도록 설치하였다. 이송된 레이저 빔은 집광렌즈(f=20mm)를 통하여 재료표면에 집광시켰다. 레이저 빔의 출력밀도는 초점의 위치를 변화시키거나 빔 출력을 조절하여 변화시켰다. 초점의 위치에 따른 재료표면에서의 레이저 빔의 크기 변화를 Fig. 3에서 보여 주고 있으며, 여기서 레이저 빔의 크기는 knife edge 방법을 사용하여 측정하였다. 실험에 사용된 Au 무전해 도금용액은 Degussa 사의 AURUNA 515이며 모든 도금실험을 동일한 조건으로 수행하였다. 이때 도금시간은 40분으로 제한하였다.

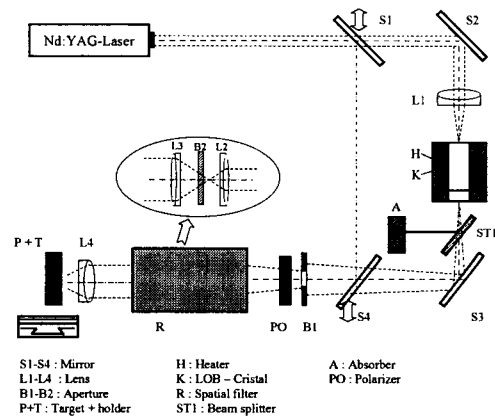


Fig. 2 Experimental set-up.

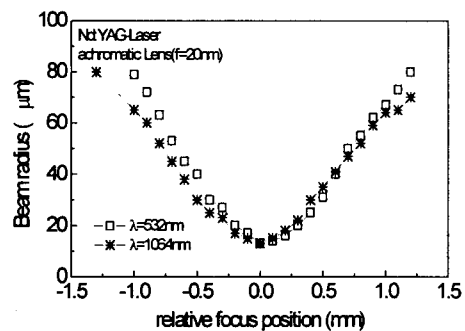


Fig. 3 Beam radius versus distance from the focus for the 532nm and 1064nm radiation.

레이저 처리된 시편은 타기트와 기관을 분리하여 광학 현미경과 SEM을 이용하여 타기트의 용발부와 기관위에 용착된 시드의 기하학적 형상을 관찰하였다. 특히, 기관상에 형성된 시드는 용발의 특성상 경계부를 규명하기가 거의 불가능하기 때문에 일정한 조도하에서 광학현미경으로 550배 확대시킨 상태에서 크기를 측정하였다. 측정오차를 최소화하기 위하여 동일한 조건에서 실험한 5개 시편에 대한 측정치의 평균값을 구하여 결과를 분석하였다.

3. 공정변수가 시드(seed) 형성에 미치는 영향

3.1 레이저 출력밀도의 영향

레이저 출력 밀도가 Al_2O_3 기관위에 형성된 시드의 크기에 미치는 영향을 fig. 4에서 보여주고 있다. 사용된 빔의 파장은 1064nm와 532nm이며 타기트의 필름두께는 $0.1\mu m$ 이다. 파장이 1064nm인 경우(a), 레이저 펄스 출력을 200W, 400W 그리고 600W로 변화시키며, 파장이 532nm인 경우(b)에는 레이저 펄스 출력을 30W, 70W 그리고 140W로 고정시킨 상태에서 기관 표면으로부터의 초점위치를 이동시켜서 출력밀도를 변화시켰다.

초점의 위치가 박막표면에서 벗어남에 따라 필름에 조사되는 레이저 빔의 지름이 증가하게 되며 동시에 동일한 출력하에서 출력밀도는 감소하게 된다. 따라서 빔 조사면 전체에 필름을 증착시키기 위한 충분한 출력밀도가 작용하는 범위까지 알루미늄 기관 표면에 형성되는 시드의 크기는 점차 증가하다가 점차 빔 조사면의 가장자리 부분의 출력밀도가 저하됨에 따라 시드의 지름이 감소하는 현상을 보여 주고 있다.

