

폴리머 코팅층 레이저 직접묘화법을 이용한 미세패턴증착

이봉구*

¹영남이공대학교 기계계열

Deposition of Micropattern using The Laser Direct Writing Method with a polymer coating layer

Bong-Gu Lee*

¹Division of Mechanical Engineering, Yeungnam University College

요 약 레이저 직접묘화방법을 이용하여 절연기판(SiO₂)위에 미세전도성패턴을 제조하였다. 레이저 유도증착공정은 레이저 빔이 금속박막에 조사되면 레이저 빔의 빛 에너지가 금속박막에 흡수되어 열에너지로 바뀌면서 열전도에 의한 열분해반응으로 기판위에 증착이 일어난다. 본 논문에서는 금속박막위에 폴리머 코팅을 하여 레이저 직접묘화공정을 적용하여 미세패턴과 3차원 마이크로 구조물 제조에 관한 연구를 수행하였다. 평균 증착율은 전반적으로 레이저출력이 높을 수록 선형적으로 증가하고, 빔 스캔 속도가 감소할수록 증착율은 증가한다는 것을 확인하였다. Polymer 코팅층을 이용하여 미세전극을 증착하여 비저항값을 측정하여, 코팅층을 사용한 경우의 전기전도도가 코팅을 하지 않은 경우보다 약 3배정도 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract A micro-conductive pattern was fabricated on an insulating substrate (SiO₂) surface using a laser direct writing method. In the LIFT process, when the laser beam irradiates a thin metal film, the photon energy is absorbed by the film and converted to thermal energy, and the thermal decomposition reaction produced by the resulting heat conduction forms a deposit on the substrate. The resistivity of the micro-electrodes deposited through LIFT process with and without polymer coating was measured. The results showed that the electric conductivity of the micro-pattern and micro-structure can be increased approximately two times when the deposited micropattern is fabricated through a LIFT process with a polymer coating, compared to the case without a polymer coating.

Key Words : Direct writing technology, Laser Direct Write(LDW), Laser ablation, Micro deposition

1. 서론

미세 패턴 제작 기술은 회로 제작기술, 기계부품의 미세 가공, 전자부품의 제조, 전도성 회로제작 등에 활용되고 있는 기술로서 공정의 종류에 따라 크게 실리콘 기판 위에 구조물을 더해가는 부가식 공정(additive process), 실리콘 소재로부터 가공해 나가는 제거식 공정(subtractive process) 그리고 이들 공정들이 조합된 하이브리드 공정(hybrid process)으로 구분된다. 부가식 공정은 선택적으로 필요한 부분에만 전도층을 제작하는 공정

으로써 제거식 공정과 비교하여 공정의 높은 유연성, 공정 단계 및 재료의 절감 등 많은 장점이 있는 공정으로 알려져 있으나, 국부적으로 필요로 하는 부분에 패턴을 형성하는 방법이기 때문에 대량생산에는 적합하지 못하고 다품종 소량생산 및 시제품 제작에 적용할 수 있는 공정이라 할 수 있다. 제거식 공정은 기판(substrate) 표면에 전도성 박막을 미리 증착 한 후 필요하지 않는 부분만 제거하여 원하는 패턴을 제작하는 공정이다. 하이브리드 공정은 기판 전체에 전도층을 도포하고 전도층 위에 포토리소그래피(photolithography)공정과 전해도금

*Corresponding Author : Bong-Gu Lee(Yeungnam University College)

Tel: +82-53-650-9212 email: positive@ync.ac.kr

Received November 4, 2014

Revised (1st December 1, 2014, 2nd December 9, 2014)

Accepted December 11, 2014

(electroplating)공정으로 패턴을 형성한 후에, 불필요한 금속층을 에칭 공정으로 제거하게 된다[1].

현재 절연체 기판 위에 미세 전도성 패턴 형성기술의 대표적인 방법으로는 사진 식각(photolithography)에 의한 방법과 스크린 프린팅(screen printing) 방법이 있다. 사진식각공정은 서브 마이크로미터이하의 선폭을 가지는 미세전도성 패턴을 제작할 수 있으나, 제작하고자 하는 패턴을 형성하기 위해서는 별도의 마스크 제조공정이 요구되기 때문에 공정의 유연성이 떨어지고 고가의 장비로 인해 시제품이나 소량생산의 경우 제조비용이 높아지는 단점이 있다. 스크린 프린팅기술 또한 제작 가능한 미세패턴(micropattern)의 최소 선폭(line width)이 100 μ m 정도이므로 선폭이 100 μ m 이하인 경우에는 사진식각 공정을 사용하고 있는 실정이다[2]. 따라서, 두 공정기술의 중간영역으로 수mm~100mm 이하의 선폭(line width)을 가지는 미세 전도성 패턴을 제조할 수 있는 기술로 레이저 직접묘화법(laser direct writing method)기술이 있다.

