

355nm UV 레이저를 이용한 AZ5214와 SU-8 포토레지스트 어블레이션에 관한 연구

오재용* · 신보성** · 김호상**

*부산대학교 대학원

**부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

***고등기술연구원

A Study on the Ablation of AZ5214 and SU-8 Photoresist Processed by 355nm UV Laser

J. Y. Oh*, B. S. Shin** and H. S. Kim***

*Graduate School, Pusan National University

**ERC/NSDM, Pusan National University

***Institute for Advanced Engineering

Abstract

We have studied a laser direct writing lithography(LDWL). This is more important to apply to micro patterning using UV laser. We demonstrate the possibility of LDWL and construct the fabrication system. We use Galvano scanner to process quickly micro patterns from computer data. And laser beam is focused with F- θ lens. AZ5214 and SU-8 photoresist are chosen as experimental materials and a kind of well-known positive and negative photoresist respectively. Laser ablation mechanism depends on the optical properties of polymer. In this paper, therefore we investigate the phenomenon of laser ablation according to the laser fluence variation and measure the shape profile of micro patterned holes. From these experimental results, we show that LDWL is very useful to process various micro patterns directly.

Key words : UV laser ablation, AZ5214, SU-8, direct writing lithography

1. 서 론

레이저를 이용한 재료 가공은 MEMS 분야에서 세척(Cleaning), 정화(Decontamination), 표면 개질(Surface modification) 그리고 나노 입자 증착(Nano-particles deposition) 등 다양하게 응용되고 있다.¹⁾ 특히 최근에는 마스크리스 리소그래피(Maskless lithography) 공정에 대한 관심이 높아지며 레이저 어블레이션을 이용한 LDWL(Laser Direct Writing Lithography)에 대한 연구가 주목받고 있다. LDWL 공정은 기존의 마스크를 이용한 리소그래피와 비교하여 공정이 간단하며, 값비싼 마스크의 제작이 불필요하고 공정변수의 조절이 용이하다는 장점이 있다. 488nm 아르곤 레이저를 이용한 PMMA 리소그래피²⁾, 308nm 엑시머 레이저를 이용한 AZ7200 리소그래피³⁾ 그리고 Nd:YAG 레이저를 이용한 Cu₂Se 리소그래피¹⁾ 등 다양한 레이저와 감광제(Photo-resister, PR)를 이용하여 LDWL 연구가 이루어져 왔다. 본 논문에서는 355nm Nd:YVO₄ 레이저를 이용하여 AZ5214 양성 감광제와 SU-8 음성 감광제의 어블레이션 반응을 실험적으로 규명하였으며, 마스크리스 리소그래피의 가능성에 대하여 고찰하였다.

2. 이론적 접근

나노초 펄스 레이저를 이용한 재료의 가공 현상은 일반적으로 광열적 영향(photo-thermal effect)과 광화학적 영향(photo-chemical effect)으로 구분된다. 광열적 영향은 용융, 증발의 메커니즘으로 흔히 용접, 절단 등의 금속 재료 가공에서 나타나며 가공부 주위에 버(Burr)를 포함한 가공 흔적이 남게 된다. 광화학적 가공은 광자에 의해 분자 혹은 원자 사이의 고리가 끊어지는 현상으로 가공부 주위의 변형을 일으키지

않고 가공 형상이 깨끗하여 정밀도가 높다.⁴⁻⁷⁾ 주로 폴리머 등의 고분자 화합물의 가공에 적용되며 재료의 특정 발색단에 의해 광화학 반응을 일으키는 빛의 흡수 파장이 결정되며 흡수 파장대는 재료의 온도나 특정 첨가물에 의해 변할 수 있다.⁸⁾ Fig. 1은 본 연구에 사용된 355nm 펄스 레이저를 이용하여 폴리이미드를 가공하였을 때의 광화학적 가공과 광열적 가공을 비교한 것이다.⁷⁾ Fig. 1(a)는 광화학적 영향에 의해 가공된 것으로 매우 깨끗하며 레이저 빔의 가우시안 에너지 분포에 의해 증앙부가 움푹 파인 형상으로 가공되었다. Fig. 1(b)는 높은 레이저 플루언스 영역에서 광열적 영향이 나타난 것으로 가공부 주위에 용융 흔적이 남아 있음을 알 수 있다.