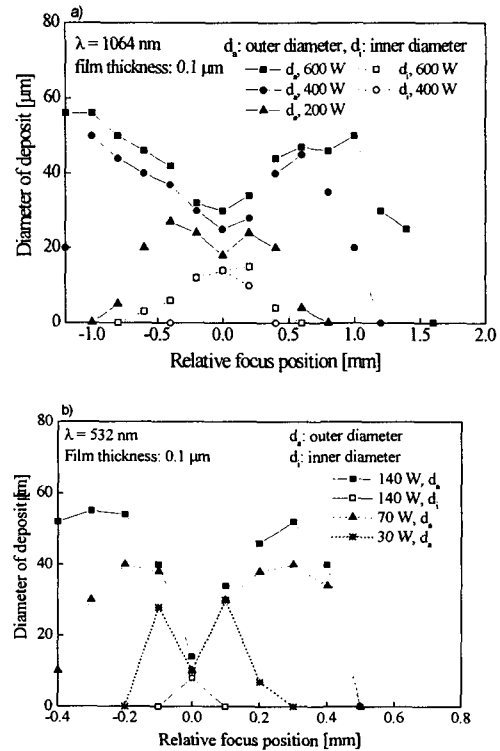


Fig. 4 Diameter of deposit on the Al_2O_3 substrate versus relative focus position at various laser power.

이러한 변곡점은 출력이 클수록 큰 디포커싱(defocusing) 범위로 이동하게 되며, 박막 두께가 $0.1\mu m$ 일때의 변곡점은 출력밀도가 $3 \cdot 10^7 W/cm^2$ 에서 $4 \cdot 10^7 W/cm^2$ 사이에 존재하게 된다. 레이저 출력이 400W 이상일 경우에는 중심부가 비어있는 ring 형태를 가진 시드가 형성되어 있는데 이것은 빔 조사부의 중앙부에 작용하는 높은 출력밀도로 인하여 용착된 시드가 재용발(reevaporation) 됨으로서 일어난 현상으로 분석되어 진다. 레이저 출력이 박막을 용발시키는데 충분한 경우, 박막은 펄스의 초기에 용발되며 용발 후 잔여 펄스길이 동안 레이저 에너지는 기관에 증착된 용착물에 흡수되어 재용발을 일으키게 된다. 이러한 현상은 출력밀도가 $6.5 \cdot 10^7 W/cm^2$ 이상에서 나타나며, 출력이 200W

인 경우에는 최대 출력밀도는 $3.5 \cdot 10^{7W}/cm^2$ 이기 때문에 ring 형태의 시드가 형성되지 않고 전체 빔 조사면에 용착이 이루어진다.

주파수가 배가된 532nm의 레이저 빔을 사용하여 위와 동일한 실험을 하였을 경우, 파장이 1064nm 인 경우보다 작은 출력으로서 유사한 크기의 시드를 용착시킬 수 있었다. 또한, 시드의 크기가 증가하다가 감소하는 변곡점의 출력밀도는 $5 \cdot 10^6 W/cm^2$ 에서 $7 \cdot 10^6 W/cm^2$ 사이로서 파장이 1064nm인 경우 보다 현저히 작은 값을 보여주고 있다. 이와 같이 동일한 크기의 시드를 용착시키는데 필요한 레이저 출력이 532nm의 파장에서 1064nm인 경우 보다 작은 것은 Au 박막재질에 대한 두 파장의 흡수율 차이에서 기인한다고 할 수 있다. 즉, 각 파장에 대한 Au의 흡수율¹³⁻¹⁶⁾(상온과 용융상태의 흡수율을 산술평균한 값)은 0.15와 0.75로서 532nm 파장에 대한 흡수율이 1064nm의 파장 보다 약 5배 높게 나타나고 있으며 이러한 흡수율 차이가 두 파장에 대한 변곡점 및 문턱값의 출력밀도 차이에 지배적인 영향을 미치는 것으로 분석된다. 이러한 에너지 흡수율의 차이는 동일한 에너지 밀도에서 파장에 따른 시드의 형상을 비교하면 쉽게 이해되리라 생각된다.

