

# 초정밀 반도체 금형 제작을 위한 슈퍼드릴 방전가공기 전극가이드 개발과 미세홀 방전가공

박찬해\*, 김종업\*\*, 왕덕현#, 김원일\*\*\*

## Development of Electrode Guide of Super-drill EDM and Electrical Discharge Machining of Small Hole for High Precision Semiconductor Die

Chan-Hae Park\*, Jong-Up Kim\*\*, Duck-Hyun Wang#, Won-Il Kim\*\*\*

### ABSTRACT

Electrical discharge machining is the method of using thermal energy by electrical discharge. Generally, if the material of workpiece has conductivity even though very hard materials and complicated shape which are difficult to cut such as quenching steel, cemented carbide, diamond and conductive ceramics, the EDM process is favorable one of possible machining processes. But, the process is necessarily required of finish cut and heat treatment because of slow cutting speed, no mirror surface, brittleness and crack due to the residual stress for manufactured goods. In this experimental thesis, the super EDM drilling was developed for high precision semiconductor die steel and for minimization of leadframe width. It was possible to development of EDM drilling machine for high precision semiconductor die with the electrode guide and its modelling and stress analysis. The development of electrode with the copper pipe type was conducted to drill the hole from the diameter of 0.1mm to 3.0mm with the error of from 0.02mm to 0.12mm. From the SEM and EDX analysis, the entrance of the EDM drill was found the resolidification of not only the component of tungsten but also the component of copper.

**Key Words** : Electrical Discharge Machining(방전가공, EDM), Semiconductor Die(반도체 금형), SEM(주사전자현미경), Electrode guide(전극가이드)

### 1. 서 론

\* 경남대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 창원기능대학 컴퓨터응용기계과  
# 교신저자 : 경남대학교 기계자동화공학부  
E-mail : dhwang@kyungnam.ac.kr  
\*\*\* 경남대학교 기계자동화공학부

최근 반도체 금형 제조업이 급속도로 발전하면서 다양한 제품들이 개발되고 있으며 수요자의 욕구 또한 다양화 고급화되고, 특히 고정밀도의 소형제품 개발에 대한 요구가 증대되고 있다. 전자부품 등 반도체

체 부품재료 성형에 필요한 금형제품들은 내마멸성 및 강도 등의 우수한 기계적 성질이 요구되며 초경합금 등의 매우 경한 재료를 사용하게 되었으나, 일반 절삭가공으로는 초정밀가공이 불가능하여 특수가공 방법인 방전가공 기술이 요구되며, 이에 관련된 연구가 절실히 필요하다. 방전가공 기술은 CNC 장치가 부착된 방전가공기가 출현하면서 특히 금형가공 분야에서 급속히 보급되었으며, 최근 방전가공 장치의 전원이나 테이블 이송기구 및 무인 운전 등 하드웨어의 개발에 따라 방전가공의 운전비 저하, 가공품질의 향상이 진행되어 왔다<sup>[1,2]</sup>.

이러한 방전가공기 하드웨어와 동시에 방전가공에 필수적인 전극선에 대한 다양한 재질과 형상에 대한 요구 또한 높아지면서 고성능화 되어가고 있다. 그러므로 보다 우수한 특성을 갖는 전극선이 요구되고 있으며, 이러한 경향은 향후 더욱 고조될 것으로 생각된다. 최근 와이어 종류가 다양하게 개발됨에 따라 가공성 향상은 물론 종래의 동 및 황동선 사용으로 인한 연결화의 경향으로부터 탈피하여 와이어의 소재 코팅효과로 기계적 성질의 향상을 시도하게 되었다<sup>[2,3]</sup>.

