

UV레이저를 이용한 마이크로 히터 트리밍

유승열^{**†}

^{**}한국기술교육대학교 기계공학부

Micro Heater Trimming using UV Laser

Seungryeol Yoo^{**†}

^{**†}School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

ABSTRACT

In this paper, a new method of laser trimming of thick film heater is studied. Various laser waves (IR, Green, UV) are used to ablation the heater and the process parameters are also presented. For given initial printed resisters, the cutting length should be prepared to obtain the target resistor value in advance. Therefore, the cutting model is very important. The well-known model was tested and proven that it is valid only within a certain range of cutting length. A new model is proposed for a wide range of resistor laser trimming. The cutting lengths and resistor variation was obtained and formulated. To verify the presented method, the cutting lengths of each resistor are calculated for various target resistor value and laser trimming using UV is conducted.

Key Words : Laser, Thick film heater, Trimming, Resistance

1. 서 론

반도체의 특성 검사에 환경의 구성을 위하여 일반적인 히터가 사용되어 왔으나 평판형 IR 히터는 빠른 응답, 고효율성, 높은 설계의 자유도의 특성을 가지고 있어서 반도체 제조공정에 많이 도입되고 있다. 또한, 마이크로 히터의 경우 반도체의 특성 검사에 사용하고자 하는 연구들이 진행되고 있어 히터의 정밀한 수준의 저항 값 제어 기술이 중요해지고 있으며 이를 가능하게 하는 것이 레이저 미세가공기술이다.

첨단산업분야에서 레이저 미세 가공기술은 고품질의 부품을 가공하는데 필수적이고 유용한 기술로 인식되어 왔다. 레이저 트리밍은 전자회로의 매개변수를 레이저를 이용하여 대상의 외형적 특징을 조절하는 기술이다.

가장 일반적인 응용분야는 저항 성분을 미세하게 조절하는 것으로 기본적인 공정 방법은 PCB에 구현된 저항에

외형을 레이저로 일부를 제거하는 방법으로 Fig. 1과 같이 Plunge-cut, Edge-cut, L-cut 등이 있다[1,2,3]. 저항은 대상의 길이, 폭, 그리고 높이의 기하학적인 특성과 재료의 고유 저항에 의하여 결정되며 저항 값을 조절하는 방법은 기하학적 특징에서 변형 가능한 부분을 레이저를 이용하여 원하는 저항 값을 갖도록 제거(cut) 하는 것이다. 이러한 레이저 트리밍 공정기술의 대표적인 응용산업분야가 PCB산업이다. 수동 소자를 PCB표면에 SMT(surface mount technology)에 위하여 실장 하는 것이 아니라 PCB내부에 박판 필름을 이용하여 저항 또는 콘센서를 생성하여 수동 소자의 특성을 레이저 트리밍의 공정을 이용하여 조절하는 것이다. 현재 Embedded PCB에 생성된 저항 및 콘덴서의 값을 교정하기 위한 방법으로 Fig. 2와 같이 레이저 트리밍 기술이 적용되고 있다.

또한 고정밀 센서의 백금 박막을 μm 의 길이로 트리밍하여 오차 $\pm 0.01\Omega$ 이내의 트리밍 기술이 개발되었다[4]. 또한 기존의 라인형의 트리밍의 방법을 벗어나 면적의 형태로 구성된 트리밍의 해석에 대한 연구도 진행되었다[2].

[†]E-mail: yoos@koreatech.ac.kr

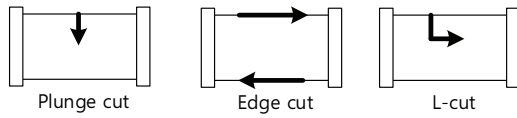


Fig. 1. Laser trimming methods for resistance adjustment.

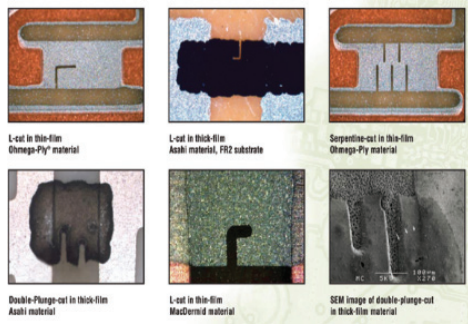


Fig. 2. Example of laser trimming on PCB.

