

Mn-Zn 페라이트의 레이저 유도 열화학 습식식각

10-7-4

Laser-Induced Thermochemical Wet Etching of Mn-Zn Ferrite

이경철*, 이 천*

(Kyoung-Cheoul Lee, Cheon Lee)

Abstract

A Single-crystalline Mn-Zn Ferrite (110 orientation) was masklessly etched by focused Ar⁺ laser irradiation in an H₃PO₄ solution. The depth of the etched grooves increases with increasing a laser power, decreasing a scan speed, and increasing the H₃PO₄ concentration. The width of the etched grooves increases with a increasing laser power, but was relatively insensitive to the scan speed and H₃PO₄ concentration. High etching rate of up to 714 μm/s and an aspect ratio of 6 for vertical slab structure have been obtained by the light-guiding effect of the laser beam in the H₃PO₄ solution.

Key Words(중요용어) : Mn-Zn ferrite(Mn-Zn 페라이트), Maskless process(無 마스크 공정), Etching rate (식각율), Aspect ratio(중형비), Light-guiding effect(광 유도 효과)

1. 서 론

레이저 유도 프로세스는 가공 재료의 표면 손상이 적고 공정이 간단하기 때문에 금속, 절연체, 반도체 혹은 유기재료 등의 미세가공에 많이 이용되고 있다.¹⁻³⁾ 지금까지 VTR 용 자기헤드, FDD, HDD 용 헤드의 주 재료로 사용되는 페라이트의 미세가공은 기계적인 프로세스나 습식화학식각 (wet chemical etching) 을 이용하였으나, 자기기록용량의 증대에 따른 트랙 가공의 미세화, 고정밀화, 생산효율 향상 등이 문제가 되고있다. 또한 헤드 gap 부분에 특수 glass 가 있기 때문에 가공이 같은 속도로 진행되지 않는다. 이 때문에 gap 부분이 너무 깊게 에칭되어 고정밀도를 유지하는 것은 불가능하고 특히 재현성이 나쁘다. 이와같이 헤드의 폭이 점점 밀착되어 고정밀 가공이 요구되고 있지만 페라이트가 본래 깨지기 쉽고, 화학적인 반응성이 대단히 낮기 때문에 종래의 가공법으로는 한계가 발생하게 되었다.⁴⁾ 따라서 최근 종래의 가공법의 한계를 극복할 것으로 기대되는 집속 레이저 빔에 의한 페라이트의 직접식각에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 표 1은

종래의 가공법과 레이저 유도 프로세스를 비교한 것이다. 화학 식각은 동시에 다수의 가공을 행할 수 있지만 가공속도가 레이저 가공의 1만분의 1 이하로 대단히 느리다.⁵⁾ 레이저 유도 프로세스는 속도, 정밀도, 중형비가 모두 뛰어나며 표면손상도 적다.⁶⁾ 본 연구에서는 레이저 유도 열화학 습식식각에 의해 Mn-Zn 페라이트를 미세가공하여, 식각특성을 해석하고 높은 식각율과 큰 중형비를 얻을 수 있는 최적의 가공조건을 제시하고자 한다.

표 1. 종래의 가공법과 레이저 유도 프로세스의 비교

Table 1. Comparison between conventional method and laser induced process

Variables Process Method	Speed	Precision	Aspect Ratio	Process Damage
Mechanical method	high	low	low	high
Chemical wet etch	low	high	low	low
Laser-induced process	high	high	high	low

* : 인하대학교 전기공학과
 접수일자 : 1997년 4월 12일
 심사완료 : 1997년 6월 5일

2. 실험

본 연구에 사용된 시료는 다결정 또는 무결정 페라이트에 비해 내 저항성이 크고, 전자기적 특성이 좋은 단결정의 Mn-Zn 페라이트 (MnO : ZnO : Fe₂O₃ = 29.5 : 18.5 : 52) 로서 입자 크기가 작기 때문에 미세가공에도 적절하다. 이 단결정 페라이트는 Adaptive Bridgman 법에 의해 성장 시킨 것이고, (110) 결정 방향을 갖는다.