전 세계 반도체 제조분야는 어느 산업분야 보다 치열한 경쟁이 이루어지고 있으며 그 나라의 미래를 결정지을 중요 정책 산업으로 인정되어 기술개발의 노하우를 국가적인 차원에서 보안을 유지하며 신기술 개발을 주도하고 있는 상황이다. 일반적으로 반도체 생산을 위한 금형은 반도체의 기능과 형상을 결정짓는 리드프레임 제조에 주로 많이 사용되어지며 가장 중요한 공정으로 인식되어 지고 있다. 따라서 반도체의 초소형화, 고밀도화 등의 추세로 리드프레임의 고정도화 또한 절실히 요구되고 있으며 여기에 따른 초정밀 가공기술 개발의 필요가 증폭되고 있다.

본 연구에서는 반도체 제조용 금형 제작을 위한 미세 홀 가공을 위하여, 슈퍼드릴 방전가공기의 전극가이드를 개발하여 0.3mm이하의 미세홀 정밀가공기술 개발과, 전극의 규격에 따라 전극가이드를 설계 개발하여 효율적인 방전가공을 할 수 있도록 하고, 구리 합금 파이프 형태의 전극봉을 연구하여 미세구멍의 방전드릴가공이 가능하게 하여 방전가공 후 표면의 정도 및 SEM(주사전자현미경)과 EDX분석에 의해서 가공면의 재융착 현상을 고찰하고자한다.

## 2. 방전가공 이론

방전가공은 전극과 피삭재가 방전액 중에서 닿지 않은 상태로 25 $\mu$ m 정도의 간격을 유지하면서 전압을 인가하여 스파크 방전을 발생시켜 그 열로 국부적으로 소재를 가공하는 방법이다. 방전은 순간적으로 코로나 방전에서 시작되어 불꽃방전, 아크방전 형태로 진행되어 피삭재를 절연 파괴하는 과정으로 연속적인 방전이 일어나며 이러한 과정 중 가열작용과 충격력의 발생으로 높은 에너지가 발생하여 주변의 방전액은 플라즈마 상태가 되고 그 열로 피삭재가 가공되는 것으로 그 원리를 Fig. 1에 나타내었다<sup>[3,4]</sup>.

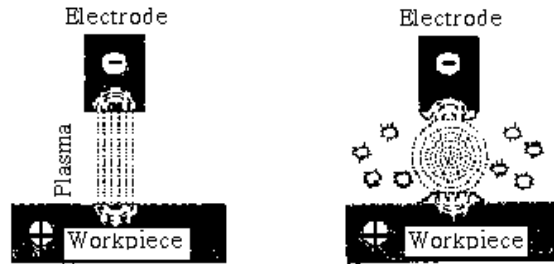


Fig. 1 Principle of electrical discharge machining

또한 열 유동 및 충격파에 의한 피삭재의 용융 분화구층 등을 보여주고 있으며 이러한 과정에서 높은 에너지와 기포가 발생하여 가공을 돕고 있다. 방전가공에 의하여 피삭재가 제거되는 정도는 방전에너지와 밀접한 관계가 있으며 방전에너지는 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[5~7]</sup>.

$$\epsilon_g = \int_0^{t_{on}} V(t) I(t) dt \quad (1)$$

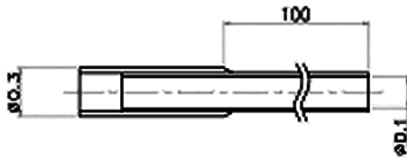
공작물 제거속도에 전류가 가장 큰 영향을 미치며 전류가 흐르는 시간은 실제 방전시간으로서 영향을 미치게 되는데 이것은 방전유도시간( $\tau_w$ ), 방전시간( $\tau_{on}$ ) 및 방전휴지시간( $\tau_{off}$ )의 혼합시간 중 실제 방전이 일어난 시간의 비율인 듀티팩터(DF)로 다음과 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 전류와 듀티팩터를 인자로 표면의 정도를 향상시키는 조건에서 실험을 수행하였다.

$$\text{Duty Factor(DF)} = \frac{\tau_{on}}{\tau_w + \tau_{on} + \tau_{off}} \quad (2)$$