Fig. 5에서는 동일한 에너지 밀도에서 두 파장의 빔에 의해 유리판 표면에 용착된 시드의 형상을 보여주고 있다. 흡수율이 높은 경우($\lambda=532nm$), 시드가 크게 형성되고 있으며 시드의 중앙부위에는 유리 재질이 용융되어 증착된 상태를 보여주고 있다. 또한 용발시의 높은 압력으로 인하여 용발물의 분산이 크게 나타나고 있다.

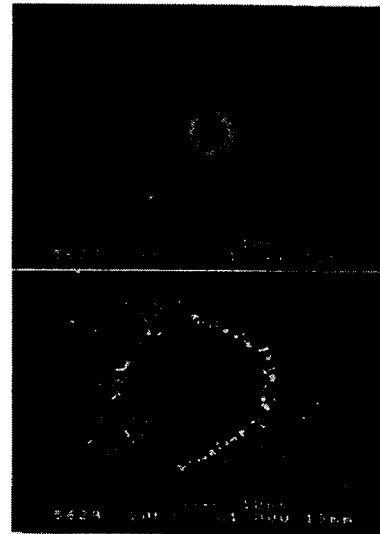


Fig. 5 Shape of deposit on glass substrate using the same energy density of $5.66J/cm^2$ and different wave length (over: 1064nm, under: 532nm).

3.2 박막 두께의 영향

타깃 표면에 코팅된 박막의 두께가 시드 형성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 박막의 두께를 $0.05\mu m$ 에서 $0.32\mu m$ 사이에서 변화시키면서 디포커싱에 의한 출력밀도의 변화가 시드의 크기에 미치는 영향을 각각의 레이저 빔 파장에 대하여 관찰하였다. Fig. 6a에서는 레이저 파장이 1064nm이고, 출력이 400W에서의 시드의 크기를 보여주고 있다. Fig. 6a에서 보는 바와 같이 박막 두께에 따른 시드의 크기는 레이저 출력 밀도에 따라 뚜렷한 차이를 나타내고 있다. 출력밀도가 높은 초점 부근에서는 박막이 두꺼울수록 시드의 크기도 크게 나타나는 반면, 출력밀도가 낮은 큰 디포커싱 영역에서는 박막 두께가 얇은 경우에 시드가 크게 형성되었다. 전자의 경우에는 용발에 필요한 충분한 출력밀도로 인하여 후자의 경우 보다 용발에 필요한 더 높은 금속증기압(박막

과 타깃 사이에 형성되는 압력)이 형성되었고 이로 인하여 용발물의 분산각이 증가하여 용착된 시드가 크게 나타나는 것으로 판단된다. 후자의 경우에는 출력밀도가 감소함에 따라 박막 두께가 큰 경우에는 용발이 일어나지 않는 빔 조사부의 가장자리 영역이 박막 두께가 작은 경우보다 급격히 증가하고, 또한 압력 감소로 인한 용발물의 분산각이 작아진 현상에 기인한 것으로 사료된다. 레이저 빔의 파장이 532nm일 때의 박막 두께의 영향을 Fig. 6b에서 보여주고 있으며 Fig. 6a에서 보여 주는 것과 유사한 경향을 나타내고 있다.