3. 실험

3.1 장치 구성

본 연구에 사용된 레이저는 DPSS Lasers Inc.의 DPSS(Diode Pumping Solid State) UV 레이저로 Q-switched 펄스 레이저이다. Fig. 2는 시스템 구성도 및 사진이다. 펄스 반복율 30kHz이며 갈바노 스캐너(Galvano scanner)를 이용한 빔 제어 시스템을 도입하였기 때문에 60×60mm 대면적의 고속 가공 시스템을 구현하였다. 레이저 발진기에서 방

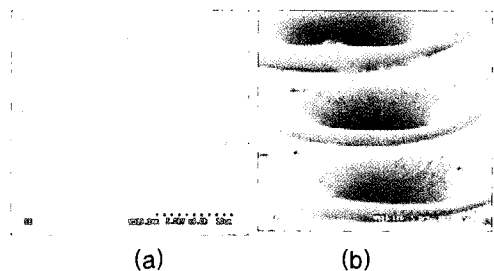


Fig. 1 Polyimide surface ablated by UV laser, (a)photochemical effect, (b)photothermal effect

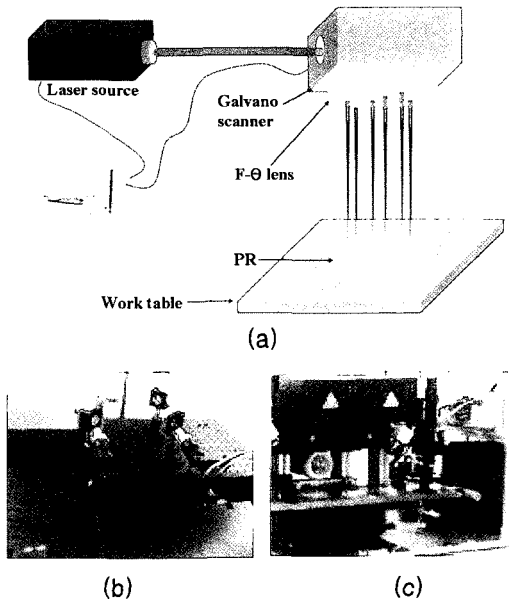


Fig. 2 Laser micromachining system, (a)schematic, (b)optical system, (c)Galvano scanner

사된 레이저 빔은 갈바노 스캐너로 입사된 후 F-θ 렌즈에 의해 초점 크기 (spot size) 20μm로 재료의 표면에 입사된다. 기존의 리소그래피 공정의 마스크를 대신하여 가공 패턴은 CAD 도면의 정보를 컴퓨터가 갈바노 스캐너로 전송하여 레이저의 궤적을 만들어 낸다. 레이저 플루언스(Fluence)와 조사되는 펄스 수를 가공 변수로 하여 가공성의 변화를 광학 현미경 및 SEM으로 관찰하였다.

3.2 가공 재료

3.2.1 AZ5214 감광제

AZ5214는 범용화된 양성 감광제로써 광화학적 특성에 대한 연구는 리소그래피 공정에서 국한되어 있으며 특히 레이저 가공에 대한 연구는 전무하다. AZ5214의 물성치는 Table 1과 같으며 310-420nm 파장대에서 감광도가 좋으며 355nm 파장에 흡수력 (absorptivity) 약 0.7(l/g*cm)이고 리소그래피 공정시 노광 조건이 200mJ/cm² 이하로

Table 1 Physical and optical properties of AZ5214

Boiling point (°C)	134
Freezing point (°C)	not available
Vapor pressure (°C)	not available
Vapor density (°C)	not available
Volatility (%)	71
Viscosity (cSt at 25°C)	24
Spectral sensitivity (nm)	310-420
Absorptivity (l/g*cmat 377nm)	0.76

알려져 있다.⁹⁾

본 연구에서는 우선 UV 레이저에 의한 적절한 가공 조건을 찾는 실험을 통하여 가공특성을 조사하였다. 시편에 조사되는 초점 크기는 직경 20μm로 일정하게 유지하였으며 펄스당 에너지를 나타내는 레이저 플루언스와 조사되는 펄스수를 조절하며 실험하였다.