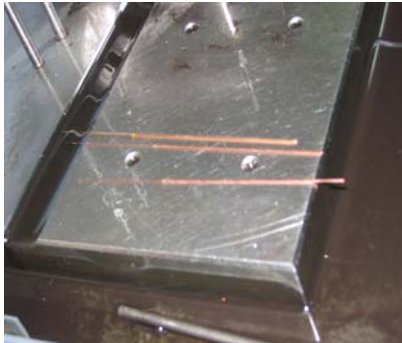
### 3. 실험장치 및 조건

#### 3.1 전극가이드 및 실험장치

본 연구에서는 특수전극 개발로 구리합금 파이프 형태의 전극봉으로 그 형상은 Fig. 2와 같다. 이 전극봉의 규격은 0.1×L200mm 특수 전극재와 0.3 일반 전극재와의 분당으로 결합된 형태이다.



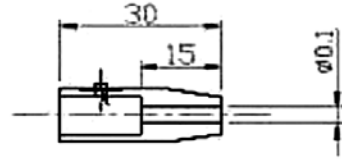
(a) Design of Cu electrode



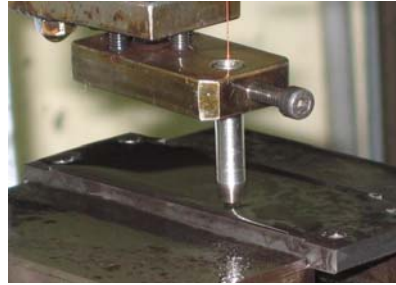
(b) Photograph of Cu electrode

**Fig. 2 Development of pipe-type of Cu electrode**

또한 본 연구에서는 가이드 개발로 미세 구멍의 최종완성 가공목표가 0.1 10mm이므로 원활한 가공을 위해 휨 방지와 위치정도의 정확성(0.02이내) 및 직진, 진원 정도의 확보와 더불어 가공두께의 확대를 보장받기 위해서 새로운 전극가이드를 개발하였다. 이 개발에는 전극가이드에 따른 콜렛척 제작, 콜렛척 홀더 개조 및 초고속 모터에 장착이 용이하도록 연구 개발하였다. Fig. 3은 전극가이드 설계와 개발된 전극가이드 형상을 나타낸 것이다.



(a) Design of electrode guide



(b) Photograph of electrode guide

**Fig. 3 Development of electrode guide**

방전가공기술을 응용한 슈퍼드릴 방전가공기의 구조변경을 하였다. 슈퍼드릴 방전가공기는 종래의 기계가공으로써 곤란한 미세홀가공을 Drilling M/C를 사용한 것과 같이 간단하게 사용할 수 있도록 개발된 상하운동과 회전운동이 동시에 하는 미세홀가공전문 방전가공기이다.

이 방전가공기는 특수전극과 특수가공액을 사용하여 고속, 가공이 가능하고 한 개의 전극으로 다수 개의 구멍을 관통시킬 수 있다. 가공조건 선택은 전극경, 가공물의 재질, 두께에 따라 간단히 설정할 수 있다. Z축이 경사될 수 있는 구조로 경사진 구멍 및 수평, 수직가공이 가능하다. Z축 Head가 선회하므로 테이블 상면에서의 가공뿐만 아니라 기계의 후방에서도 가공이 가능하다. 기전 일체형으로 특히 좁은 공간에도 설치가 용이하며 회전식 바퀴가 있어 이동이 용이하다. 도전성 물체는 경도와 상관없이 0.1 ~ 3.0까지 가공이 가능하다. 특별부속품과 X, Y 테이블과 DRO 시스템으로 정밀한 위치에 가공이 가능하다.

#### 3.2 실험재료 및 실험방법

본 실험에서 사용된 피삭재는 반도체 금형부품소재

인 초경(超硬)소재를 사용하였고, 전극은 Cu파이프를 사용하였다. 가공액은 저인하점 특수가공액을 사용하였고, AC 3A 220V, 60Hz 상태에서 실험을 수행하였다.