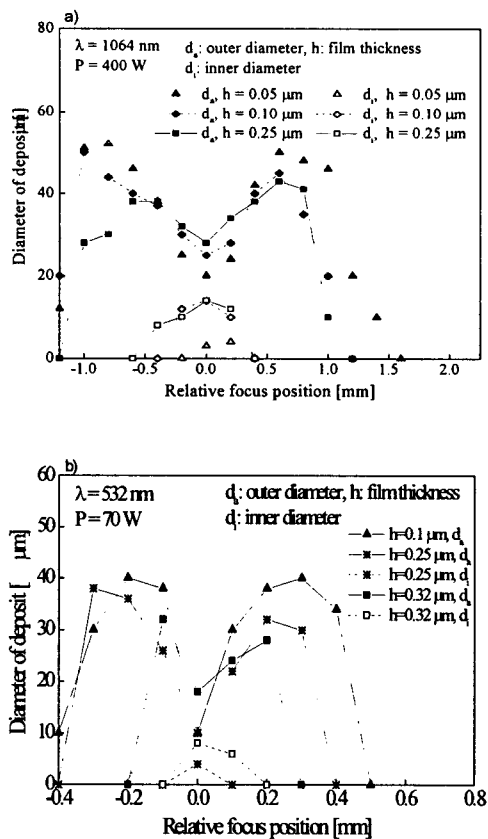


Fig. 6 Diameter of deposit on the Al₂O₃ substrate versus relative focus position at various film thickness.

4. 무전해 도금에 의한 Seed층의 금속화

4.1 공정변수의 영향

본 실험에서는 시드의 형상이 무전해 도금후의 전도층 형상에 미치는 영향을 분석함으로써 시드형성과정에서의 공정변수들이 전도층에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. Fig. 7에서는 Fig. 6a에서와 동일한 조건으로 제작한 시드에 무전해 도금처리를 한 후의 전도층의 변화를 보여주고 있다. 무전해 도금이 가능한 디포커싱영역은 전체적으로 좁게 나타나고 있다. 무전해도금후의 크기는 전체적으로 증가하였으며 재용발된 시드의 중앙부위는 도금후에도 나타나 링 형태의 도금층을 보여주고 있다. Fig. 8은 박막두께가 0.1μm이고 레이저 출력이 140W(λ=532nm)인 경우에 초점위치에 따른 시드형상(Fig. 8a)과 동일한 조건에서 형성된 시드상에 무전해 도금한 후의 도금층의 형상을 비교하여 보여주고 있다.

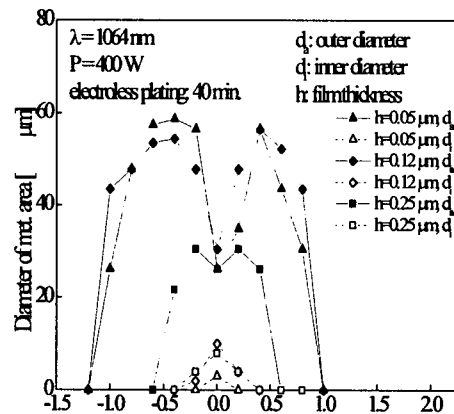


Fig. 7 Diameter of metalized area on the Al₂O₃ substrate versus relative focus position. (λ=1064nm, P=400W).

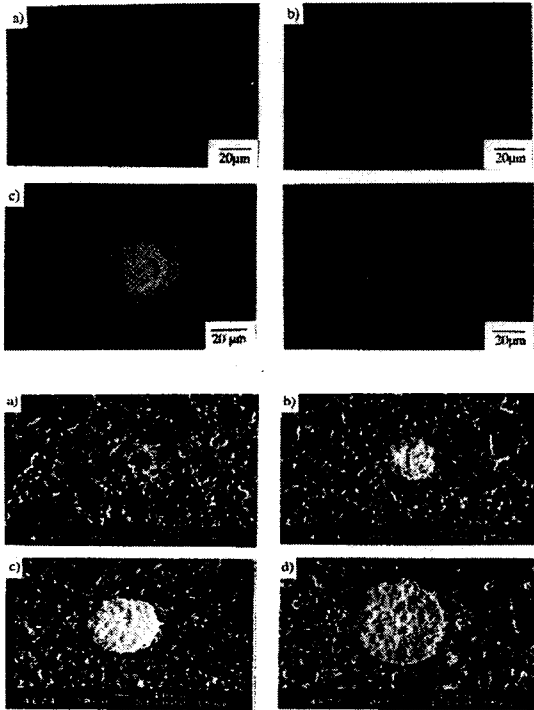


Fig. 8 Deposited (over) and metalized(under) shape on the Al_2O_3 substrate versus relative focus position: $\lambda=532nm$, $P=140W$, $h=0.1\mu m$, defocusing: a) focus, b) 0.1mm, c) 0.2mm, d) 0.3mm.

