

SLS형 패속조형기를 이용한 미세구조 몰드 제작

유흥진 · 김동학 · 장석원* · 김태완**

Fabrication of micro structure mold using SLS Rapid Prototyping

Hong-Jin Yoo, Dong-Hak Kim, S. W. Jang* and Tae Wan Kim**

요약 Nano size 몰드의 제작은 X-ray lithography 방법을 이용하여 몰드를 제작하고, micro size의 경우 Deep UV lithography 방법을 이용하여 몰드를 제작하고 있다. 본 연구에서는 SLS(Selective Laser Sintering)형 RP(Rapid Prototyping System)을 이용하여 미세구조 몰드를 제작하였으며, 패턴의 깊이는 400 μm 까지 구현하였다. 제작된 몰드의 강도와 내열성을 높이기 위하여 전해도금을 이용하여 몰드의 표면에 Ni를 300 μm 생성 시켰다.

Abstract By this time, a mold with nano size pattern was produced using a fabrication of X-ray lithography method and in a micro size's case it was produced using fabrication of Deep UV lithography. In this paper, we produced mold with 400 μm depth pattern using a new technology of SLS(Selective Laser Sintering) Rapid Prototyping method. In addition to enhance strength and thermal stability, we produced Ni structure with a thickness of 300 μm on a surface of mold using electro forming method.

Key Words : Rapid Prototyping, micro structure mold, Ni electroforming

1. 서 론

리소그래피(Lithography)기술은 마스크에 그려져 있는 제작될 마이크로머신의 평면형상을 실리콘 웨이퍼상에 옮겨놓는 사진식각공정을 의미한다. 일반적으로 반도체 IC의 제작공정에서 기본적인 공정에 해당하며 반도체 산업의 발달과 함께 발전되고 있으며 한 장의 실리콘 웨이퍼로부터 수많은 동일한 칩의 생산이 가능한 기술이다. 일반적인 리소그래피 공정 단계는 우선 웨이퍼 표면에 실리콘 산화막을 형성시키고 감광제(photoresist)를 도포 시킨 후 웨이퍼를 오븐에서 경화시킨다. 그 후 UV나 X-ray 광원에 mask의 패턴을 웨이퍼상의 PR에 노광을 시키고 웨이퍼에 원하는 감광제 패턴이 남도록 현상해 준다. 그 다음 PR를 차단재로 아래 부분의 산화막층을 식각(etching)한 후, PR를 제거하면 마스크 상이 결국 산화막 층의 상으로 마스크와 같은 패턴으로 웨이퍼 위에 만들어진다[1]. 이러한 리소그래피 기술에 의한 패턴의 재현이 대부분 마이크로가공기술의 기본이 되고 있다. 리소그래피 응용기술로 현재 각광받고 있는 LIGA(Lithography Galvanoformung

Abforung)공정은 수 Å 정도의 짧은 파장을 갖는 고에너지 X-선을 이용하여 초소형, 초정밀 금형 및 3차원 구조물을 일괄 가공하는 기술이다. X-ray lithography, 전해도금기술(electroforming), 정밀사출성형기술의 기본 공정으로 이루어져 있으며 높은 종횡비를 갖는 미세 구조물을 제작한다. 또한 LIGA-like 공정은 X-선 노광 대신 UV 광원을 이용하고, PR로 도금층을 형성하고 금속구조물을 도금한다. UV 광원을 이용하기 때문에 LIGA 공정 보다 낮은 구조물을 제작한다[2,3,4].

기존 산업계에 사용되는 기어, 모터, 릴레이, 스템퍼 등 미세구조물은 나노 단위의 미세구조를 갖는 경우는 e-beam evaporation을 이용한 quartz 마스크의 제작이 아직까지 원활하지 않은 상태이지만 마이크로 사이즈의 경우는 수백 마이크로에서 수십 마이크로까지 마스크의 제작이 자유롭다. 그러나 포토마스크의 제작 단가는 수십 만원에서 수 백 만원에 이르기 때문에 그 제작에 있어서 신중을 기해야 하며, 포토리소그래피 공정 또한 노광 공정을 이용하기 때문에 쉽게 그 조건을 잡기가 어렵다. 마이크로 구조물의 도금을 위해서는 thick PR이 사용되는데, 일반적으로 thick PR의 경우는 도포, 경화, 노광, 현상 조건 등 여러 까다로운 공정 조건의 해결이 선행되어야 하기 때문이다. Fig. 1은 리소그래피 공정과 SLS형 패속조형기(Rapid Prototyping)을 이용