그림 1은 본 연구에서 사용된 실험장치의 개략적인 그림이다.

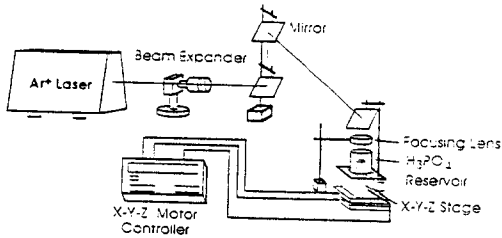


그림 1. 실험장치의 개략도

Fig 1. Schematic diagram of experimental system

아르곤 이온 레이저 (파장=514 nm) 를 빔 확장기 (expander) 와 집속렌즈 (focusing lens) 를 이용하여 빔을 직경 1.8 μm 로 집속 하였다. 또한 시료위로 레이저 빔을 주사하기 위해 3축이 이동가능한 x-y-z controller 와 stage 를 이용하고 스테이지 위에 시료를 고정시킨 반응용기를 올려 놓고 이동시켰다. 반응용기는 알칼리나 산과 같은 반응용액에 의한 부식을 방지하기 위해 테프론 으로 제작을 하였으며, 반응용액으로는 인산(H₃PO₄) 수용액 30~85 % 를 사용하였다. 식각된 홈의 깊이, 넓이, 단면모양을 관찰하기 위해 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

시료의 온도상승 특성을 계산하기 위해 3차원 열전도 방정식을 이용하여 시뮬레이션하였다.^{7),8)} 레이저 유도 프로세스에 의한 시료 표면의 온도분포는 식각반응에 대단히 중요하나, 국소지역에서 발생하고 시간에 따라 변화하기 때문에 측정하기가 대단히 어렵다. 그러므로 시료 표면의 온도 변화를 추정하는 것은 대단히 중요하다.

그림 2는 단결정 Mn-Zn 페라이트의 입사되는 레

이저 빔의 출력에 따른 국소부분의 온도변화를 나타낸다.

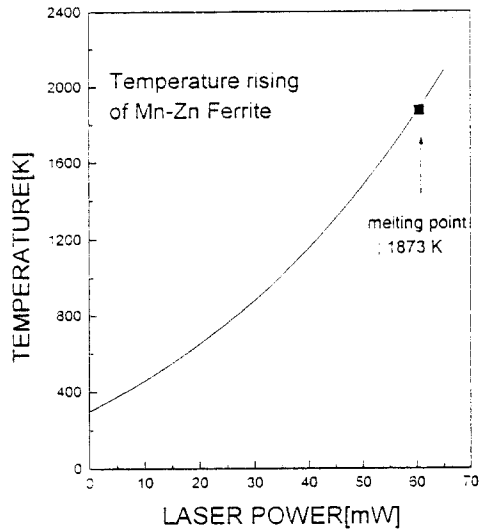
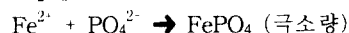
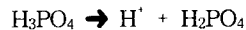
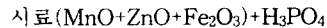


그림 2. 단결정 페라이트의 입사되는 레이저 출력 크기에 따른 국부 온도변화

Fig. 2. Local temperature as a function of incident laser power for single crystal Mn-Zn ferrite

3.1 레이저 유도 열화학 반응메커니즘

집속된 레이저 빔이 시료표면에 조사되면 국부적인 온도상승에 의해 시료표면에 열응력 (thermal stress)이 생성된다. 또한 그 주위의 반응용액이 활성화 되어 활성화된 반응용액과 시료표면의 화학 반응으로 표면의 원자들이 제거가 된다. 시료표면과 반응용액 사이의 화학적 반응식은 다음과 같다.

