

세라믹 미세패턴용 감광성 페이스트 및 응용기술

글 _ 김호태 || 요업기술원 시스템모듈사업단
hytek@kicet.re.kr

RF/MW용 세라믹스의 기술동향

정보통신과 디지털 기술의 급속한 발전으로, 고주파 영역에서의 초고속 데이터 처리 및 전송 기술이 적용됨에 따라 이에 대응할 수 있는 기판 및 모듈에 대한 새로운 재료와 패키징 기술이 크게 요구되고 있다. 이에 따라 능동 및 수동부품과 같은 다기능 부품을 집적화 할 수 있는 모듈형의 복합부품의 제작이 현실화 되고 있다. 최근 이러한 모듈 및 패키지 복합 부품의 가장 근간이 되는 재료로서 저온동시소결 세라믹(LTCC: Low Temperature Co-fired Ceramics) 또는 이를 이용한 집적화 기술이 정보통신 관련 업체의 주목을 끌고 있다. LTCC 기술을 이용한 RF 회로의 집적화는 기존의 하이브리드 IC나 표면실장형 기판기술에 비해 다음과 같은 장점이 있다.

- 수동소자의 집적화로 신뢰성 향상, 소형화 가능
- 높은 품질계수/저손실, 낮은 온도계수
- 3차원적 (3-D) 회로 설계 가능
- 회로 임피던스의 조절용이
- 내장형이므로 외부 환경에 대해 안정
- LTCC 기판, 수동소자 및 능동소자 (Si 및 GaAs-IC) 와 열팽창계수의 매칭 가능
- 시제품(prototype) 구현이 빠르고 용이 함 (일관된 공정 기술을 사용하므로 대량생산 가능)

RF/MW용 세라믹 부품의 요구조건

지금까지의 RF 및 passive 소자가 내장된 module solution은 RF회로내의 수동부품을 복합화한 경우로 기판의 소재에 따라 ceramic계인 LTCC module과 수지계인 organic module로 분류된다. 최근에는 가공성에서 우수한 유기(PCB 등 polymer) 기판에 다양한 RF/passive 소자를 내장화 (embedded) 기술 등으로 집적화하는 연구가 많이 이루어지고 있으며, 이러한 embedded 기술은 향후 시스템 집적화 모듈 및 패키지 (SoP: system on package) 에서 그 수요가 증가할 것으로 전망된다. 이 경우 RF/MW 용 기능성 소자를 폴리머 기판상에 구현하기에는 고주파 품질계수나 온도계수의 안정성 등이 세라믹 소자에 비해 낮아 실용화에 걸림돌이 된다. 따라서 이러한 내장형 소자(embedded devices)의 고성능화를 위해서는, 적어도 세라믹과 동등 내지는 우수한 특성의 폴리머 재료가 개발되지 않는 한, 폴리머 또는 세라믹 기판상에 세라믹 소재로 된 기능 소자를 형성하는 것이 바람직하다. 그러나 현재의 세라믹 공정, LTCC를 포함하는, 기술에서는 기존의 후막공정에 기반을 둔 MCM (multi-chip-module) 기술이 대표적이며, 이 기술은 향후 요구되는 초미세 고해상도 배선, 폴리머 기판 호환성 등 고집적화 회로 및 소자를 구현하는데 한계에 다다랐다. 따라서 이러한 한계를 극복하고자 하는 새로운 세라믹 공정 기술이 필요하게 되었다.

Table 1. LTCC Technology Roadmap

	1세대	2세대	3세대
통신system	- 0.8~1.8GHz이동통신 - 2GHz RF Power Amp IMT-2000 - 1GHz PC substrate	- 12 GHz satellite receiver - 27GHz WLL, LMDS - 3GHz PC substrate	- 77GHz anticollision - 30GHz microwave link, wireless LAN
LTCC기술	- 단순한 wiring 기판	- L/C/R 일체형 LTCC - Strip line stub - Transformer	- LTCC 내장형 patch antenna, L/C filter strip line filter
LTCC 소재	기판	기판	기판
	모듈	모듈	모듈
	- $\epsilon_r = 5\sim 9$ - $Q < 500@1\text{GHz}$	- $\epsilon_r = 4\sim 5$ - $Q > 500@10\text{GHz}$	- $\epsilon_r < 4$ - $Q > 1000@10\text{GHz}$
	- $\epsilon_r > 10$ - $Q > 500$	- $\epsilon_r = 8\sim 60$ - $Q > 500$	- $\epsilon_r = 8\sim 100$ - $Q > 1000$