순천향대학교 공과대학 신소재화학공학부

*순천향대 공과대학 정보기술공학부

**순천향대학교 신가공기술혁신센터

2. 실험

2.1 미세구조를 지닌 몰드 설계

RP를 이용한 미세구조 몰드의 제작 가능성을 확인하기 위하여 3D CAD 프로그램(CATIA)으로 Fig. 2와 같은 다양한 선폭을 가진 4 인치 웨이퍼 규격으로 설계하였다. 패턴은 음각형상으로 선폭은 폭이 가장 작은 50 μm 의 선폭과 100 μm 에서 각각 100 μm 씩 커져 최대 1.2 mm까지 13개의 선으로 구성되어 있고, 패턴의 길이는 8 mm로 동일하다. 깊이는 상층부터 200 μm , 400 μm , 600 μm , 800 μm , 1.0 mm의 순으로 설계하였다.

2.2 RP를 이용한 몰드 제작

2.2.1 SLS형 RP의 제작방법

본 실험에 사용된 RP는 SLS(Selective Laser Sintering) 방식의 Sinterstation 2500 plus(미, 3D system 사)였다. 설계된 몰드는 Buildsetup 소프트웨어를 이용하여 수축률 및 오차보정으로 STL 파일로 재해석하였다. 재료는 분말형태의 DuraForm PA를 사용하였고, Table 1은 DuraForm PA의 특성을 나타내었다. 빌드챔버는 381(W) \times 330(D) \times 457(H)의 크기이며 좌우측에는 재료공급을 하는 카트리지가 있다. 제작순서는 챔버 안에 질소를 충전 하여 산소를 5.5% 이내로 제거시켰고, 챔버 분위기 온도는 130~135 $^{\circ}\text{C}$ 로 예열시켰다. 제작 전 처리 공정이 끝난 후, 25 W CO₂ 레이저를 사용하여 100 μm 씩 슬라이스된 테이타에 지름이 50 μm 인 빔을 조사시켜 분말형태의 재료를 광학반응으로 소결시켰다. 소결이 끝나면 연속적으로 빌드챔버는 100 μm 씩 내려가고, 롤러를 이용하여 좌우측 카트리지 내의 재료의 일정량을 빌드챔버에 공급하였다. 새롭게 빌드챔버 내에 채워진 재료는 다시 레이저로 슬라이스된 단면형상을 조사하여 소결하는 방식으로 한층 한층 씩 적층하여 미세구조물을 제작하였다.

2.2.2 DuraForm PA 몰드 제작조건

본 실험에서는 최적화 조건인 136 $^{\circ}\text{C}$ 의 공정온도와

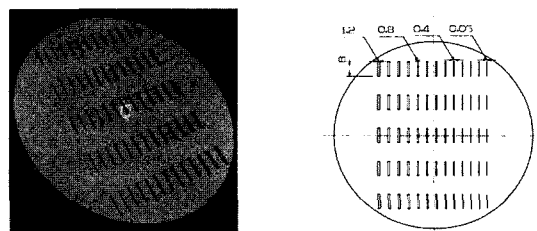


Fig. 2. Design of the DuraForm PA mold

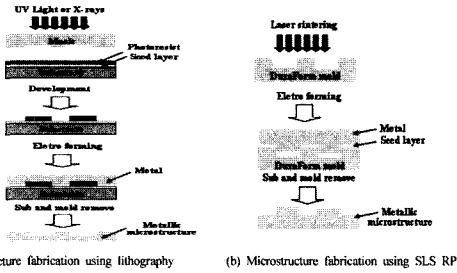


Fig. 1. Schematic of microstructure fabrication methods

한 미세구조물 제작공정도이다.