3.2.2 SU-8 감광제

SU-8은 기계적 성질이 좋기 때문에 MEMS 구조물의 금형 혹은 Bio-MEMS에 응용되기도 하며 습식 식각, 레이저 가공뿐만 아니라 양성자 빔을 이용한 가공까지 많은 연구가 이루어져왔다.¹⁰⁻¹³⁾ SU-8의 물리적 특성은 Table 2과 같다.¹⁴⁾ AZ5214의 경우 끓는점이 134°C인데 반해 SU-8은 유리전이 온도가 210°C로 열저항성이 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 금속 구리의 경우 열팽창 계수가 16.5ppm/K인 것과 비교하면 SU-8은

Table 2 Thermo-physical properties of SU-8

Glass Transition Temp. (Tg °C)	210
Thermal Stability (°C@5% wt. loss)	315
Thermal Conductivity (W/mK)	0.3
Coeff. of Thermal Expansion (ppm/K)	52
Tensile Strength (MPa)	60
Young's modulus (GPa)	4.4
Poisson's coefficient	0.22

52ppm/K로 열팽창 계수도 매우 크다. Fig. 9는 SU-8의 빛의 파장에 대한 투과율로서 320nm 이하의 파장은 투과되지 않으며 345-380nm에서 투과율은 급격하게 증가하여 450nm 이상에서는 거의 100% 투과된다. 그리고 베이킹(baking) 조건에 따라 투과율의 증가폭이 저하되는 것을 알 수 있다. SU-8은 355nm 파장에서 AZ5214에 비해 흡수율이 낮고 녹는점 및 유리화 온도가 높기 때문에 AZ5214와 가공 특성이 다를 수 있다.

가공 시편은 MicroChem Corp.의 SU-8 2050이다. 실리콘 웨이퍼 위에 크롬 1500Å 증착 후 알루미늄 5000Å 증착하고 SU-8을 60μm 두께로 스핀 코팅하였다. 그리고 65°C 2분, 95°C에서 5분 동안 소프트베이킹하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 AZ5214 가공

Fig. 4(a)는 5J/cm² 이상의 높은 플루언스 영역에서 가공된 AZ5214 표면이며 Fig. 4(b), (c)는 AZ5214 제거 후 하부 알루미늄 층 표면으로 AZ5214 가공 이후 알루미늄까지 같이 가공되었음을 알 수 있다. 알루미늄은 355nm 파장의 빛에 대한 반사율이 약 0.8로 높기 때문에 UV 레이저에 의한 가공성이 좋지 않으나 본 실험에서 알루미늄 층까

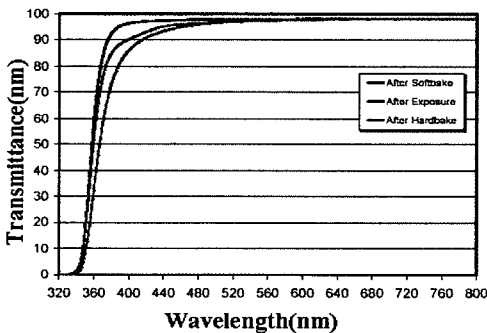


Fig. 3 Optical transmittance of SU-8

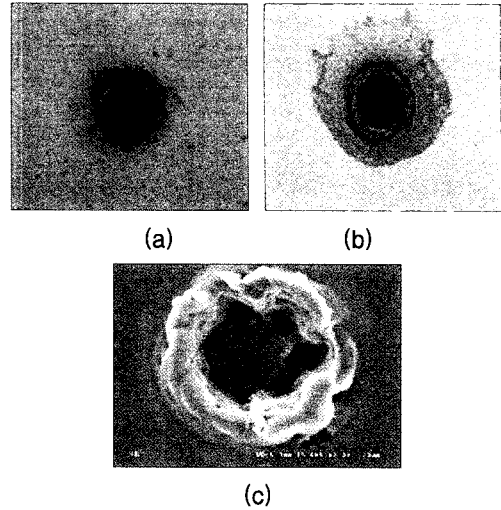


Fig. 4 Experimental results of AZ5214 PR processed at high laser fluence, (a)AZ5214 surface, (b)Al surface after AZ5214 removed, (c)SEM picture of (b)

지 가공이 된 것은 5500Å 두께의 박막이라는 특수성과 PR 제거 시 발생하는 부가적인 열적 영향에 의한 것으로 사료된다. 따라서 UV 레이저에 의한 AZ5214 가공은 하부의 알루미늄의 가공 가능성을 고려해야 하고 열적 영향을 최소화해야 하며 5J/cm² 이하로 낮은 레이저 플루언스 영역에서 조사 펄스수를 증가시켜 반복실험을 통해 최적의 가공 조건을 찾아야 한다.