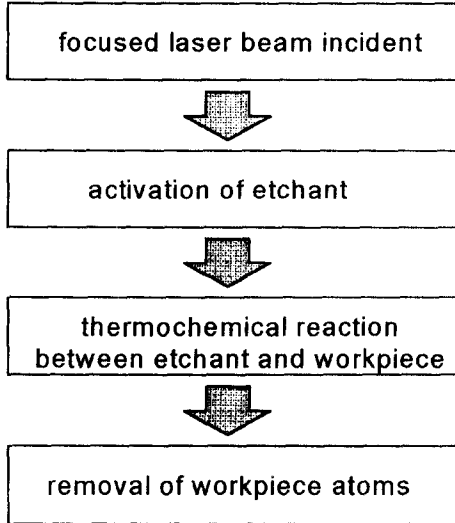


레이저 빔에 의한 시료의 국부 온도상승에 의해 인산수용액은 H⁺ 와 H₂PO₄ 로 이온화되고 수소 반응기(反應基)가 MnO 와 ZnO 와 결합하는 산화-환원 반응을 일으켜 시료표면의 원자들을 제거한다. 레이저 빔에 의해 국부적으로 가열된 부분의 용액은 열에 의한 확산속도가 빨라지게 되고 주변의 새로운

용액으로 교체되어 레이저 유도 식각이 진행된다. 표 2는 레이저 유도 프로세스의 반응순서를 나타낸다.

표 2. 레이저 유도 프로세스의 반응 순서

Table 2. Reaction mechanism of laser induced process



페라이트는 Si 이나 GaAs 와 같은 반도체 보다 열 팽창계수가 작고 열전도도가 낮기 때문에, 레이저 빔 조사에 의한 온도상승과 온도구배에 따른 열 응력(thermal stress) 이 크다. 따라서 레이저 유도에 의한 페라이트의 식각율은 Si 과 GaAs 에 비해 클 것이라 기대된다.

3.2 Mn-Zn 페라이트의 레이저 유도 식각의 특성

그림 3은 레이저 출력 400 mW, 주사속도 15 $\mu\text{m/s}$, 인산수용액 65 % 에서 레이저 유도에 의한 페라이트의 식각결과 얻어진 홈의 SEM 단면사진이다. 식각된 홈은 Gaussian 형상을 띠고 있다. 식각된 단면 형상이 레이저 빔의 profile 과 일치하는 것으로 보아 레이저 유도 습식 식각에 의한 페라이트의 미세 가공은 레이저에 의한 열화학 반응임을 알 수 있다.

그림 4는 인산수용액 30 %, 주사속도 10 $\mu\text{m/s}$ 의 조건에서 레이저 출력을 변화시켜 식각되어진 홈의 깊이와 넓이의 출력 의존도를 나타낸다. 레이저 출력을 증가 시키면 식각된 홈의 깊이는 꾸준히 상승하며, 넓이 방향으로의 식각은 비교적 그 기울기가 완만하다. 이러한 결과는 light-guiding effect 에 의

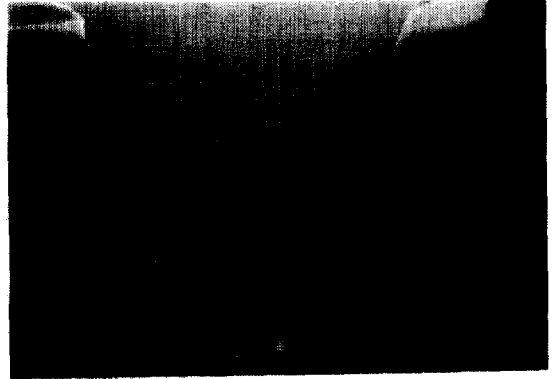


그림 3. 식각된 홈의 단면 전자현미경 사진 -Gaussian 형상 ; 레이저 출력 400 mW, 주사속도 15 $\mu\text{m/s}$, 인산수용액 65%