패속조형기(Rapid Prototyping)를 이용한 제품의 제작은 동시공학(concurrent engineer)적 차원에서 유용한 공법이다[5]. 현재 플라스틱 산업분야 외에도 정밀주조품 제작, 의료분야와 디자인 산업분야 등에도 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다[6,7,8]. 그러나 미세구조물 가공 분야에서는 아직 연구가 미흡한 실정이다. 미세구조물 제작에 RP를 이용할 경우, 포토마스크의 제작이 필요하지 않으므로 마스크 제작비용과 제작시간을 획기적인 수준으로 절감할 수 있을 것이다. 부가적으로 기존 제작기술로는 구현하지 못했던 입체구조, 일체제작 등이 가능하다. 그러나 실제 산업계에 적용하기 위해서는 형상정밀도에 영향을 주는 공정변수 등 여러 가지 선결조건들이 해결되어야 한다. 제품의 형상과 밀접한 대표적인 공정변수들은 적층두께, 배치각, 공정온도, 레이저 파워, 재료의 상태 등이 있다. 재료의 적층두께는 적을수록 형상정밀도는 향상되지만 제작시간과 제작비용은 비례하여 증가하게 된다. 제품의 배치각은 슬라이스된 제품의 단면적과 밀접한 관계가 있다. 단면적이 넓을 경우 로울러로 재료를 공급할 때 이동되는 재료의 양이 부족하게 되어 공급이 되지 않는 부분이 발생할 수 있다. 따라서 일반적으로 수평면에서 형상에 따라 대략 5~15 $^{\circ}$ 정도 기울이면 슬라이스된 데이터의 단면적이 줄어들어 재료가 부족한 현상을 방지할 수 있다. 그러나 배치각이 커질수록 제품표면에 계단모양의 경사면이 나타나 원형의 제품이나 높은 표면조도를 요구하는 제품의 경우에는 배치각을 주지 않고 제작하기도 한다[9].

본 연구에서는 미세구조물 제작 시 여러 까다로운 선행 조건을 거치지 않고 자유로운 형상을 구현할 수 있는 SLS형 RP로 미세구조물을 제작하여 공정변수에 따른 DuraForm PA 몰드의 형상정밀도를 분석하였고, 전해도금을 통해 사출성형용 스템퍼 적용 가능성에 조사해 보았다.

Table 1. Properties of DuraForm PA

Powder property	Value
MSDS	DuraForm Polyamide
Specific gravity	0.97
Powder density	0.59 g/cm ³
Average particle size	58 μm
Particle size range, 90%	25~92 μm
Melting point	184°C
Part property(SLS processed)	Value
Tensile strength at yield	43 MPa
Tensile modulus	1517 MPa
Tensile elongation at break	8 %
Impact strength(Notched Izod)	216 J/m
Chemical resistance	Alkalines, hydrocarbons, fuel and solvent

11 W의 레이저 파워와 범용적으로 사용되고 있는 100 μm의 적층두께를 사용하여 DuraForm PA 몰드를 제작하였다. 재료는 한번도 사용하지 않은 new powder와 1회 이상 재사용된 old powder를 사용했고, 배치각은 각각 0°와 5°로 설정하여 제작하였다.

2.3 DuraForm PA 몰드 분석

DuraForm PA 몰드의 표면조도를 측정하기 위해 제작이 완료된 몰드를 100번과 150번 연마지를 이용하여 표면을 연마한 후, Surface Roughness Meter를 사용하여 Ra 값을 측정하였다. 패틴 깊이는 접촉스터일러스식 SURFTEST SV-600을 사용하여 400 μm의 깊이로 파진 패틴들을 측정하였다.

2.4 스탬퍼 제작 가능성을 위한 도금성 평가

Duraform PA 몰드 표면에 도금을 위한 seed layer는 Thermal Evaporation System을 이용하여 Au 층을 3000 Å 증착 하였으며, 표면과 Au 층의 접착 향상을 위하여 Ni-Cr을 300 Å 증착하였다[10]. Duraform PA 몰드의 표면에 전해도금으로 Ni 표면을 생성 시켰다. 전해도금의 목적은 Duraform PA 자체의 경도로서는 유압 프레스 및 사출 성형기에서 사용하고자 하는 압력과 온도의 범위에서 안정적이지 못하기 때문에 Ni 전해도금을 이용하여 강도 및 내열성을 보완해 스탬퍼 제작 가능성을 파악하기 위함이다. Ni 도금을 위한 도금액의 조성비는 NiSO₄ · 6H₂O가 240 g/L, NiCl₂ · 6H₂O는 40 g/L, H₃BO₃는 30 g/L 이며 saccharine는 8 g/L이다.