- **집적화(Integration)**
 - 일체형(monolithic)구조: 다층후막 방식 적용
 - 내장형(embedded) 구조: Low-K LTCC 기판내에 L/C/R 소자 내장
- **고주파화 (Higher frequencies)**
 - 2GHz \Rightarrow 77GHz
- **고성능화**
 - High speed: Low-K
 - High integration: High-K
 - 고품질: Low-loss
- **복합화**
 - 후막-박막 혼합기술
 - LTCC-MEMS 혼합기술

감광성 페이스트란

제2세대 및 3세대용 RF/MW용 소자 및 모듈의 소형화 및 집적화 추세에 맞춰 전극 및 세라믹 소재 후막의 미세 정밀 패턴 성형 기술의 중요성이 매우 커지고 있다. 기존의 LTCC 페이스트(metal 및 ceramic)는 screen printing 법에 의해 전극 및 유전체를 후막으로 인쇄함에 따라

인쇄스크린의 정밀도 (400 mesh 최대)에 의해 해상도가 좌우되며, 현재 약 100 μm 정도의 해상도가 최상의 성능이다. 이에 반해 현재 후막공정을 이용한 RF/MW LTCC 소자의 정밀 미세 패턴형성 기술은 50 μm 이하의 해상도를 요구하며, 이를 위해 박막기술에 적용되던 광식각(photolithography) 기술을 적용한 것이 후막 리소그라피(thick-film lithography)이며 (Fig. 1), 여기에 사용 가능한

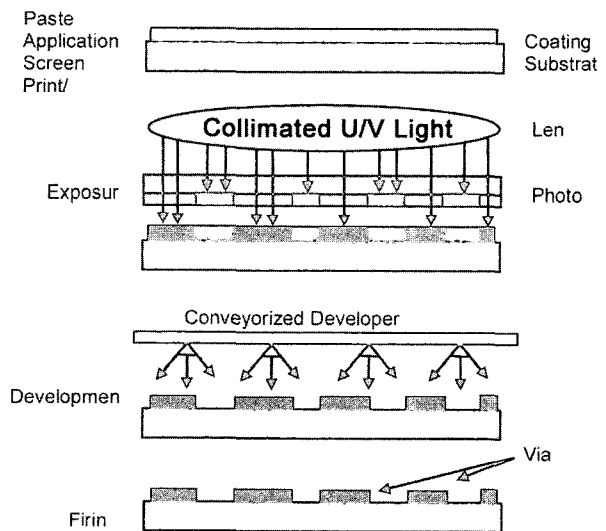


Fig. 1. 후막 광식각 공정.¹⁾



Table 2. Issue of Fine Line in Package

Driver	Enabling attribute	2002	2003	2005	2007
Size reduction	Via size	50 μm	50 μm	40 μm	25 μm
Increased density	Via pitch	200 μm	150 μm	120 μm	75 μm
Size reduction	Line width	30 μm	25 μm	20 μm	15 μm
Increased density	Line pitch	50 μm	50 μm	40 μm	25 μm
Connectivity	Line width & spacing	40cm/cm ²	133cm/cm ²	200cm/cm ²	267cm/cm ²

Table 3. Comparison of Patterning Method

Patterning method	Inner layer	Surface layer	Cofire	Postfire	Minimal sizes(line/space)
Standard screen printing	●	●	●	●	90/100 μm
Fine line screen printing	●	●	●	●	50/75 μm
Photoimageable inks	●	●	●	●	30/30 μm
Etched screen printed layers	-	●	●	●	25/25 μm
Etched thin film layers	-	●	-	●	<20/20 μm

도전성 또는 세라믹 페이스트를 감광성 LTCC 페이스트라 한다. 현재 미국의 Dupont사와 Heraeus사와 같은 극소수의 정밀화학 소재 전문 기업만이 이 제품개발을 완료해 판매를 개시하고 있다. 반면, 우리나라는 이들 해외 감광페이스트를 구입해 시제품을 구현하는 응용 기술의 도입 단계에 머물러 있다.

감광성 페이스트 개발의 필요성

차세대 시스템 모듈용 고집적 passive integration을 위해서는 기능성 막 (film) 형성기술, 수축을 제어 기술과 더불어 고해상도 (high-resolution)의 패턴 (micro-via, conductor line, cavity 등) 형성 기술이 필요하다.