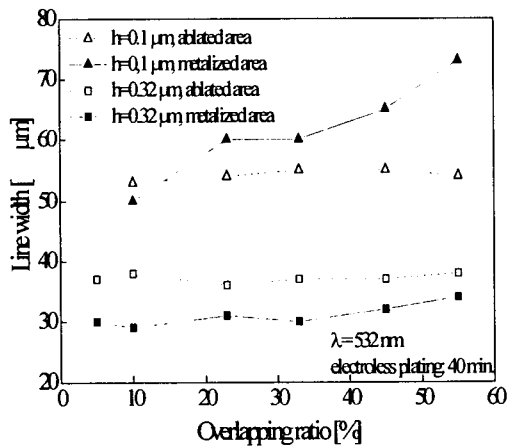


Fig. 9 Ablated and metalized line width on the target and Al_2O_3 substrate in various overlapping ratio at different film thickness. ($\lambda=532nm$, $P=100W$).

Fig. 9에서는 레이저 펄스를 중첩하여 시드를 선 형태로 제작하여 무전해 도금한 결과를 보여주고 있으며 실험은 펄스출력 100W 그리고 초점을 0.2mm 디포커싱한 조건에서 수행하였다. 여기서는 필름두께와 펄스의 중첩도에 따른 전도선 폭의 변화를 타깃 필름의 용발된 선폭과 비교하여 나타내고 있다. 여기서도 박막 두께에 따른 용발된 선폭의 차이는 뚜렷이 나타나고 있으며 또한, 용발된 타깃 박막의 선폭은 펄스의 중첩도에 큰 영향을 받지 않고 있는 반면, 전도선 폭은 박막이 얇은 경우에 급격한 증가 추세를 나타내고 있다. 박막의 두께가 0.1µm 일때의 시드 가장자리는 용착물의 두께가 매우 얇기 때문에 무전해 도금조에서 박리되는 현상이 있으나 펄스가 중첩됨에 따라 가장자리 영역의 시드가 두꺼워지고 치밀하게 되어 무전해 도금 후의 선폭이 급격히 증가하고 있다. 박막의 두께가 0.32µm 일때의 중첩도 변화에 따른 선폭의 변화는 주어진 조건하에서는 크게 나타나지 않고 있다. 이는 박막이 두꺼운 경우의 시드는 얇은 경우에 비하여 상대적으로 용착물의 두께가 두꺼워 지고 또한 높은 용발 온도로 인하여 접착력이 향상되었기 때문에 중첩에 의한 선폭의 변화가 작은 것으로 분석되어진다. Fig. 10에서는 본 실험 장치로 제작한 패턴을 보여주고 있다. 그림에 나타난 전도층의 두께는 약 1.5µm이며 선간간격 40µm 이하에서는 선간에 절연이 되지 않으며 제작한 전도선의 고유저항은 선폭에 따라 약간의 차이는 있으나 선폭 30µm인 경우 약 0.03Ω·mm²/m를 나타내고 있으며 이는 순수 Au의 고유저항값 보다 약 1.4배 높은 값이다.

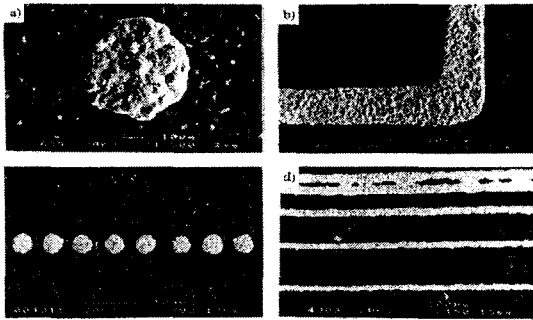


Fig. 10 Au patterns after electroless plating of the transferred Au seed pattern on Al_2O_3 substrate: a) and b): $P=200W$, $\lambda=1064nm$, c): $P=140W$, $\lambda=532nm$, d): $P=30W$, $\lambda=532nm$.