Fig. 3. Cross-sectional SEM micrograph of etched grooves - Gaussian shaped ; laser power 400 mW, scan speed 15 $\mu\text{m/s}$, H_3PO_4 65%

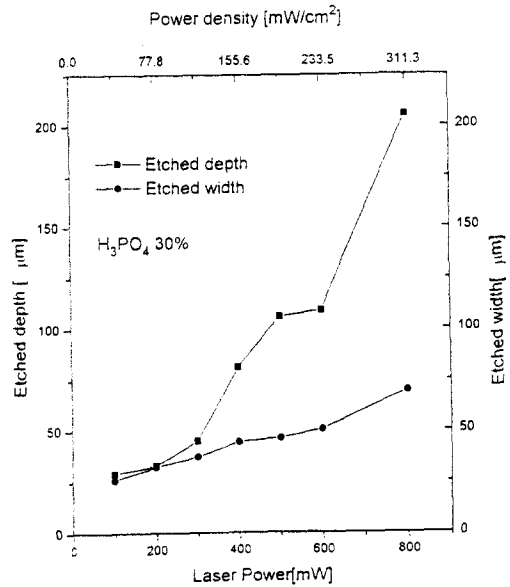


그림 4. 입사되는 레이저 출력의 크기에 따른 에칭 깊이와 넓이의 변화 ; 주사속도 10 $\mu\text{m/s}$, 인산수용액 30 %

Fig. 4. Etched depth and width as a function of incident laser power ; scan speed 10 $\mu\text{m/s}$, H_3PO_4 30%

한 것으로서, 시료표면과 입사된 레이저 빔의 열화학 반응에 의해 홈이 형성되고 빔은 홈 측면의 벽

(side wall) 안에 간혀 지게 된다.⁸⁾ Light-guiding 효과는 반응용액에 의해 둘러싸인 페라이트의 레이저 빔을 흡수하는 정도가 입사각에 의존하여 발생하는 것이다. 즉 레이저 빔의 입사각이 페라이트의 Brewster 각 보다 크면 흡 측면 벽에서의 빛의 흡수는 적어지게 되고 레이저 빔은 계속적으로 빛이 입사되는 페라이트 단면에 수직한 방향으로 반사된다. 따라서 레이저 빔은 매우 적은 손실로 식각된 홈의 가장 아래 부분으로 유도 된다.

그림 5는 일직선상으로 연속적인 레이저 빔을 가하였음에도 불구하고 비연속적으로 형성된 홈의 SEM 사진이다. 이러한 결과는 집속된 레이저 빔이 페라이트 시료표면에 국부적으로 가해지고, 직접 레이저 빔이 조사된 부분은 용융에 의해 액체 상태가 되고 주변의 고체 상태의 페라이트와 공존하게 된다. 레이저 빔이 계속 주사되면 고체와 액체의 상변화에 따른 열전도도와 광흡수율의 차이가 발생하게 된다. 광흡수율과 열전도도는 고체의 상태가 액체상태에 비해 크므로, 액상에서의 식각율은 고상보다 매우 작게 된다. 따라서 레이저 빔의 주사속도가 빔에 의한 액상영역을 지나는 속도 보다 빠르면, 액상과 고상에서의 식각율의 차이에 의해 그림과 같은 비연속적인 홈을 만들게 되는 것이다. 이러한 비연속적인 홈은 레이저 출력과 속도를 적절히 선택하여 제어할 수 있다. 즉, 레이저 출력을 크게하여 액상변화 표면적을 넓게 하거나 레이저 주사속도를 늦게하여 레이저 주사(走査) 중 상변화를 겪지 않게 함으로써, 고상과 액상의 식각율 차에 의한 비연속적인 홈을 제거할 수 있다.