전극가이드 홀더는 Fig. 4에 나타난 것처럼 전극가이드를 구멍에 삽입하고 볼트로 잠근다. 전극홀더는 패킹, 홀더본체, 콜렛홀더, 콜렛척으로 구성하고, 전극홀더에 전극을 넣을 때는 패킹보다 2-3mm 나오도록 설치한다.전극홀더를 스핀들에 설치할 때는 스핀들을 회전시켜 전극홀더를 가볍게 손으로 잡고 스핀들 입구에 대면 홀더는 나사를 타고 들어가게 된다. 홀더가 어느 정도 들어가면 스핀들 회전을 멈추고, 스핀들 축의 고정용 구멍에 고정용 축을 넣어 홀더본체를 잠근다. 전극홀더의 종류는 Table 1과 같다.



Fig. 4 Photograph of electrode guide holder

Table 1 Collet and Packing size

| Electrode holder       | Collet(mm) | Packing(mm) |
|------------------------|------------|-------------|
| 0.1 ~ 1.0mm (I type)   | 0 ~ 0.5    | 0.5         |
|                        | 0.5 ~ 1.0  | 1.0         |
| 1.0 ~ 2.0mm (II type)  | 1.0 ~ 1.5  | 1.0         |
|                        | 1.5 ~ 2.0  | 2.0         |
| 2.0 ~ 3.0mm (III type) | 2.0 ~ 2.5  | 2.0         |
|                        | 2.5 ~ 3.0  | 3.0         |

실험은 피삭재 재질인 초경소재의 전극직경과 피삭재의 두께에 따라 고속가공/저소모가공을 할지 결정 하였다. 가공조건은 기계조건인 Machine condition을 두께에 따라 결정하고 서보조건인 Servo condition과 급속(Rapid)/저속(Slow)으로할지 선택을 하였다. 또한 컨덴서번호(Condenser No., C)와 방전액의 압력을 결정하였다. 듀티팩터는 0.3으로 설정하여 수행하였다.

방전구멍측정은 형상측정기(profile projector)로 구멍의 내접원과 외접원의 크기의 중앙값을 직경으로 그리고 차이를 직경오차로 구하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

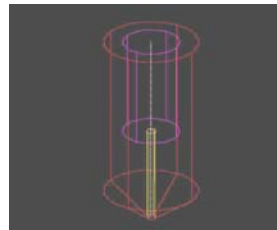
가공액 압력은 기존의 슈퍼드릴의 가공시 가공액 압력은 45~55kg/cm<sup>2</sup>이었으나 방전 콘덴서의 압력을 70~80kg/cm<sup>2</sup> 상승되도록 변경하였다. 가공속도는 0.1×10mm의 초경 소재를 가공하기 위하여 가공속도를 1~2mm/min로 하였으며 이는 기존의 일반적인 가공방식에 비해 50% 이상 속도를 하향시켰으며 ø0.1 가공조건인 속도를 구비하기 위하여 유압, 에어 및 전기시스템의 전체적인 개조가 이루어졌다.

### 4.1 전극가이드 해석(시뮬레이션)

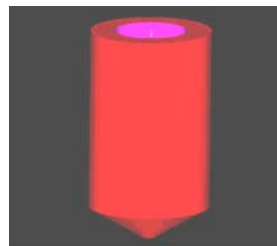
0.3mm 이하의 미세 구멍을 가공하기 위해서는, 전극봉의 고속회전에서도 전극봉을 올바르게 지지할 수 있게 하는 전극가이드의 설계 제작이 필요하며, 이에 대한 응력해석을 하였다. 해석 프로그램은 I-DEAS를 사용하였다. 이 때 전극가이드의 물성치는 Table 2과 같다. 여기서 E는 Young's modulus을  $\nu$ 는 포와송비,  $\sigma_y$ 는 항복응력을 나타내고 있다. Fig. 5는 I-DEAS로 모델링한 전극가이드를 나타내고 있다.