4.2 최저 허용 출력밀도

LIFT 공정의 주요 3 단계인 타기트 박막의 용발, 용착 그리고 무전해도금에 필요한 최저 허용 출력밀도를 실험에 사용된 두 가지 파장에 대하여 비교하였다. Fig. 11에서는 파장 532nm에서 용발에 필요한 최저 허용 출력밀도를 기준값 1로 하여 상대적 비교를 하였다. 모든 공정에서 파장이 1064nm의 경우가 532nm 보다 약 4-5배 높은 최저 출력밀도를 보여주고 있다. 이는 두 파장의 흡수율과 펄스 길이의 차이에서 오는 것으로 판단되며, 특히, 흡수율의 차이가 주된 요인인 것으로 사료된다. 두 파장 모두 용발된 박막을 기판에 용착시키기 위해서는 최저 용발 출력밀도 보다 더 높은 출력밀도가 요구되고 있으며, 이를 무전해 도금을 통하여 금속화하기 위해서는 최저 용착 출력 밀도 보다 더 높은 출력 밀도가 필요함을 알 수 있었다. 이는 최저 용발 출력밀도에서는 용발된 박막의 양이 매우 미소하기 때문에 본 실험에 사용된 분석방법으로는 판별할 수가 없었다. 또한 최저 용착 출력밀도에서 용착된 박막은 무전해 도금조에서 모두 박

리되어 도금이 이루어지지 않았다. 이러한 박리 현상은 저 출력 상태에서 용착된 박막의 접착력과 크기가 매우 작기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 시드상에 금속화를 이루기 위해서는 최저 용발 출력밀도 보다 파장이 532nm의 경우는 약 2배 그리고 1064nm 일때는 약 1.5배의 출력이 필요하였다. 레이저 빔이 타기트의 Au 박막에 조사되면 박막은 펄스의 초기 단계에 용발이 일어나고 용발후 펄스의 잔류 에너지는 박막의 용발 과정에 더 이상 기여하지 않는 에너지 즉, 용발과정만을 고려할 때 손실된 에너지로 간주할 수 있다. 그러나 이 손실된 에너지의 일부는 용발된 박막과 기판표면에 흡수되어 용발물의 접착력을 향상시키는데 기여하는 것으로 추측할 수 있다. 이러한 용발과정에서 전체 펄스에너지에 대한 손실된 에너지의 비율이 본 실험에 사용된 1064nm 파장이 532nm 파장보다 크기 때문에 1064nm에서 금속화를 위한 출력밀도의 상승폭이 작게 나타나는 것으로 사료된다. 따라서 펄스 에너지의 효율만을 고려할때 박막을 용발시키기 위해서는 펄스길이가 짧은 것이 높은 효율을 나타내고 있지만 금속화를 위해서는 큰 효과가 없는 것으로 판단된다.

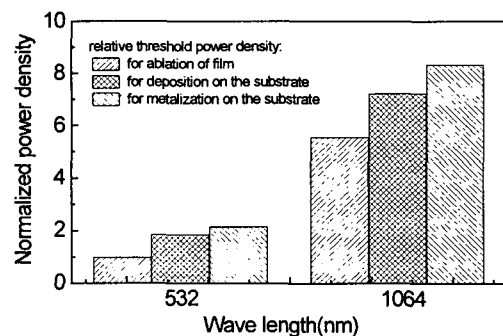


Fig. 11 Comparison of threshold power density for ablation, deposition and metallization obtained using the two different wave length.