- 종래의 후막 패턴링 기술은 일반적으로 스크린 인쇄법(screen printing)에 의한 것으로 해상도가 L/S = 90/100 μm 정도이며, 초미세 스크린(calendar type)법에서는 L/S = 50/75 μm의 해상도를 얻을 수 있다.
- 최근에는 반도체 가공 기술을 응용한 에칭법에 의한 감광식각법을 적용하여 L/S = 25/25 μm의 해상도도 가능하나, 공정이 복잡하고 적층형의 inner layer에는 적용이 어려운 것이 단점이다.
- 이에 반해 기능성 막(세라믹 또는 도체) 내에 감광재료를 혼합하여 식각하는 photo-imageable형의 광식각법은 공정이 단순할 뿐더러 동시소성 및 적층형에도 적용 가능하여 LTCC 공정에 적합한 것으로 평가된다.

LTCC용 감광성 페이스트는 세라믹 소재 기술, 감광성 유기물 배합기술, 후막 페이스트 제조기술, 그리고 응용 기술의 조합으로 그 응용 영역이 다양하다. 2005년 현재 LTCC 소재용 감광 페이스트 국산화율은 미비하다. 따라서 LTCC 응용 집적화 모듈 및 정밀패키지의 양산이 본격화될 2007년경에는 이 제품의 대외 수입 의존도가 크게 증가할 것으로 예상되고, 독자적 부품 설계와 제조공정 기술의 확보 차원에서도 감광성 LTCC 페이스트의 개발이 시급히 요구된다.

후막용 감광성 페이스트의 장점

감광성 페이스트를 이용한 후막 광식각법(thick-film photolithography)의 장점은 i) 높은 패턴 해상도 (line & space resolution)를 얻을 수 있고, ii) 구현된 회로선이 보다 정밀해짐에 따라 더욱 향상된 전기적 특성을 나타내

Table 4. Comparison of conventional and Photosensitive Thick Film Process

일반 후막기술	감광성 후막기술
<ul style="list-style-type: none"> · 선폭 100 μm 이상 · Via hole 200 μm 이상 · 전기적 특성(유전율, 손실) 저하 · Rough한 표면 및 edge · 전도성 저하(Limited conductivity) · 접착성 낮음(Limited bondability) 	<ul style="list-style-type: none"> · 미세형상: 고해상도(L/S=50 μm 이하) · 고 전도도(high conductivity): 95%(bulk Au 대비) · 탁월한 접착(bonding)성 · 전기적 특성(유전율, 손실)의 정밀 제어 가능 · 초정밀 미세 Via-hole 구현 · 다양한 응용성: LTCC, PDP, MCM 각종 알루미늄 기판

며, iii) 기존의 박막 공정에 비해 비교적 제조원가가 낮은 점 등을 꼽을 수 있다. 그외 기존 후막기술과의 차별성을 Table 4에 요약하였다.

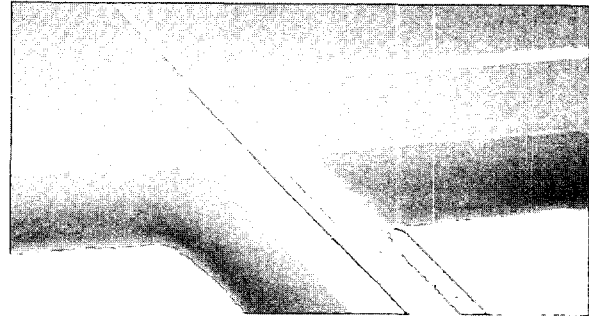
감광성 페이스트 관련 국내의 기술동향

광식각법 (photolithography)에 의한 미세 패터닝 기술은 실제적으로 대부분 감광성 (photosensitive) 재료 혹은 페이스트에 관한 것이며, 따라서 관련 특허도 대부분 감광성 재료의 조성성분 및 그 제조방법에 관한 것이다. 또한 현재 감광성 페이스트 기술 중 photoimageable 페이스트에 관한 특허는 대부분 Toray사가 출원한 것이다. 또한 일부 국내의 연구뿐 아니라 해외의 특허도 대부분 감광성 전극(conductor/electrode) 용 재료이다.