본 연구에서는 마이크로 히터의 균일하고 정밀한 저항 값 제어를 위하여 레이저 트리밍 방법을 개발함에 있어서 초정밀의 트리밍 방법보다는 오차 3%이내의 정밀도를 구현할 수 있는 마이크로 히터의 트리밍에 적합한 후박 (thick film)에 적합한 트리밍 방법을 제안하고자 한다.

2. 레이저 트리밍 공정 설정

2.1 레이저 선택 및 파라미터 설정

레이저 미세가공 기술의 핵심은 대상 물질에 가장 적합한 레이저 소스 및 파장을 선정하는 것으로, 발열체로 사용되는 물질의 조성에 자료를 바탕으로, 적용 가능한 레이저 소스 및 파장에 대해 실험적 방법으로 가공 가능 여부를 판단하여야 한다. 본 연구에서는 세가지 파장 즉, IR, Green, UV의 레이저를 이용하여 Fig. 3과 같이 적용 가능 실험을 수행하여 가장 적절한 파장과 파워를 선정하였으며 결과는 Table 1에 표시하였다. Table 1에서 알 수 있듯이 가공측면으로만 판단한다면 세 종류 파장의 레이저를 통해 모두 가공 가능하며, 상기 세 종류 파장의 레이저 중 하나의 레이저 소스를 선택해서 시스템을 설계하는 경우 가공성, 가공 속도, 시스템 가격 (특히 레이저 소스의 가격), 안정성, 절단면의 품질, 시스템의 복잡성 (특히 광학계)등을 서로 비교해서 결정해야 할 것이다. 본 연구에서는 Table 1의 결과로부터 활용 가능한 장비인 UV 레이저 장비를 선택하고 355nm의 wave length, 579 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 의 laser fluence, 300mm/sec의 beam speed의 가공 파라미터로 실험을 진행하였다.

Table 1. Result of laser trimming of samples

Laser type	Fluence (J/cm^2)	Qualities	Specifications
IR (1064nm)	61.1		laser power: 400uJ pulse rate: 50kHz beam speed: 600mm/sec No. of repeat: 3 cutting width: 0.06mm
Green (532nm)	217.7		laser power: 220uJ pulse rate: 50kHz beam speed: 750mm/sec No. of repeat: 7 cutting width: 0.08mm
UV (355nm)	579.0		laser power: 5.2W(127.9uJ) pulse rate: 40kHz beam speed: 300mm/sec No. of repeat: 4 cutting width: 0.07mm

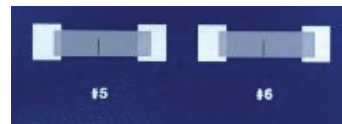


Fig. 3. Example of actual laser trimming test of heater.

2.2 레이저 트리밍 알고리즘

IR 히터의 온도 특성은 발열체의 저항 특성에 따라 결정이 되기 때문에 매우 중요하다. 따라서 발열체의 저항 특성(R)을 결정짓는 요소를 살펴보면 단면적(A), 길이(L) 그리고 고유 저항(ρ)으로 구성되며, $R(\Omega) = \rho \times L/A$ 으로 표현된다. 여기서 단면적 A는 발열체의 패턴의 폭과 형성된 막의 두께에 의해 결정된다. 여기서 두께는 프린팅 공정 매개변수에 의해 조절되는 것이므로, 이에 교정을 위해서는 많은 반복 실험을 통해 최적 값을 도출해야 하는 번거로움을 가진다. 또한 레이저를 이용한 패턴 막의 두께를 조절하는 것은 레이저 공정상 비효율적인 공정이다. 따라서 보다 효율적인 레이저 트리밍 공정을 위하여 시료 표면을 일정 패턴을 가공(ablation)하여 원하는 저항 값을 주는 것이다. 트리밍에는 Fig. 1과 같은 방법이 외에 다양한 방법이 가능하나 본 연구에서는 우선 P-cut방법을 기본으로 하여 식 (1)으로 모델을 구성[5] 하고 P-cut 모델을 검증한 후 수정된 모델을 제시하기로 한다. 예를 들어, Fig. 4에서와 같이, L₂의 위치에 일정 길이(W₁-W₂)로 laser 등으로 ablation해주는 것이다. 최종적으로는 주어진 교정 저항 값 ($\Delta R = R_{\text{target}} - R_{\text{old}}$)에 따른 적절한 패턴과 패턴의 너비(Fig. 4의 C) 및 길이 (W₁-W₂)를 산출하는 알고리즘이 필요하다.