Table 2 Material properties of electrode guide

| E(mN/mm <sup>2</sup> ) | $\nu$ | $\sigma_y$ (mN/mm <sup>2</sup> ) |
|------------------------|-------|----------------------------------|
| 2.068e+008             | 0.29  | 8.0155e+007                      |



(a) Wire frame model of electrode guide



(b) solid model of electrode guide

Fig. 5 Wire frame and solid model of electrode guide

유한요소 모델은 한 다음 모든 구속 옵션 중 Symmetric 조건을 주어 하중단계에 적용하여 Fig. 6과 같이 적절한 경계조건을 주었다. Fig. 7은 경계조건을 포함한 경우의 전극가이드의 와이어프레임과 솔리드 모델을 나타낸 것이다.

응력변형결과는 Fig. 8에 나타내었는데 Fig. 8(a)는 구속되어있는 부분의 해석 결과를 나타내었고 Fig. 8(b)는 그것을 위에서(평면도) 바라본 것이다. 그림에서 빨간색으로 나타내어지는 부분이 최대 변위를 나타내고 있다. 그림에서 나타내어지는 것과 같이 최대 변위값은  $1.80E+00\text{mN/mm}^2$ 이고 최소변위는  $3.82E-02(\text{mN/mm}^2)$ 이다.

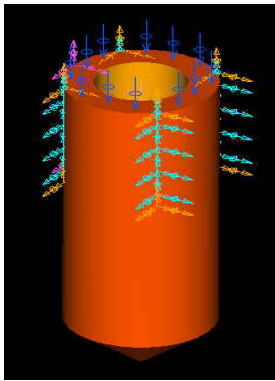
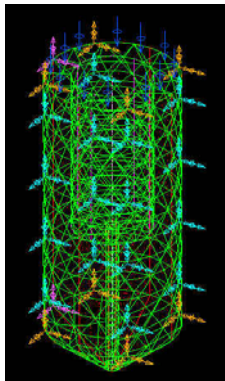
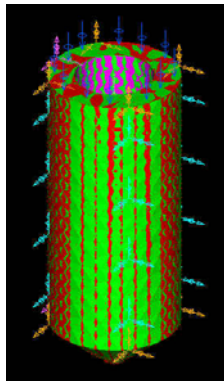


Fig. 6 Solid model of electrode guide with constraint conditions

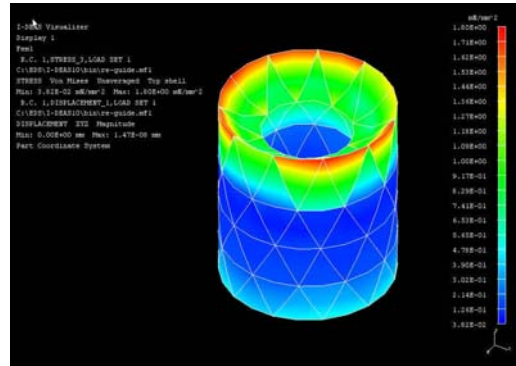


(a) Wire frame model

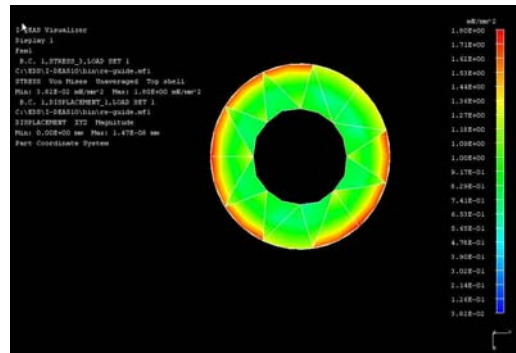


(b) solid model

Fig. 7 Wire frame and solid model with constraints



(a) Isometric view of the results



(b) Top view of the results

Fig. 8 Stress analysis for electrode guide

## 4.2 구멍 크기별 방전가공 특성

본 연구에서는 방전 홀 크기는 0.1mm에서 1.7mm 까지 실험을 수행하였다. Fig. 9는 현미경으로 각각의 홀을 측정하고, Fig. 10은 미세 홀을 동일한 홀 크기로 연속 가공한 그림이다.