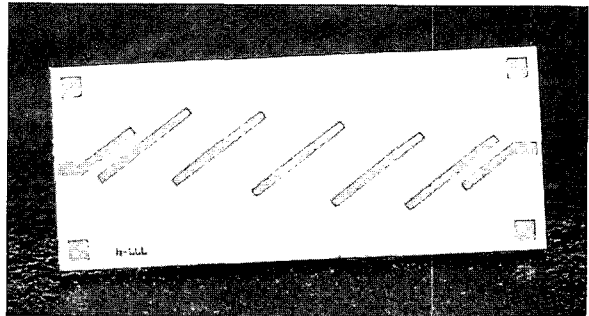
- i) Dupont: Dupont은 일찍이 그들만의 독특한 광식각법을 제안하여 "Fodel" 이라는 상표로 특허화 하고 관련 재료를 시판 중이다.
- ii) Heraeus는 Photoetchable Ag paste 및 dielectric paste를 시판중임. 이것은 Ag 또는 유전체 페이스트를 기판에 인쇄 또는 코팅하여 소성(열처리) 한 다음 그 위에 포토레지스트를 입혀 마스크 패턴으로 노광한 다음 에칭하여 원하는 미세 패턴을 구사하는 방식이다.
- iii) Toray Inc.: 일본의 Toray 사는 위와는 달리 페이스트 조성 자체에 감광성 폴리머 및 UV 흡수제, 솔벤트 및 첨가제를 포함하는 조성으로 구성되어, 기판상에 도포 후 마스크 패턴을 통한 UV 노광 후 즉시 현상 및 세정공정에 의해 미세 패턴을 구현하는 방식이다. 또한 이 방법은 그린시트 상에도 적용 가능하여 LTCC공정에 적합한 것으로 알려져 있다. Toray는 이 방법을 통해 최근 각광 받고 있는 PDP용 격벽(barrier-rib)제조에도 적용 하였으며, 관련 기술을 특허화 하였다.(USP 6,635,992, 2003. 10; USP 6,576,391, 2003.6; KR 10-0412293, 2003. 12). 이러한 감광성 페이스트는 일반적으로

photoimageable 페이스트라 부른다.

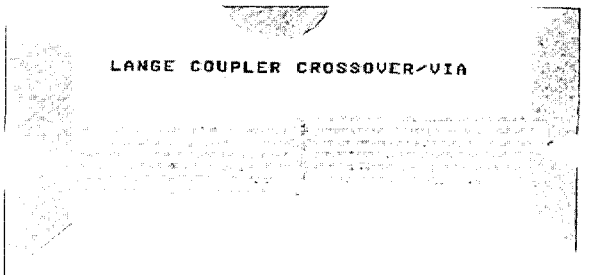
iv) 국내에서는 대주전자재료(주), 제일모직, 전자부품



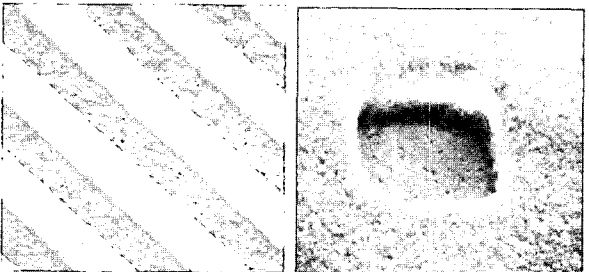
(a) Micro-strip line on dielectric



(b) 33GHz edge-coupled Filter



(c) 20GHz lange coupler



(d) 50 μm Strip line

(e) 50 μm Via hole

Fig. 2. 후막 광식각법 (thick-film photolithography)을 이용한 미세패터닝 기술의 응용 예.



연구원, 요업기술원 및 일부 대학에서 감광성 수지 및 PDP나 LTCC, 그 외 전자소재 및 부품용 감광성 세라믹 또는 전극 페이스트를 개발하고 있다.

후막용 감광성 페이스트의 용도 및 응용

후막용 감광페이스트 및 광식각법을 이용한 미세패터닝 기술로 RF/마이크로파 회로 (~76GHz), Multi-chip 모듈 (MCM-D), 디스플레이 (PPD), 마이크로 센서, 정밀 의료기구, 기타 복합형 회로 연결 모듈 및 패키지 (SoP)등을 들 수 있으며, Fig. 2에 대표적인 몇가지 예를 제시하였다.