Fig. 5 (a)는 레이저 플루언스 0.5 J/cm², 30 펄스 조사시 가공 형상이다. 레이저가 조사된 부분에 어블레이션은 일어나지 않았으며 직경 10μm 이하의 약간 부풀어오른 흔적이 관찰되었다. 광화학적 반응보다는 레이저 에너지에 의하여 열적으로 녹은 것으로 사료된다. Fig. 5(b)는 레이저 플루언스 1.0J/cm²으로 30 펄스 조사했을 때 가공 형상이다. 홀 직경은 약 10μm이며 홀 간격(pitch)는 50μm이다. AZ5214 하부의 알루미늄 층이 들어났으며 레이저 어블레이션이 일어났음을 알 수 있다. 그리고 홀 주위에 둔턱 형상의 버가 생겼으며 홀 주위 및 내부까지 서브마이크론 크기의 파편(debris)이

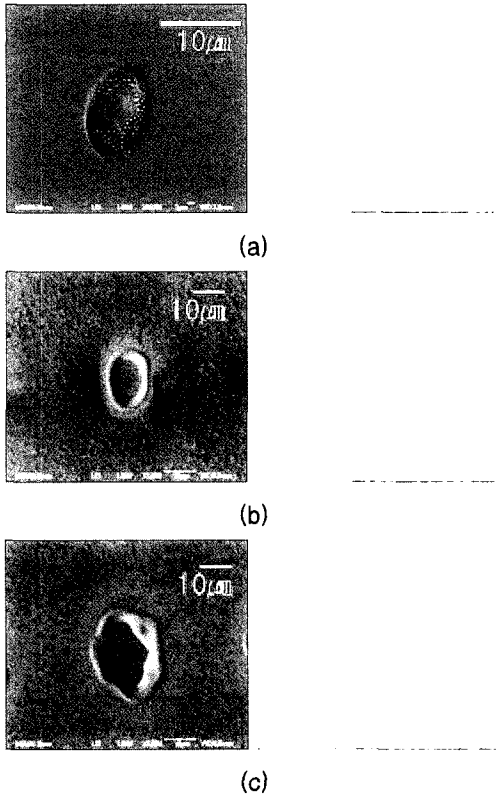


Fig. 5 Experimental results of AZ5214 PR processed by UV laser with 30 shots at laser fluence, (a)0.5 J/cm², (b)1.0 J/cm², (c)3.0 J/cm²

매우 넓게 분포하고 있다. 일반적으로 탄소를 포함하는 폴리머의 레이저 어블레이션 시 제거되는 재료는 폭발 형태로 기체 상태로 날라나가 수 백 μm 범위까지 주위에 증착되어 탄화물을 형성하는 것으로 알려져 있으며 본 실험에서도 파편의 광범위한 분포는 이러한 현상으로 유추된다.¹⁰⁾ Fig. 5(c)는 3.0J/cm², 30 펄스 조사시 가공 형상으로 1.0J/cm²일 때 보다 큰 직경 약 15 μm의 찌그러진 홀 형상이 가공되었다. 이는 레이저 조사 부위의 광열적 영향에 의해 녹은 재료가 어블레이션 시 증발압 혹은 폭발압에 의한 불규칙한 거동 후 응고되어 나타난 형상이라 유추된다. 파편의 분포 또한 1.0J/cm² 일 때보다 조밀하고 더 많이 관찰됨을 알 수 있다.

4.2 SU-8 가공

레이저 플루언스 1J/cm²로 가공시 SU-8의 표면에 변화가 없었으며 약 2J/cm² 이상의 플루언스에서 부풀어 오른 후 가공이 되는 현상이 관찰되었다. 수 J/cm²의 플루언스 영역에서는 조사되는 펄스 수에 의해 가공 깊이의 차이만 있을 뿐 가공성이 거의 비슷하였다. 따라서 약 1.5J/cm² 플루언스에서 부풀어 오르기 시작하며 가공은 1.5J/cm² 이상에서 이루어지는 것으로 판단된다.

레이저 플루언스와 조사되는 펄스 수에 따른 SU-8의 가공 상태를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6(a)는 레이저 플루언스 5J/cm²으로 30펄스 조사하였을 때 사진이다. 표면이 부풀어 올랐으며 직경 약 10 μm의 홀이 가공 되었다. Fig. 6(b)는 레이저 플루언스 10J/cm²으로 30펄스 조사하였을 때 가공 형상이다. 직경 약 20 μm 홀이 가공되었으며 홀의 가장자리 및 내부 표면이 거칠다.