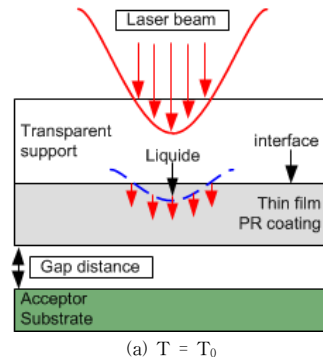
특히 레이저를 이용한 직접 묘화 기술은 다품종 소량 생산 그리고 시작품 제작에 유연성 있게 적용할 수 있는 대체 기술로서 활용도가 크게 기대된다.

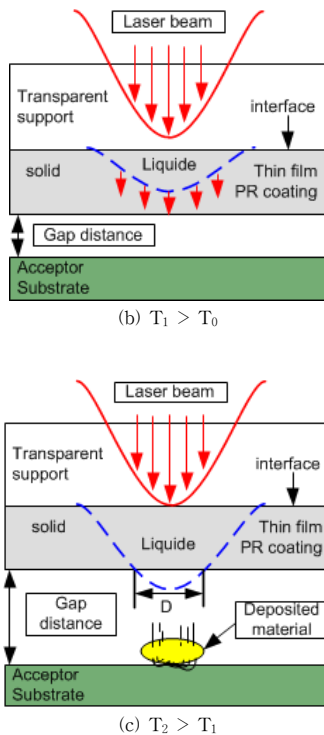
레이저 직접묘화 기술은 다른 가공방법에 비해 상대적으로 간단한 장비를 이용해 수십 마이크로 미터 크기의 패턴이나 구조물을 용이하게 제조할 수 있어 미세패턴 가공기술로 이용된다. 현재 레이저 직접묘화 기술로는 레이저 유도 에칭가공(laser induced etching), 마이크로 조형(microstereography), 레이저 유도증착(LIFT: laser induced forward transfer), 매트릭스 보조 펄스 레이저 직접 묘화(MAPLE: matrix assisted pulsed laser) DW 등이 있다[3,4]. 매트릭스 보조 펄스 레이저 직접 묘화 공정은 타겟 재료(target material)는 휘발성이 강한 잉크와 증착 하고자 하는 재료를 혼합하여 리본과 같은 띠모양을 형성하여 레이저를 조사하여 증착하는 공정이다. 매트릭스 보조 펄스 레이저 직접 묘화 공정은 매트릭스 재료(matrix material)와 증착 재료(transfer material)가 잘 융합될 수 있어야 하고, 레이저 빔에 노출 되었을 때 매트릭스 재료가 증착재료 보다 휘발성이 강해야 투명 시료표면에서 기화되어 수용기판에 증착이 일어나게 된다. 이와 같은 제약 조건 때문에 매트릭스 재료 선정이 중요한 실험조건이 된다. 또한 레이저 유도 증착법은 2단계의 공정으로 이루어지며, 금속 박막형성 단계와 제거 공정에 의한 증착 단계로 이루어진 공정으로 미세패턴을

제작할 수 있는 매우 간단하면서도 실용적인 가공법으로 알려져 있다[5,6]. 그러나 기존의 레이저 유도 증착 공정은 레이저 열에 의해 기화되면서 증착 되는 공정이기 때문에, 증착 된 패턴 조직의 밀도가 낮고 정밀도가 떨어지고 또한 증착된 타겟 재료가 쉽게 산화 되거나, 오염되기 쉬운 단점이 있다. 지금까지 연구결과를 보면, 단 펄스의 레이저 빔에 의한 패턴 형상에 관한 연구만 알려져 있으며 이렇게 증착된 패턴은 실용화에 필요한 패턴의 비저항 값은 순수 금속의 비저항 값보다 3에서 50배 이상이 되는 것으로 보고되고 있다[7]. 이러한 단점을 해결하기 위해서 폴리머 코팅 층과 층 단위(layer by layer) 빔 스캔 방식으로 레이저 직접 묘화공정을 적용하였고[8], 본 공정을 통하여 마이크로 패턴 및 구조물의 증착기술에 대한 연구를 수행하였다.