5. 결 론

레이저 직접묘화에 의한 선택적 금속화 방법은 다품종소량생산과 제품의 개발주기 단축등 최근 전자산업분야의 시장변화에 적절히 대응할 수 있는 방법으로 평가되면서 신공정 개발 및 상품화에 많은 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 LIFT(laser induced forward tranfer) 방법에 있어서 주요 공정 변수인 레이저 출력밀도, 타기트의 박막두께가 시드형성과 무전해 도금공정을 통한 금속화에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 파장과 펄스길이가 상이한 두 개의 빔을 사용하여 레이저 빔의 특성이 공정에 미치는 영향을 각 공정의 최소 유효에너지 밀도를 측정하여 분석하였다. 레이저 빔 펄스를 중첩하여 전도선을 제작하였으며 본 공정으로 실현 가능한 선폭, 선간간격 그리고 전도선의 고유저항 등을 측정하여 박막과 후막기술의 중간적용영역에 효율적으로 적용할 수 있는 가능성을 제시하였다.

참 고 문 헌

1. Q. Reynolds, G. Machahon, J. Freitag, "75 μm Bahnen erreichbar", *Elektronik Produktion & Prueftechnik*, 5, pp.26, 1994.
2. D.J. Ehrlich, J.Y. Tsao, "Laser microfabrication: Thin film processes and lithograph.", Boston, Academic Press, 1989.
3. T.H. Baum, "Laser-induced chemical vapor deposition of high-purity metals", *Laser/Optical processing of electronic materials*, SPIE Vol. 1190, pp.188, 1989.
4. M. Metzger, H. Reichel, "Laser direct writing of gold to repair defective lines in thin-film metallization", *Appl. Surf. Science* 69, pp.69, 1993.
5. C.M. Harosh, V. Kumar, A. Parbhakar, "A novel laser direct writing technique for fabrication of thin film MIC's", *IEEE Tran. on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 6, pp.279, 1993.
6. H.G. Mueller, "YAG Laser direct writing of copper formate films", *Appl. Phys. Lett.* 56(10), pp.904, 1990.
7. BIAS-Bulletin, "Direct laserunterstuetzte microstrcturierte Metallisierung". 1, 1992.
8. T.M. Jackson, A.D. Brisbane, "Automated interconnection processes for semiconductor integrated circuit slices", *Proc. Conf. Integrated Circuits*, East-bourne, pp.181, 1967.
9. R.J. Baseman, A. Gupta, R.J. Sausa, C. Proglar, "Laser induced forward transfer", *Mat, Res. Soc. Proc.* Vol. 101, pp.237, 1988.
10. Z. Toth, Z. Kantan, P. Mogyorosi, T. Szorenyi, "surface patterning by pulsed laser induced transfer of metals and compounds", *Laser assisted Processing II*, SPIE Vol. 1279, pp.150, 1990.
11. J. Bohandy, B.F. Kim, G.S. Was, "Metal deposition at 532 nm using a laser transfer technique", *J. Mat. Sci.* 23, pp.1158, 1988.
12. Z. kantor, Z. Toth, T. Szorenyi, "Laser induced forward transfer: The effect of support-film interface and film-to-substrate distance on transfer". *Appl. Phys. A54*, pp.170, 1992.
13. E.M. Wise, "Gold Recovery, properties and applications", New jersey, D. Van Nostrand Co. Inc., 1964.
14. A.M. Bonch-Bruevichm et al, "Effect

- of laser pulse on the reflecting power of a metal", *Soviet Phys.-Tech. Phys.* 13(5), pp640, 1968.
15. G.R. Levinson, V.I. Smilga, "Changes in the reflectivity of metallic films as a result of heating with short laser radiation pulses", *Sov. J. Quant. Electron.*, Vol. 4, No. 5, pp.680, 1974.
 16. M. von Allmen, "Coupling of laser radiation to metals and semiconductors", *Physical processes in laser-materials interactions*, Edit.: M. Bertolotti, New York, Plenum Press, 1984.