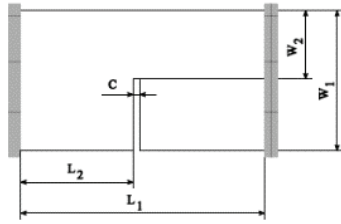


Fig. 4. Dimensions of P-cut.

$$N = \frac{L_2 - c/2}{W_1} + \frac{c}{W_2} + \frac{L_1 - L_2 - c/2}{W_1} + F\left(\frac{L_2 - c/2}{W_1}\right)\beta(\alpha) + F\left(\frac{L_1 - L_2 - c/2}{W_1}\right)\beta(\alpha) \quad (1)$$

$$F(x) = 1 - 4(x - 0.5)^2 \text{ for } x < 0.5, 1 \text{ for } x \geq 0.5$$

$$\beta(\alpha) = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1 + \alpha^2}{\alpha} \ln \frac{1 + \alpha^2}{1 - \alpha^2} - 2 \ln \frac{4\alpha}{1 - \alpha^2} \right], \alpha = \frac{W_2}{W_1}$$

P-cut 모델을 검증하기 위하여 UV레이저 시스템을 이용하여 테스트 기판에 생성되어 있는 각각의 시료에 초기 저항 값(R_{init})에 대해 P-cut을 수행하고, 가공된 길이를 이용하여 기존 제안 식의 계산 값(R_m)과 실험결과 값(R_{exp})을 비교하였다. Fig. 3 형태의 시편에 대하여 ablation하여 Table 2와 같은 결과를 얻었으며 각각의 오차를 Fig. 5에 표시 하였다. 여기서 $R_{init} = 8.8(\Omega)$, $L_1=15\text{mm}$, $L_2=7.465\text{mm}$, $W_1=5.0\text{mm}$ 이며, R_{init} 는 초기 측정된 값, R_m 은 식 (1)에 의한 계산 값, R_{exp} 는 ablation후의 측정값이다. Fig. 5에서와 같이 ablation길이($W_1 - W_2$)가 3.5mm이하의 경우는 P-cut모델은 어느 정도 정확도를 제공하고 있으나 3.5mm는 이상인 경우는 계산 값 오차($R_m - R_{init}$)와 실험값 오차($R_{exp} - R_{init}$)가 증가하였으며 추가 실험을 통하여 3.5mm 이상의 길이로 ablation하는 경우는 사용하는데 문제점이 있음을 확인하였다.

Table 2. Measurements of laser trimming

W_2 (mm)	R_m (Ω)	R_{exp} (Ω)	$R_{exp} - R_{init}$ (Ω)	$R_m - R_{init}$ (Ω)
4.541	8.865	8.9	0.10	0.065
4.370	8.914	9.0	0.20	0.114
3.767	9.184	9.4	0.60	0.384
3.500	9.353	9.5	0.70	0.553
3.147	9.626	9.8	1.00	0.826
2.561	10.232	10.3	1.50	1.432
2.151	10.798	10.7	1.90	1.998
1.753	11.504	11.3	2.50	2.704
1.342	12.474	11.9	3.10	3.674
0.973	13.690	13.0	4.20	4.890
0.575	15.771	14.2	5.40	6.971

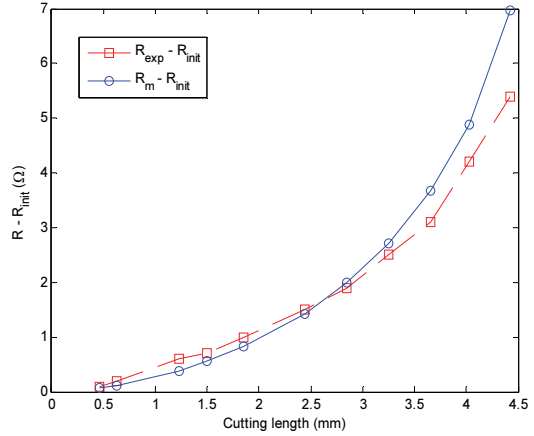


Fig. 5. Comparison between model and actual resistance.