방전가공은 2회 반복하여 시편의 왼쪽과 오른쪽에 위치하며, 홀입구와 출구 방향에서의 직경을 측정하였다. Fig. 11에는 방전가공 직경에 따른 측정된 직경값의 오차를 나타내고 있으며, 직경의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있다. 한편 직경이 0.1mm ~ 3.0mm까지 직경오차의 차이가 나타나는 것으로 0.02 ~ 0.12mm까지 가공오차의 결과가 나왔다. 이와 같은 가공상태는 와이어 방전가공 시 슈퍼드릴 Start 홀 방전가공으로서는 매우 만족한 결과를 얻을 수 있다.



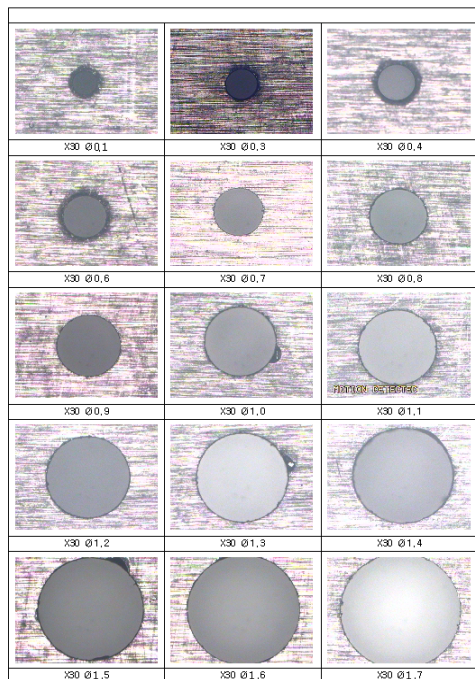


Fig. 9 Photographs of EDMed small hole for different diameter

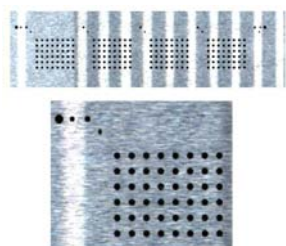


Fig. 10 Photographs of EDMed small hole

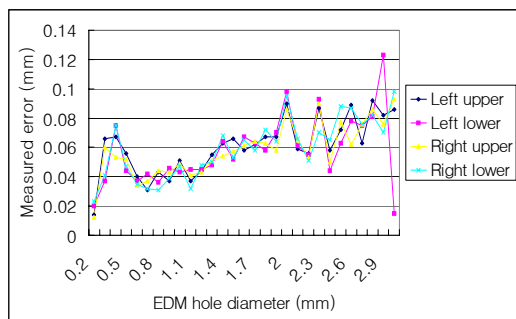
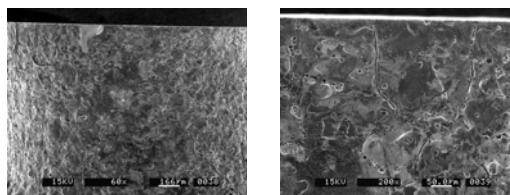
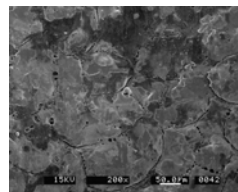


Fig. 11 Measured diameter error for EDMed hole

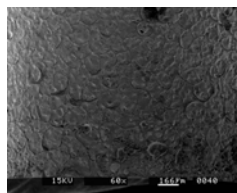
Fig. 12는 직경 2.0mm로 가공한 시편의 우측과 좌측에 구멍을 와이어 방전가공으로 중심을 절단한 후에 주사전자현미경으로 입구, 중앙 및 출구면에서 얻은 사진들이다. 모두 표면이 재용착한 흔적이 나타나고 있으며, 그 크기가 입구쪽에서 출구쪽으로 갈수록 작아지는 경향이 나타나고 있다. 재용착한 면을 EDX로 분석한 결과중, 직경이 2.0mm인 경우 Fig. 13처럼, 전극 성분이 Cu가 포함되어 있어, 표면에 어느 정도 재용착하는 것으로 나타나고 있다.