그림 5. 비연속적인 홈 구조의 주사전자현미경 사진 ; 레이저 출력 100 mW, 주사속도 60 $\mu\text{m/s}$, 인산수용액 60%

Fig. 5. SEM View with non-continuous groove ; laser power 100 mW, scan speed 60 $\mu\text{m/s}$, H_3PO_4 60%

그림 6은 레이저 출력 500 mW, 주사속도 10 $\mu\text{m/s}$, H_3PO_4 30% 조건에서 비연속적인 홈이 발생하지 않은 페라이트의 단면 SEM 사진이다. 본 연구에서 얻어진 최대 식각율은 레이저 출력 380 mW, 주사속도 5 $\mu\text{m/s}$, H_3PO_4 85% 조건에서 식각을 하여 257 μm 의 홈을 얻은 경우로, 이 때의 식각율은 714 $\mu\text{m/s}$ 이다. 이 값은 종래의 화학 식각의 식각율 (0.5~0.7 $\mu\text{m/s}$) 과 비교하면 수천 배나 크다.⁹⁾



그림 6. 연속적인 홈을 형성한 SEM 단면사진 ; 인산레이저출력 500 mW, 주사속도 10 $\mu\text{m/s}$, 인산수용액 30%

Fig. 6. A cross-sectional view of an etched groove with a well-defined and continuous structure ; laser power 500 mW, scan speed 10 $\mu\text{m/s}$, H_3PO_4 30%

그림 7은 레이저 주사속도 10 $\mu\text{m/s}$, 인산수용액 30, 60 % 에서 레이저 출력을 변수로 하여 식각된 홈의 깊이의 변화를 나타낸다. 고농도의 인산 수용액에서는 실제 식각을 활성화시키는 수소 반응기(反應基)가 저 농도의 인산수용액에 비해 많으므로 더욱 깊은 홈을 얻을 수 있다.

그림 8은 인산수용액 30 % 의 조건에서 주사속도 10, 30, 60 $\mu\text{m/s}$ 에 대하여 레이저 출력의 증가에 따른 식각된 홈의 깊이 변화를 나타낸다. 주사속도가 낮을수록 식각되는 홈의 깊이가 큰 것은 시료 표면에 빔이 머무르는 시간 (beam dwell time) 이 길어질수록 충분한 식각반응이 일어나기 때문이다.