Table 2. Condition of Ni forming fabrication

Condition	Value
Anode	99.9 % Ni
pH	4.5 - 5.5
Temperature	50°C
J pulse	80 mA/cm ²
J avg.	40 mA/cm ²
Duty ratio	50 %
Frequency	100 Hz
Growth rate	0.6 μm/min
Agitation	performed

Table 2는 도금공정 조건을 나타내었다. Ni 도금의 온도 및 산성도가 도금의 균일도에 영향을 미치기 때문에 이에 도금조의 온도를 50°C에 고정하기 위하여 도금용액에 히터를 장착 하였으며, 산성도의 유지를 위하여 순환 펌프를 이용하여 용액을 순환하였다[11].

Ni 도금의 온도 및 산성도가 도금의 균일도에 영향을 미치기 때문에 이에 도금조의 온도를 50°C에 고정하기 위하여 도금용액에 히터를 장착 하였으며, 산성도의 유지를 위하여 순환 펌프를 이용하여 용액을 순환하였다. 도금된 Ni의 두께는 도금두께 측정기(PE-10M)을 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 배치각과 재료에 따른 DuraForm PA 몰드의 표면조도와 형상분석

DuraForm PA 몰드의 표면조도는 Ni을 전해도금 할 때 표면거칠기와 전류밀도에 밀접한 관계가 있다. Ni 표면조도는 저전류에서 전해도금으로 향상시킬 수 있지만 DuraForm PA 몰드의 표면조도가 균일하고 좋을수록 향상된다. Table 3은 Duraform PA 몰드 제작 시 배치각과 재료의 상태에 따라 측정된 표면거칠기 값을 나타냈다. Duraform PA 몰드의 표면조도는 재료의 상태가 new powder이고, 배치각이 0° 일 때 6.64 μm으로 가장 좋았고, 재료의 상태가 old powder이고, 배치각이 5° 일 때 표면조도는 가장 나빴다. 배치각은 소결된 층과 그 다음 소결된 층 사이에 계단무늬 형상을 생성시켰고, 이는 몰드의 표면거칠기를 증가시켰다. 재료 하나의 평균입자크기는 58 μm이며 제작 시 2~3개 층을 통과하여 입자에 레이저가 주사된다. 제작에 한번 이상 사용되어 레이저 광원과 고온의 제작온도에 노출된 재

Table 3. Surface roughness for alignment angle and material quality

Material condition	New powder		Old powder	
Alignment angle	0°	5°	0°	5°
Ra(μm)	6.64	8.20	7.41	9.28

료는 입자형태가 new powder 일 때 보다 균일하지 못하고 불규칙한 형상으로 이웃하는 입자와 결합형태로 분포되어 있어 형상정밀도와 표면조도에 나쁜 영향을 미쳤다. Fig. 3~6은 패턴의 깊이가 400 μm 일 때 배치각과 재료에 따른 설계된 패턴의 깊이에 대한 분석결과이다. 그래프의 가장 왼쪽부분의 선폭은 0.05 mm이며 그 다음부터 100 μm에서 선폭이 100 μm씩 증가되어 1.2 mm 까지 13개의 선폭을 나타내고 있다. 재료의 상태가 new powder이고, 배치각이 0° 일때 패턴의 깊이가 모든 선폭에서 균일하게 400 μm에 근접함을 알 수 있다. 다른 조건에서는 설계치 깊이인 400 μm 보다 깊이가 적게 파져있는 형상으로 관찰되었다. 재료의 상태가 new powder이고 배치각이 0° 일 때 표면조도와 패턴의 깊이가 다른 제작조건에 비해 최적의 형상을 얻었고, 이 조건으로 제작한 DuraForm PA 몰드를 Ni 전해도금 공정에 사용하여 Ni 몰드를 제작하였다.

기존 마스크의 경우 수 마이크로 패턴의 전사까지 가능하지만, RP는 사용되는 laser의 빔과 분말재료의 크기에 따라 패턴의 형상정밀도가 결정되는 단점이 있지만 MEMS의 여러 분야에서 적용될 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 마스크 대체를 위해서는 DuraForm PA 몰드의 표면 거칠기 향상이 이루어져야 한다. 표면 거칠기 및 단차가 마이크로 크기를 유지 할 수 있다면 shadow mask 및 미세구조물 제작에서 유용하게 사용될 수 있다.