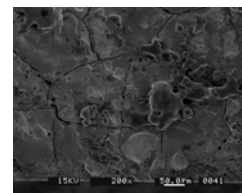
(a) Entrance for  $\phi 2.0(X60)$  (b) Entrance for  $\phi 2.0(X200)$



(c) Middle for  $\phi 2.0(X200)$



(d) Exit for  $\phi 2.0(X60)$



(e) Exit for  $\phi 2.0(X200)$

Fig. 12 SEM micrographs for right side for  $\phi 2.0$  mm

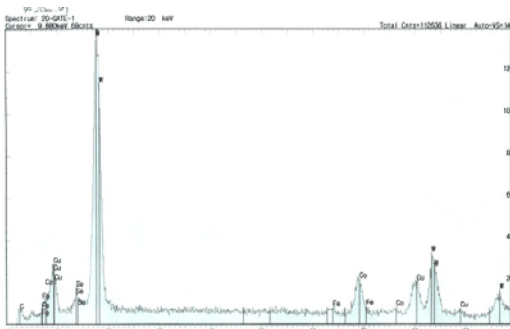


Fig. 13 EDX analysis for entrance for 2.0mm

## 5. 결 론

본 연구에서는 슈퍼드릴 방전가공기의 전극가이드를 개발하여 0.3mm이하의 방전가공을 가능케 하였으며, 0.1mm에서 3.0mm 구멍의 방전가공을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 초정밀 반도체 금형제작을 위한 슈퍼드릴 방전가공기의 응용개발로, 전극 규격에 따라 전극가이드를 설계 개발하였으며 전극가이드의 모델링과 응력해석을 통하여 상용화할 수 있는 전극가이드를 제작하였다.
2. 구리합금의 파이프 형태의 전극봉을 제작하여 미세구멍의 방전드릴가공이 가능케 하였으며, 반도체부품 금형재료인 초경(超硬)재료를 직경 크기를 0.1mm에서 0.1mm씩 증가시키면서 3.0mm까지 가능케 하였으며 이때 가공직경 오차는 0.02mm에서 0.12mm 사이의 값이 존재하였다.
3. SEM(주사전자현미경) 및 EDX분석에서는 입구쪽에서 방전 후 재용착의 크기가 크게 나타나고 있으며 이들 표면은 전극 재료인 Cu성분이 같이 용착되어 있는 경향을 나타내고 있었다.

## 참고문헌

1. Schumacher, B. M., "EDM Technology for Precise Workpieces with Excellent Surface Quality," Ann. ISEM-7, p. 126, 1983.
2. Mohri N., Saito N. and Tsunekawa Y., "Metal Surface Modification by Electrical Discharge Machining with Composite Electrode," Annals of the CIRP Vol. 42, pp. 219-222, 1993.
3. Kim, C. H. and Kruth, J. P., "Machinability and Surface Characteristics of Sintered Carbides in W-EDM," Journal of KSPE Vol. 16. No. 8, p. 100, 1999.
4. 圖書出版技多利編輯部, 放電加工의 實際와 應用, pp. 7-103, 1990.
5. 윤병주, 유중학, 유호영, 우영환, 정밀가공학, 원창출판사, pp. 152-210, 2000.
6. Matsuo, T. and Oshima, E., "Investigation on the

Optimum Carbide Content and Machining Condition for Wire EDM of Zirconia Ceramics," Annals of the CIRP, Vol. 41, pp. 231-234, 1992.