2. 레이저 직접묘화

Fig. 1 은 본 연구에서 사용한 폴리머 코팅 층을 이용한 레이저 직접묘화 공정에 대한 도식적으로 보여주고 있다. Fig. 1(a)와 같이 유리나 같은 투명재료 위에 금속 박막을 전자빔(E-beam)으로 증착하고, 금속 박막위에 폴리머를 코팅한다. 이렇게 만들어진 타겟 재료를 금속 박막 수용기판(acceptor substrate)과 밀착시켜 고정 한 후 투명재료 위에서 레이저 빔을 조사한다. 조사된 레이저 빔은 금속박막 폴리머 코팅은 용융, 증발되어 제거되며, 제거된 금속은 Fig. 1(c)와 같이 아래쪽 수용기판 표면에 증착된다.





[Fig. 1] Schematic diagram of LDW process. (a)Metal Thin film material is ablated from the original support substrate. (b)The ablated material impacts on the acceptor substrate. (c)The final phase the ablated material is deposited on the acceptor substrate

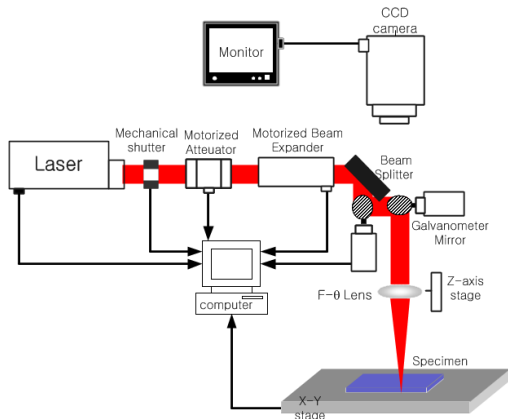
본 연구에서는 부가식 공정에 속하는 레이저 직접묘화공정으로 폴리머 코팅 층을 사용하여 미세 패터닝 기술을 대체할 수 있는 실용화 기술의 가능성을 확인하는 것을 중점을 두었다. 특히 금속박막의 폴리머 코팅을 이용한 미세패턴 및 3차원 마이크로 구조물 제조에 관한 것으로, 금속 박막 위에 폴리머 코팅을 이용한 레이저 직접묘화공정은 기존의 레이저유도증착 공정을 수정하여 레이저 유도증착 공정의 문제점을 개선하고, 새로운 레이저 직접묘화법의 실용화의 기술로 제품적용에 가능한 전기전도도 및 우수한 증착율, 결합도(adhesion)를 향상시켰다. 그 결과 폴리머 코팅을 이용한 레이저 직접묘화공정은 수십 마이크로미터 크기의 미세패턴과 3차원 미세 구조물 증착이 가능하며, 다양한 재료에 응용이 가능하고, 우수한 증착물 결합도, 전기 전도성을 향상시켰다. 또한 폴리머 코팅을 이용한 미세패턴 및 구조물을 제조하는 기술을 개발하고, 공정변수가 증착 패턴의 단면형상,

표면품질에 미치는 영향을 전자현미경(SEM) 사진을 이용하여 분석하였다.

3. 실험 장치

실험에 사용된 Nd:YVO₄ 레이저는 355nm의 파장, 최대출력 5w을 갖는 다이오드 펌핑 고체 펄스 레이저(Diode-pumped solid state, DPSS)로 타겟 시편과 금속 박막 코팅층 사이의 증착을 유도하는 에너지 열원으로 이용되었다. 다이오드 펌핑 고체 펄스 레이저 빔은 수용기판에서 집속 효율을 높이고, 빔 경로에 놓여 있는 다른 광학계를 보호하기 위해서 빔 확대기를 거친 후 선형 평광기와 λ/4 플레이트를 통과하여 원형 평광으로 변환된다. 선형 편광된 레이저 빔을 원형편광으로 만드는 이유는 조사된 레이저 빔이 타겟 시편으로부터 일부 반사되어 나온 빔이 레이저 시스템으로 다시 들어가서 시스템을 손상시키는 것을 방지하기 위해서이다. λ/4 플레이트를 통과한 빔은 갈바노 미러와 F-θ 렌즈를 통과하여 항상 수용기판 표면에 수직하게 조사된다. 집속된 레이저 빔의 직경은 나이프 에지(knife-edge) 방법으로 측정할 결과 빔의 직경은 약 30μm로 확인되었다. 실험에 사용된 타겟은 빔이 투과하는 1mm의 두께의 유리(Pyrex glass)를 사용하였고, 전자빔 증착기를 이용하여 한쪽 면에 두께 0.2~0.8μm 두께의 금속박막을 증착하였다. 증착된 금속 박막위에 스피ن코터를 사용하여 두께 1μm 폴리머를 코팅처리 하였다.