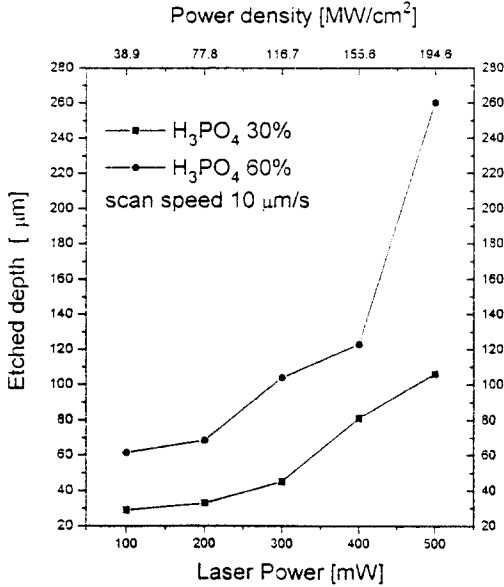


그림 7. 인산수용액의 농도에 따른 식각된 홈의 깊이 변화

Fig 7. Etched depth as a function of H₃PO₄ concentration

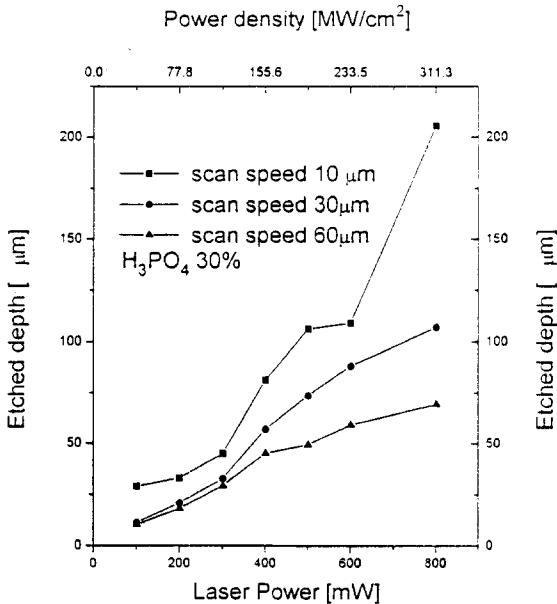


그림 8. 주사속도 변화에 따른 식각된 홈의 깊이 변화

Fig 8. Etched depth as a function of scan speed

4. 결 론

단결정의 Mn-Zn 페라이트를 인산수용액에서 마스크와 포토레지스트 없이 레이저 유도 습식에칭을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 종래의 화학 식각에 비해 수 천배 큰 식각율을 얻었다.
- 2) 최소한의 트랙 깊이만을 표면손상이 거의 없이 최대 종횡비 (aspect ratio) 6을 얻었다.
- 3) Light-guiding 효과에 의해 레이저 유도 페라이트 습식식각을 행하여 274 μm의 깊은 홈을 얻을 수 있었다.
- 4) 비연속적인 홈의 발생원인은 고체와 액체간의 상변화에 따른 열전도도와 광흡수율의 차이에 기인하며, 이는 레이저 출력을 증가시키거나 주사속도를 느리게 하여 해결할 수 있다.
- 5) Mn-Zn 페라이트의 레이저 유도 습식식각에 대한 농도 의존성을 살펴본 결과 수소 반응기가 많은 고농도의 인산 수용액에서 더 깊은 홈을 얻을 수 있었다.

* 본 연구는 한국전력공사 지원에 의한 기초전력연구소(96-045)와 인하대학교 96년도 연구비 지원에 의해 이루어졌음

5. 참 고 문 헌

1. Kurt E. Petersen, " Silicon as a Mechanical material ", IEEE, Vol 70, No. 5, 1982, p420
2. W. Westlake, M. Heinz, "Substrate selective deposition and etching of silicon thin films ", J. Appl. Phys., 77(2), 1995, p879
3. Michael Bass, LASER MATERIALS PROCESSING, North-Holland Publishing Company, 1983, p339-400
4. D. W. Johnson, Jr., E. M. Vogel, "Recent Progress on Mechanical Properties of Ferrites ", Proceeding of International Conference Japan, 1980, p285
5. 長友正平, レーザー誘起熱化學反應による微細加工装置の開発研究, 1991, p2-3
6. Yong-Feng Lu, Mikio Takai, " surface damage in a Mn-Zn ferrite induced by laser chemical etching ", J. Appl. Phys. 73(1), 1993, p158
7. Y. Scudeller, J. P. Bardon, " Simultaneous

measurements of the thermal conductivity and diffusivity of small size elements ; application to the characterization of integrated circuit package samples ", Int. J. Heat Mass Transfer., Vol 34, No. 3, 1991, p673

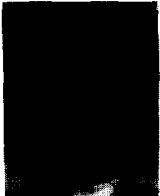
8. Dragon V. Dodlesnk, Heinz H. Gilgen et al.,

"Wave guiding effects in laser-induced aqueous etching of semiconductor ", Appl. Phys. Lett. 48(7), 1986, p496

9. Edward K. Yung, Brian W. Hussey et al., "Laser-Assisted Etching of Manganese-Zinc Ferrite ", J. Electrochem. Soc., Vol 136, No. 3, 1989, p665


저자소개

이경철



1973년 6월 7일생. 1996년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1996년 3월 인하대학교 전기공학과 대학원 입학. 1996년 9월 현재 동 대학교 대학원 재학중.

이 천



1960년 6월 11일생. 1982년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업. 1985년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 3월 일본 오사카대학 전기공학과 졸업(공학). 1992년 4월 일본 이화학연구소 연구원. 1993년 10월 KIST Brain Pool 연구원. 현재 인하대학교 전기공학과 조교수. 본 학회 편수위원.