3. 실험

3.1 레이저 트리밍을 위한 모델 구성

기존에 제시된 식 (1)의 P-cut모델을 보완하기 위하여 가공 길이에 따른 저항 값의 변화를 측정하여 가공 길이와 저항 값의 변화를 무차원화 하여 가공 길이와 저항 값의 관계식을 도출하는 방법을 사용하였다. Fig. 6은 8개 세트의 테스트 시료(각각 11개의 저항)에 대해 동일한 시험 결과를 도시하였으며 각각의 측정값의 평균값에 대하여 line fitting방법을 이용하여 식 (2)를 도출하였다. 식 (2)에서 $x = R_{exp} - R_{init}$ 이고 y 는 $R_{m} - R_{init}$ 에 도달하기위한 가공 길이이다.

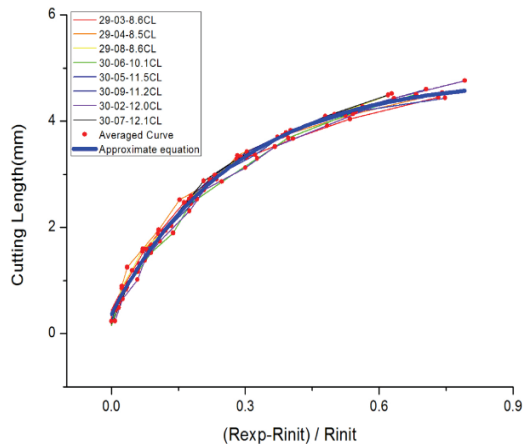


Fig. 6. Relationship between cutting length and variation of resistance.

$$y = -4.455e^{-\frac{x}{0.2735}} + 4.4822 \quad (2)$$

도출된 식 (2)의 검증을 위하여 다양한 저항 값들이 순차적으로 증가하도록 시편을 준비하여 각각의 초기 저항 값에 대하여 측정하고 목표치를 설정한 후 그 차이를 교정하기 위한 가공 길이를 모델식을 이용하여 계산한 후 레이저 트리밍 공정을 수행하였다. 가공 수행 후 저항 값을 측정하고 목표치와의 차이를 분석하였다. 총 60개의 시편으로 실험을 하였으며 이중에 Sheet No가 32##인 경우는 목표 값이 9Ω, Sheet No가 33## 인 경우는 목표 값이 10Ω 인 경우로 예시로 Table 3에 나열하였다.

Table 3. Examples of laser trimming

Sheet No.	R _{init}	R _m	R _{target}	CL	R _{exp}	Error (%)
32-04	7.00	9.2	9.00	3.25	9.10	-1.11
32-07	7.10	9.1	9.00	3.14	9.00	0.00
32-06	7.40	9.0	9.00	2.80	8.85	1.67
32-01	7.50	9.0	9.00	2.67	8.85	1.67
32-08	7.50	9.0	9.00	2.67	8.95	0.56
32-05	7.80	8.9	9.00	2.28	9.00	0.00
32-02	8.00	8.9	9.00	2.00	8.90	1.11
32-09	8.50	8.9	9.00	1.22	8.90	1.11
32-03	8.60	8.9	9.00	1.06	9.05	-0.56
33-04	8.00	10.1	10.00	3.03	10.05	-0.50
33-06	8.30	10.0	10.00	2.71	10.05	-0.50
33-01	8.70	9.9	10.00	2.24	10.0	0.00
33-07	8.70	9.9	10.00	2.24	9.85	1.50
33-05	8.80	9.9	10.00	2.11	9.90	1.00
33-02	8.90	9.9	10.00	1.9	9.90	1.00
33-08	9.10	9.8	10.00	1.7	9.90	1.00
33-03	9.40	9.8	10.00	1.2	9.90	1.00
33-09	9.50	9.9	10.00	1.14	9.85	1.50

여기서 CL은 가공 길이 이다.