수용기판은 실리콘 웨이퍼, 소다라임 글라스(soda lime glass)를 사용하였으며, 타겟 재료와 밀착시켜 고정하였다. 제작된 시편은 이송정밀도(repeatability)가 0.1μm의 X-Y 테이블 상에 레이저 빔과 수직하게 고정되어 PC 제어를 이용한 이송이 가능하도록 설치하였다. 실험은 고가의 진공장치가 필요 없는 대기상태에서 실험하였다. 실험시편은 이송계에 고정된 상태로 레이저빔을 조사하는 고정 초점방식으로 증착 실험을 하였다. 레이저 출력 및 폴리머 코팅 효과에 따른 표면품질의 영향을 확인하기 위해서 전자 현미경(SEM)을 사용하여, 미세패턴 및 3차원 구조물 제조기술의 가능성을 확인하였다.



[Fig. 2] Schematic diagram of experimental setup

4. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 고정 초점방식으로, 증착 실험을 진행 하였으며, 금속박막 위에 폴리머 코팅을 사용한 레이저 직접묘화 공정으로 생성된 증착층은 패속조형(rapid prototype)공정처럼 시편 표면에 높이방향으로 층단위 빔 스캔 방식으로 스캔하여 미세 패턴 및 구조물을 증착 하였다.

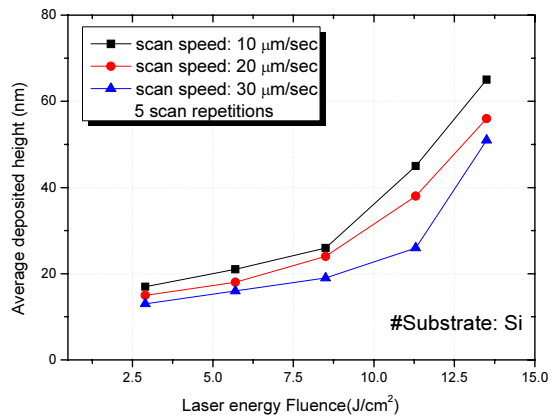
증착된 패턴이나 구조물은 높이방향으로 증착이 일어나면서, 앞에서 증착된 증착 표면은 이후의 적층될 증착 물에 대하여 기질의 역할을 하기 때문에 연속적이며 균 일한 표면이 필요하다. 만일 균일하고 연속적이지 못한 증착물 위에 다시 증착이 되면, 증착율(deposition rate)의 차이가 발생하여 정밀도가 우수한 패턴이나 구조물을 증착하기 어렵기 때문에 적절한 공정변수의 설정이 필요하다.

증착 표면의 균일성을 살펴보기 위해서 길이 2mm의 미세전극을 빔 스캔 횟수를 5회로 고정시키고, 레이저 출력과 빔의 스캔 속도를 변화시키면서 증착 실험을 진행 하였다. Fig. 2는 레이저 에너지 밀도에 따른 구리 박막 코팅 층의 평균 증착 두께의 변화를 나타낸 것이다. 레이저 직접묘화 공정에 사용된 레이저 가공 조건, 금속 박막의 종류와 두께, 폴리머의 종류와 두께 등 실험조건은 Table 1과 같다.

[Table 4] Experimental conditions

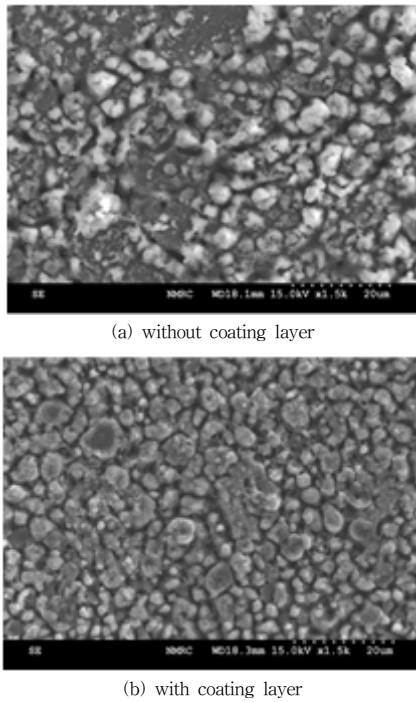
Laser wavelength	355nm
Laser power	2.83~13.58J/cm ²
Scan speed	10~30μm/s
Thin film material	Cr, Cu
Thin film thickness	400nm
Photoresist	AZ1512
Photoresist thickness	1μm