Fig. 7(a)는 355nm 레이저에 대한 SU-8의 가공 형상의 2차원 단면 측정결과이며 (b)는 3차원 표면 형상이다. 그리고 레이저 어블레이션 메커니즘의 개략도를 Fig. 8에 나타내었다. SU-8은 일반적으로 파장 365nm

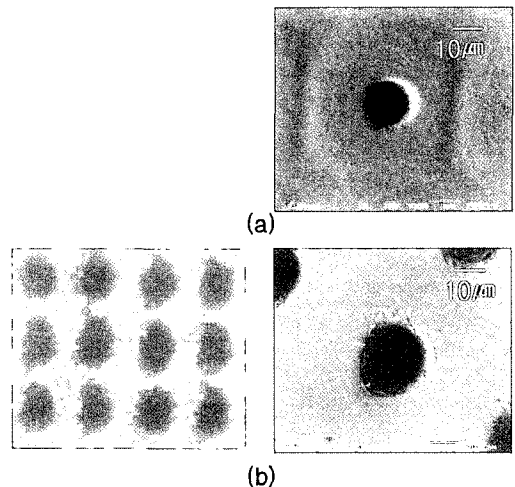


Fig. 6 Experimental results of SU-8 processed by UV laser with 30 shots at laser fluence, (a)5.0 J/cm², (b)10 J/cm²

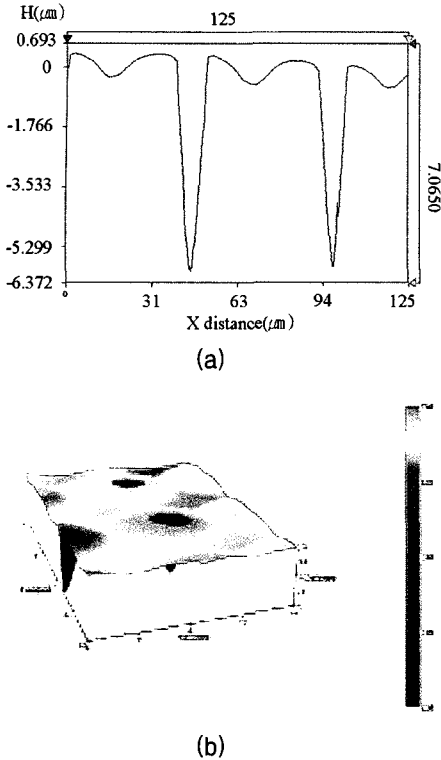


Fig. 7 SU-8 surface profile processed by 355nm UV laser, (a)2D section, (b)3D surface

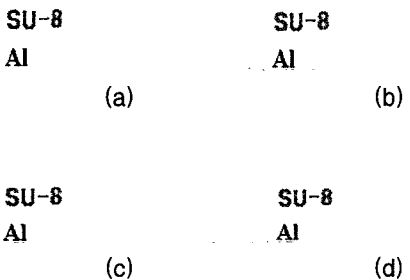


Fig. 8 Ablation mechanism of 355nm UV pulse laser for SU-8, (a)non-processed, (b)thermal expansion and alteration of absorption by the incipient shots (c)photochemical ablation after alteration of absorption, (d)drilled completely by multi-pulses.

빛에 민감하다고 알려져 있으며 Fig. 3에서 보듯이 355nm에서는 흡수율이 낮고 투과율이 높다. 홀이 가공된 것은 온도 상승에 의한 열팽창 이후 SU-8의 흡수율이 변하였기 때문으로 사료된다. Fig. 3에서 보듯이 SU-8은 베이킹 이후 온도가 높아지면 340-440nm 파장 사이에서 투과율이 미세하게 낮아지며 흡수되는 빛의 파장대가 넓어진다. 즉 다(多)펄스 가공 중 초기에 조사된 펄스는 SU-8의 온도를 상승시키며 355nm 파장의 빛에 민감하게 반응하는, 즉 광화학 분해를 일으키는 흡수율을 가지는 특정 온도에 도달하면 그 때부터 조사되는 레이저 펄스는 SU-8의 광화학적 어블레이션을 일으킨다.

5. 결 론

본 논문에서는 LDWL을 위해 355nm UV 펄스 레이저를 이용하여 AZ5214 및 SU-8 포토레지스트를 직접 가공하고 그 현상을 분석하였다.