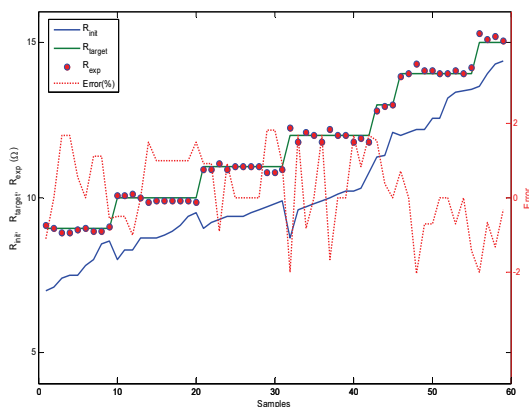


Fig. 7. Results of resistance adjustment using compensation equation.

Fig. 7에서는 다양한 초기의 저항 값에 대하여 다양한 목표 값(Ω) 즉, 9, 10, 11,12,13,14,15으로 설정하고 모델식을 이용하여 각각의 초기 저항 값에 대한 가공 길이를 계산하여 트리밍 한 결과를 보여 주고 있다. 실험 결과로 오차를 $(R_{target} - R_{exp}) / R_{target} \times 100$ 으로 계산할 경우 최대 ±2% 이내로 트리밍 되었음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서 마이크로 히터의 저항을 레이저 트리밍 방법을 사용하여 정밀하게 조정하는 방법을 제시하였다. 가공 모델을 구성하고자 P cut 방법[5]에 대하여 가공 길이와 저항의 변화에 대하여 검증하였다. P-cut의 수식 모델은 제한된 범위에서는 정밀도를 제공하나 가공 길이가 3.5mm 이상인 경우는 오차가 크게 발생하였다.

정확한 가공 모델을 구성하기 위하여 여러 개여 시편에 대하여 가공 길이와 저항의 변화에 대한 실험을 하여 이를 무차원화 하여 일관성 있는 모델이 도출되었다. 도출된 모델을 바탕으로 다양한 초기의 저항 값을 가진 히터에 대하여 다양한 목표 저항 값에 도달하도록 하는 실험을 통하여 가공 모델에 대한 구성방법 및 그에 대한 검증을 수행하였다.

초정밀 센서의 저항 트리밍에는 높은 저항의 정밀도를 필요로 하나 후박 히터의 경우는 보통 ±3%정도의 오차를 허용함으로 간단한 레이저 트리밍 시스템으로 구현할 수 있다. 향후 P-cut이외에 다양한 가공방법에 대하여 개발된 방법을 적용할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 한국기술교육대학교 연구제 파견 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. A. F. Dyson and A. J. Cable, "Laser Trimming of Thick Film Resistors," *Electrocomponent Science and Technology*, Vol. 1, pp. 51-57, 1974.
2. Marek Wronski, Slawomir Kaminski, Edwad Mis, Andrzej Dziedzic, "New trim configuration for laser trimmed thick resistors," *Microelectronics Reliability*, 45, pp. 1941-1948, 2005.
3. Kwang Hyun Ryu, Suk Hoon Shin, Hyeong Chan Park, Gi Jung Nam and Nam Ic Kwon, "Study of Laser Trimming and Cutting of Printed Circuit Board using UV Laser with Nanosecond Pulse Width," *Journal of*

-
- the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 27, No. 10, pp. 23-28, 2010.
4. S. S. Noh, D. H. Kim, G. S. Chung, H. P. Kim and K. H. Kim, "Development of Trimming Technnology in High-fine Resistor Using U.V. Laser," *Journal of Sensor Science and Technology*, Vol. 11, No. 6, pp. 358-364, 2002.
5. Michael J. Mueller, "Functional laser trimming of thin film resistors on silicon ICs," *SPIE*, Vol. 611, Laser Processing of Semiconductors and Hybrids, pp.70-84, 1986.
-
- 접수일: 2017년 8월 17일, 심사일: 2017년 9월 18일,
게재확정일: 2017년 9월 22일