Fig. 3은 평균 증착 두께의 실험 결과에서 알 수 있듯이 레이저 에너지 밀도가 높을수록, 빔 스캔 속도가 느릴수록 증가하는 경향을 보인다. 이는 빔 스캔 속도가 느릴수록 금속 코팅 층에 빔이 머무르는 시간이 많아져 증착 반응이 더 활성화 되는 것으로 생각된다.



[Fig. 3] Average deposited height of Cr deposition

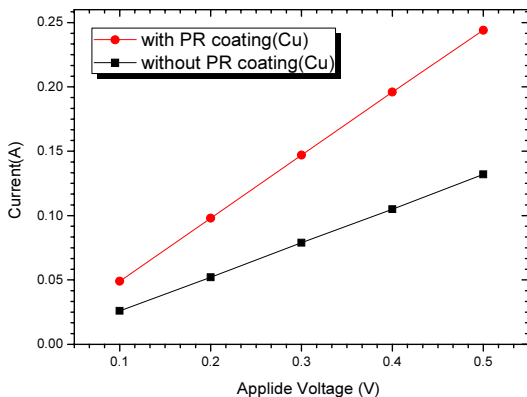
Fig. 4 레이저 직접묘화 공정을 이용하여 실리콘 웨이퍼 위에 증착된 크롬 증착 층의 전자 현미경(SEM) 사진이다. Fig. 4(a), 는 폴리머 코팅 층 없이 기존의 레이저 직접묘화 공정을 이용하여 증착한 패턴의 사진이고, Fig. 4(b)는 본 연구에서 제안한 금속 박막 위에 폴리머를 코팅한 후 레이저 직접묘화 공정을 적용한 결과이다. 증착된 재료는 크롬이며 증착표면 품질을 살펴보면 폴리머 코팅 후 적용한 결과가 전체적으로 조밀하고 균일하게 증착되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 또한 증착된 크롬 층을 확대해 보면 폴리머 코팅 후 적용한 결과가 더 치밀하게 증착된 것을 관찰 수 있다. 이것은 레이저 직접묘화 공정 전에 코팅된 폴리머가 레이저 조사로 인해 금속 박막 층이 증발할 때 함께 제거되면서 표면에서의 증착을 향상시켰기 때문이다.



[Fig. 4] SEM images of Cr deposited microstructure

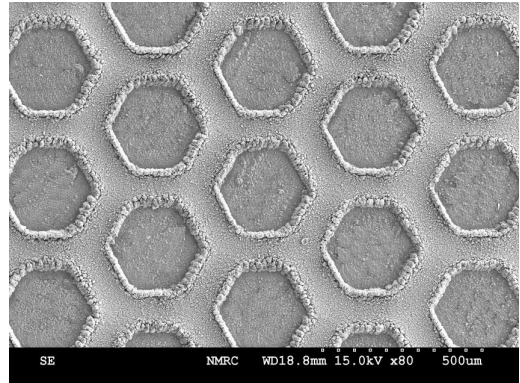
레이저 직접묘화 공정 후 미세 패턴의 전기 전도성을 측정하기 위해 전기 전도성이 높은 구리를 레이저 직접 묘화공정을 통해 증착하였다. 전도성 측정을 위해 폭 200 μm , 길이 2mm의 직선 형태의 패턴을 증착하였으며 증착된 패턴에 전압을 가했을 때 전류를 측정하였다.

Fig. 5는 0.1~0.5V로 전압을 인가하였을 경우 측정된 전류 값을 나타낸 그래프이다. 폴리머 코팅 후 레이저 직접묘화 공정을 하였을 경우가 같은 전압을 인가하였을 때 더 큰 전류 값이 측정되었다.



[Fig. 5] I-V curve of deposited pattern

전압, 전류 값을 바탕으로 저항 값을 계산한 결과 폴리머 코팅 전, 후의 저항이 각각 3.8 Ω , 2 Ω 으로 폴리머가 미세패턴의 구리조직을 치밀하게 증착할 수 있게 하여 전기 저항이 감소함을 알 수 있다.