AZ5214 감광제의 경우 레이저 플루언스 1.0J/cm²로 30펄스 조사하여 약 10μm의 깨끗한 홀 가공이 이루어졌지만 광열적 영향이 지배적으로 나타났으며 가공부 내부 및 주위에 광범위하게 파편이 관찰되었다. 따라서 10μm 이상급 선평의 LDWL 적용이 가능하리라 예상된다.

SU-8은 온도 상승에 의해 부풀어 오르고 흡수되는 빛의 파장대가 넓어지며 355nm 레이저에 대하여 광화학적 반응이 지배적인 특정 온도에서 이르면 그 이후 어블레이션이 일어남을 확인하였다. 실험적으로 레이저 플루언스 1.5J/cm² 이상에서 SU-8 표면은 부풀어 오르기 시작하여 3J/cm² 이상에서는 광화학적 분해가 지배적으로 나타나 좋은 가공성을 나타내었으며 직경 10μm 이하까지 가공이 가능하였다. 따라서 SU-8은 355nm 레이저를 이용한 서브 마이크로급의

정교한 LDWL에 적합하다고 판단되며 향후 연구가 더 진행될 계획이다.

6. 후 기

본 연구는 산업자원부 지원 핵심기술개발사업인 “첨단레이저 응용 미세가공기술 개발” 과제의 지원으로 수행된 것입니다.

참 고 문 헌

1. Semchuk, O.Yu., Semioshko, V.N. and Grechko, L.G., “Laser Ablation Lithography on Thermoelectric Semiconductor,” *Applied Surface Science*, 252, 4759-4762, 2006.
2. Forsen, E., Carlberg, P., Montelius, L. and Boisen, A., “Laser Lithography on Resist Bi-layer for Nanoelectromechanical Systems Prototyping,” *Microelectronic Engineering*, 73-74, 491-495, 2004.
3. Seltmann, R., Doleschal, W., Gehner, A., Kück, H., Melcher, R., Paufler, J. and Zimmer, G., “New System for Fast Submicron Optical Direct Writing,” *Microelectronic Engineering*, 30, 123-127, 1996.
4. Kim, J.G., Chang, W.S., Shin, B.S., Chang, J.W. and Whang, K.H., “Blind Via Hole Drilling Using DPSS UV Laser”, *Journal of Korean Society of Laser Processing*, Vol.6 No.1, pp. 9-16, 2003.
5. Oh, J.Y. and Shin, B.S., “Rapid Manufacturing of Laser Micro-Patterning Using Fixed Masks”, *Journal of Korean Society of Laser Processing*, Vol.9, No.1, pp. 17-23, 2006.
6. Yoon, K.K. and Bang, S.Y., “Modeling of polymer ablation with excimer lasers,” *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 22, No. 9, pp. 60-68, 2005.
7. Shin, B.S., Oh, J.Y. and Sohn, H., “Theoretical and experimental investigations into laser ablation of polyimide and copper films with 355-nm Nd:YVO4 laser”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 187-188, pp. 260-263, 2007.
8. 최주환, 박용성, “UV-Vis 및 원자흡수 분광분석법”, 우용출판사, pp. 43-49, 1998.
9. http://www.microchemicals.com/micro/az_5214e.pdf.
10. Wong, D., Tan, T.L., Lee, P., Rawat, R.S. and Patran, A., “Study of X-ray Lithographic Conditions for SU-8 by Fourier Transform Infrared Spectroscopy,” *Microelectronic Engineering*, 83, 1912-1917, 2006.
11. Ghantasala, M.K., Hayes, J.P., Harvey, E.C. and Sood, D.K., “Patterning, Electroplating and Removal of SU-8 Moulds by Excimer Laser Micro-machining,” *Journal of Micro-mechanics and Microengineering*, 11, 133-139, 2001.
12. Simcic, J., Pelicon, P., Rupnik, Z., Mihelic, M. and Razpet, A., “3D Micro-machining of SU-8 polymer with Proton Microbeam,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 241, 479-485, 2005.
13. Key, M.J., Cindro, V. and Lozano, M., “On the Radiation Tolerance of SU-8, a New Material for Gaseous Micro-

structure Radiation Detector Fabrication,”
Radiation Physics and Chemistry, 71,
1003-1007, 2004.

14. <http://www.geocities.com/guerinj/>.