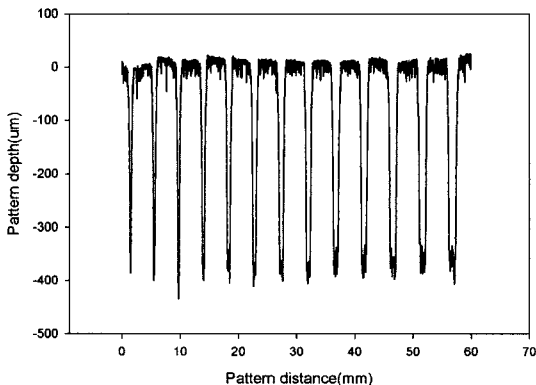


Fig. 3. Pattern depth of Duraform PA mold(new powder, alignment angle : 0°)

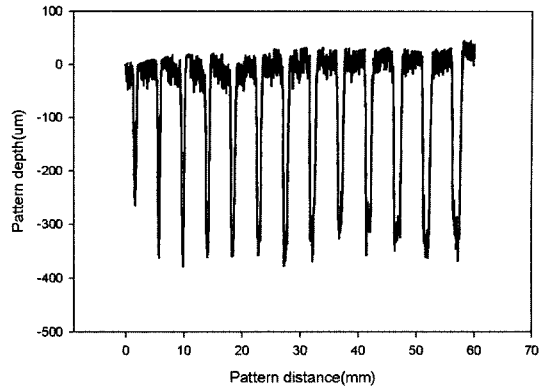


Fig. 4. Pattern depth of Duraform PA mold(new powder, alignment angle : 5°)

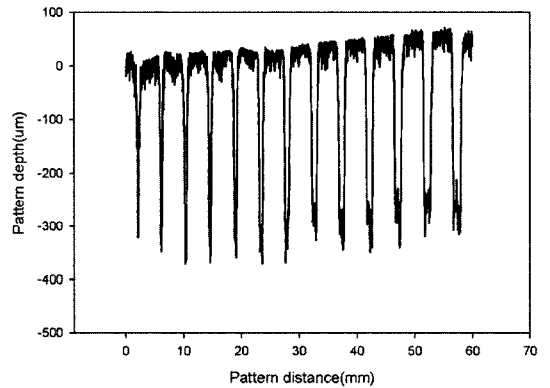


Fig. 5. Pattern depth of Duraform PA mold(old powder, alignment angle : 0°)

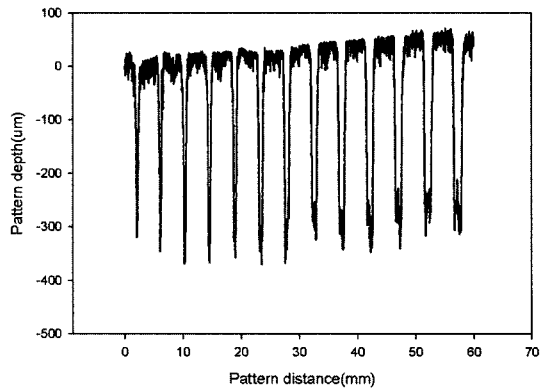


Fig. 6. Pattern depth of Duraform PA mold(old powder, alignment angle : 5°)