감광성페이스트 제조기술

감광성 페이스트는 크게 유기성분 (organic component) 과 무기성분(inorganic component)으로 구성되어 있다. 무기성분은 전자기 기능을 나타내는 유전체 등의 세라믹 스재료 및 전극소재로 쓰이는 금속분말이 그 예이다. 유기성분은 주로 페이스트화 기능, 인쇄 및 후막 공정을 위한 첨가물로서 크게는 감광성 모노머(photosensitive monomer), 광중합 개시제(photo-initiator), 자외선 흡수제 (UV absorber), 증감제(absorbent sensitizer), 중합금지제, 가소제, 유기용매(solvent) 등이다.

감광성 모노머로는 탄소-탄소 불포화 결합을 포함하는 화합물로서 메틸아크릴레이트, 에틸아크릴레이트, 이소부틸 아크릴레이트 등이며 보통 1종 또는 2종 이상 혼합해서 사용할 수 있다. 광중합개시제로서는 벤조페논계, 2,2-디메톡시-2-페닐아세토펜계 등으로서, 감광성 성분에 대하여 약 0.05 -10 wt% 범위로 첨가된다. 광중합개시제의 양이 너무 적으면 광감도가 불량해지고, 너무 많으면 노광부의 잔존율이 너무 작아질 우려가 있다. 자외선흡수제로는 자외선흡수효과가 높은 화합물을 첨가함으로써 고중형비, 고정세, 고해상도를 얻을수 있으며, 유기염료 또는 유기 안료중에서 350-450 nm의 UV 파장 범위에서 높은 UV흡수계수를 갖는 적색유기염료가 바

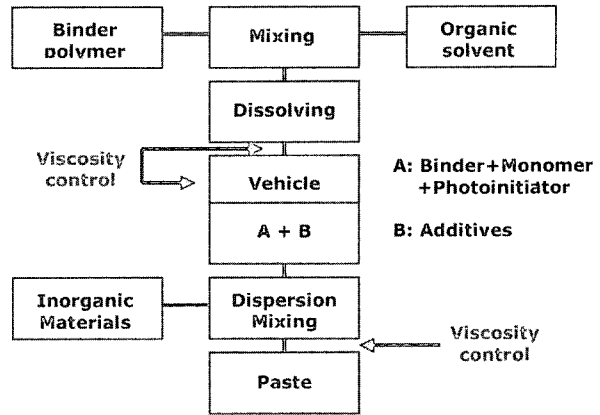


Fig. 3. 감광성 페이스트 제조공정.

Table 5. Typical Composition of Organic Component

Organics	Weight (%)
Photosensitive Monomer	20-35
Photo-polymerization	5-20
Photo-initiator	5-10
Absorbent sensitizer	5-10
Ultraviolet ray absorbent	1-5
Photosensitive polymer	30-50
Total	100

람직하며, 이조계 (red azo dye) 및 벤조페논계 염료등이 많이 사용된다. 증감제는 감도를 향상시키는 목적으로 첨가되며, 2,6-비스(4-디에틸아미노벤잘)시클로펜타는 등이다. 가소제는 디부틸프탈레이트(DBP), 폴리에틸렌글리콜(PEG) 등이며, 산화방지제는 보존시에 아크릴계 공중합체의 산화를 방지하기 위한 것으로 2,6-di-t-4-에틸페놀 등이다. 유기용매로서는 g-BL(g-ButyroLactone) 등이며 1종 또는 2종 이상 혼합한 용매(mixed solvents)를사용하기도 한다. Fig. 3은 일반적인 감광성 페이스트 제조 과정을 도식화 한 것이며, Table 5는 감광성 페이스트용 유기재료의 주요 성분 배합률을 나타낸 것이다.

감광성 페이스트를 이용한 후막 광식각 공정

감광성 페이스트를 이용한 후막 광식각공정은 일반적인 반도체 공정의 광식각 공정과 동일한 장비를 사용하며, Fig. 4에 감광성 LTCC 페이스트에 대한 광식각 공정의 일례를 나타내었다. 공정순서를 개략적으로 보면, 전

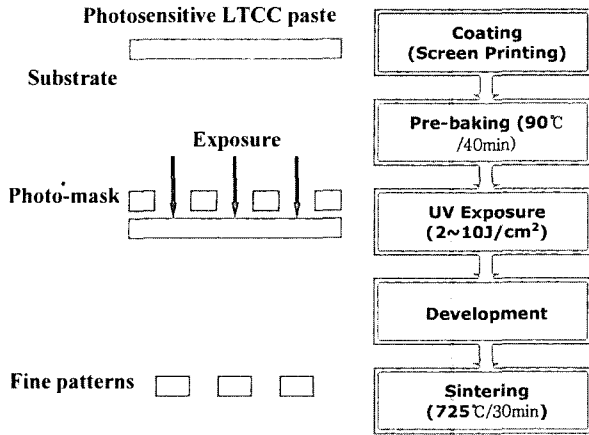


Fig. 4. Photolithographic process of LTCC paste.