[Fig. 6] SEM images of 3D microstructure

Fig. 6은 유리 기판에 알루미늄 박막 폴리머 코팅을 층 단위 빔 스캔모드로 레이저 묘화공정을 이용하여 제조한 벌집모양의 3차원 미세 구조물 전자현미경 사진이다. 레이저 에너지 밀도 5.6J/cm², 빔 스캔 속도 10 $\mu\text{m/s}$ 로 25회 스캔하면서 증착한 것으로, 높이 20 μm 의 3차원 미세 구조물을 증착 하였다. 증착 표면형상을 보면 엣지(edge) 부분과 중심부의 증착 높이가 다른 것은 레이저 빔의 가우시안 분포를 갖기 때문에 중심부와 엣지부의 출력밀도 차이에 따른 증착 반응이 차이 때문이라 생각된다.

4. 결론

지금까지 연구된 레이저 직접묘화 공정은 마스크 없이 단일공정으로 미세패턴을 만들 수 있는 장점이 있지만 정밀도와 전기 전도도가 떨어지는 단점을 가지고 있었다. 본 연구에서는 폴리머가 코팅된 금속박막을 레이저 직접묘화 공정을 이용하여 정밀한 전도성 패턴을 제작하였다. 폴리머를 코팅한 후 레이저 직접묘화 공정을 적용한 결과 증착된 표면의 조직이 치밀하고 경계가 명확한 패턴이 되었고, 제작된 미세패턴 전기 저항을 측정한 결과 폴리머 코팅을 적용한 미세전극의 전기 저항이 3.8 Ω 에서 2 Ω 으로 감소하였다. 평균 증착율은 전반적으로 레이저출력이 높을수록 선형적으로 증가하고, 빔 스

캔 속도가 감소 할수록 증착율은 증가한다는 것을 확인하였다. 폴리머 코팅층을 이용하여 미세전극을 증착하여 비저항값을 측정하여, 코팅층을 사용한 경우의 전기전도도가 코팅을 하지 않은 경우보다 약 2 배정도 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 레이저 직접묘화 공정을 이용하여 금속박막 재료를 비전동성 기판표면위에 정밀하게 증착할 수 있고, 미세패턴, 미세전극 등 3차원 미세구조물의 증착이 가능함을 확인하였다.

References

- [1] J. H. Lee, J. Suh, Y. H. Han, "A Study on Fabrication of Conductor Patterns on AlN Ceramic Surface by Laser Direct Writing," J. of KSLP, Vol. 3, No. 2, pp. 25-33, 2000.
- [2] B. G. Lee, J. H. Moon, "Characteristics of 3D Microstructures Fabricated using a Modified LIFT Process," metals and materials International, Vol. 16, No. 5, pp. 1019-1027, 2010.
- [3] B. S. Shin, J. G. Kim, W. S. Chang, K. H. Whang, "Rapid manufacturing of 3D Micro-products using UV Laser Ablation and Phase-change Filling," International Journal of the Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 7, No. 3, pp. 56-59, 2006.
- [4] D. Y. Yang, T. W. Lim, S. Yong, H. J. Kong, K. S. Lee, D. P. Kim, S. H. Park, "Additive Process Using Femto-second Laser for Manufacturing 3D Nano/Micro-structures," Int. Journal of the Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 8, No.4, pp. 63-69, 2007.
- [5] H. Yamada, T. Sano, "Optimization of Laser-Induced Forward Transfer Process of Metal Thin Films," Appl. Surf. Sci. Vol. 197-198, pp. 411-415, 2002.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-4332\(02\)00351-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-4332(02)00351-3)
- [6] D. A. Willis, V. Grosu, "Microdroplet Deposition by Laser Induced Forward Transfer," Appl. Phys. Let. 86, pp. 244103-3, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1944895>
- [7] J. Bohandy, B. F. Kim, F. J. Adrian, "Metal Deposition from a Supported Metal Film using an Excimer Laser," Journal of Applied Physics, Vol. 60, 1538-1539, 1986.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.337287>
- [8] B. G. Lee, "Micro-Droplet Deposition by UV-Pulsed Laser Induced Forward Transfer Direct Writing Technology," Electronic materials Letters, Vol. 8, No. 6, pp. 631-637, 2012
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13391-012-2059-1>

이 봉 구(Bong-Gu Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 연세대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 연세대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 2003년 7월 : 한국생산기술연구원 연구원
- 2009년 3월 ~ 2012년 2월 : 대림대학교 기계설계 교수
- 2012년 3월 ~ 현재 : 영남이공대학교 기계계열 교수

<관심분야>

초정밀 가공, CAD/CAM, 복합가공