3.2 Ni 몰드 분석

도금된 Ni의 측정 결과는 Fig. 7에서 보여주고 있고,

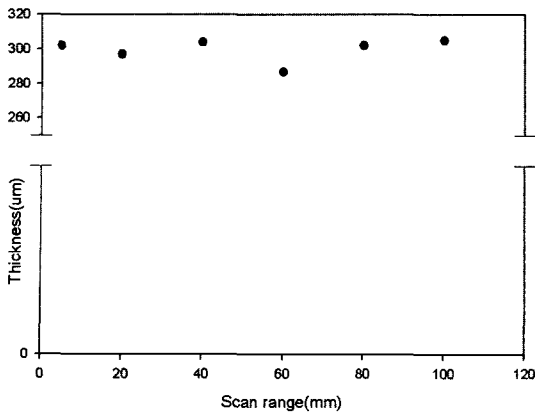


Fig. 7. Thickness of Ni mold

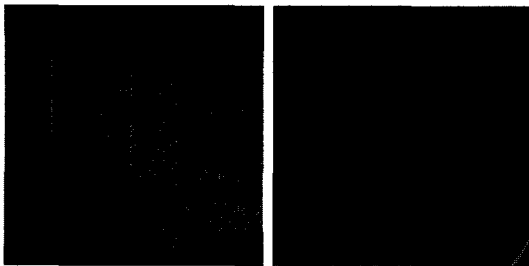


Fig. 8. Image of DuraForm PA and Ni mold

Fig. 8은 RP로 제작한 DuraForm PA 몰드와 표면에 Ni를 전해도금한 몰드의 이미지이다. 전체 측정 범위는 제작된 몰드의 크기와 동일하며, 도금 두께 측정기를 20 mm 간격으로 사용하여 전 범위를 측정하였다. 측정 결과 Ni의 두께는 300 µm로서 전체 면적에 대한 평균도는 최대 ± 15 µm 내외였다. Ni 몰드는 DuraForm PA 몰드와 같은 음각형태이지만 Ni의 두께 조절을 이용하여 표면의 Ni의 두께가 mm 가 되고, 이형처리로 DuraForm PA 몰드와 Ni의 분리가 쉽게 이루어지면 미세구조를 제작할 수 있는 스템퍼로도 적용 될 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 SLS형 RP를 이용하여 패턴의 깊이가 400 µm인 플라스틱 미세구조물을 제작하였고, Ni 전해도금으로 금속 미세구조물을 제작하였다. DuraForm

PA 몰드는 재료가 new powder이고, 배치각이 0° 일 때 표면조도가 가장 좋았으며, 400 µm 패턴의 깊이도 다른 공정변수들 보다 균일하게 형성되었다. 전해도금된 Ni층의 두께는 약 300 µm로 일정한 도금두께 층을 형성하였다.

참고문헌

- [1] 최현태, “반도체 노광공정기술과 장비소개”, J. Basic Sci. Res. Kyungsan Univ. Vol. 7, No. 1, pp. 99-106, 2003.
- [2] 이종덕, “실리콘 집적회로 공정기술, V. 사진식각 공정”, 1985.
- [3] R. K. Watts and J. H. Bruning, “Review of Fine-Line Lithography Technique: Present and future” Solid-State Technology, 24, pp. 99-105, May, 1991.
- [4] Satoshi Konishi, Kazuhiro Honsho, “Direct drawing method for microfabrication based on selective metal plating technology”, Sensors and Actuators, A 103 pp.135-142, 2003.
- [5] Chua Chee Kai, Lenog Kah Fai “Rapid Prototyping”, John Wiley & Sons, pp. 7-9, 1997.
- [6] Qingbin Liu, guanghua Sui, M.C. Leu “Experimental study on the ice pattern fabrication for the investment casting by rapid freeze prototyping(RFP)” Computers in Industry Vol. 48, pp. 181-197, 2002.
- [7] 주영철, 송오성 “쾌속조형 듀라폼몰드와 저융합점합금을 이용한 주얼리용 마스터패턴 제작에 관한 연구” 한국구조공학회지 Vol. 9, No. 5, pp. 265-270, 2002.
- [8] 주영철, 김태완 “쾌속조형기를 이용한 정밀주조물의 쾌속제작에 관한 연구” 산학기술학회 춘계학술발표 논문집 Vol. 3, No. 1, pp.49-51, 2002.
- [9] 주영철, 송오성 “쾌속조형 듀라폼 성형체에서의 배치각 변화에 따른 주얼리주조모형의 형상요소변화” 한국구조공학회지 Vol. 21, No. 5, pp. 290-295, 2002.
- [10] Daniel J. Sadler, Trifon M, Liakopoulos, and Chong H. Ahn, “A universal electromagnetic microactuator using magnetic interconnection concepts”, Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 9, No. 4, pp. 460-468, 2000.
- [11] Jun Bo Yoon, Chul Hi Han, euisik yoon and Choong Ki Kim, “Nonlithotic fabrication of electroplated solenoid inductors using thick photoresist”, Jpn. J. Appl. Phys, vol. 37, pp. 7081-7085, 1998.