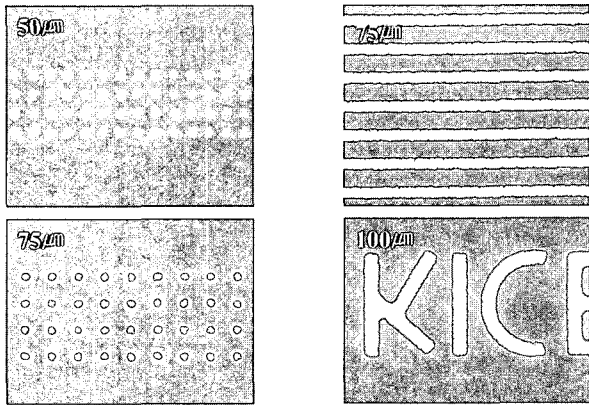


Fig. 5. Optical microscopy of patterned structure.

처리 → 도포 → 후막처리 → pre-baking → 노광 → 현상 → 린스 → post-baking → 박리와 같은 공정을 거치게 된다. Fig. 5는 이와 같은 공정에 의해 형성된 패턴의 일례를 보여 주고 있으며, 전도성 페이스트의 경우 약 L/S = 25/25의 해상도까지 가능하다고 알려져 있다.

맺음말

차세대 정보통신 기기의 요구 성능인 초고속 디지털화, 높은 interconnect 밀도, 고전력밀도, 고신뢰성, 경박단소 및 저가화에 대응하는 새로운 패러다임의 시스템 집적화 (system integration) 기술이 요구 되고 있으며, 이에 대응하는 세라믹 미세 패터닝 기술의 한 예로서 감광성 페이스트 및 이를 이용한 후막 광식각법을 그 솔루션으로

제시하고 이에 관한 매우 기본적인 기술자료를 간단히 열거하였다. 현재 후막 광식각법은 원가 나 공정 면에서 기존의 후막기술 및 박막공정기술에 비해 여러가지 장점을 갖고 있는 반면 국내에서는 아직 기반기술이 성숙되지 못해 실용화 면에서 더디게 접근하고 있는 실정이며, 추후 감광성 소재 개발, 새로운 공정기술 및 응용분야의 개척등의 과제를 안고 있으므로 향후 관련분야에 연구개발 노력을 경주한다면 국내의 부품소재 산업에 크게 기여할 것으로 전망된다.

참고문헌

1. www. Dupont.com/mcm
2. T. Masaki, A. Yoshimura, K. Iwanaga, G. Tanaka, "Photosensitive Conductive Paste", 1997 IEMT/IMC proceedings, 356-361 (1997).
3. T. Masaki, T. Kitagawa, A. Yoshimura, K. Iwanaga, "Photosensitive Ceramic Green Sheet", US Patent No. 6,004,705 (1999).
4. Y. Iguchi, T. Masaki, K. Iwanaga, "Photosensitive Paste, A plasma Display, and A Method for the Production Thereof," US patent No. 6,197,480 (2001).
5. L.S. Park, S.W. Jeung, and S. H. Paek, "Water-Developable Photosensitive Barrier Rib paste for PDP and Photolithographic Process," J. Korean Ind. Eng. Chem., 12[7] 820-26 (2001).
6. Y. Iguchi, T. Masaki, K. Iwanaga, "감광성 페이스트, 플라즈마 디스플레이 및 그 제조방법," PCT/JP 1996/001596, WO 1996/42035 (1996)

◎ 김효태



- 1990.4-1992.4 AVX/Kyocera 한국지사
- 1992.9-1995.8 고려대학교 석사과정
- 1992.9-1999.10 한국과학기술연구원 위촉 연구원
- 1995.2-1999.2 고려대학교 박사과정
- 1997.2-1990.2 삼성전기(주)
- 1999.4-1999.10 Jozef Stefan Institute, post-doc
- 1999.11-2001.12 The Pennsylvania State University, post-doc
- 2002-현재 요업기술원 시스템모듈사업단 선임연구원