다기능성 나노자성복합소재 기술동향

김유상*

한국과학기술정보연구원 ReSEAT 전문연구위원

Technical Trend of Multi-function for Nano-magnetic Material

Yu-Sang Kim*

Department of Material Science, Korea Institute of Science and Technology Information,
Seoul 130-741, Korea

(Received December 20, 2011 ; revised February 24, 2012 ; accepted February 28, 2012)

Abstract

Recently, it has been developed for Eco-environment, Super light, Multi-functional nano materials. As needed mobile parts in Smart phone or TV, computer, information communication for high pass signal, multi-function, Magnetic thin film materials have been developed. As last, magnetic powder, sintered and sputtering parts were thick and low purity than electroplating layer, low pass signal and noise were resulted, vibrated TV screen. Because chemical complex temperature was high and ununiform surface layer, it has been very difficult for data pass in High Frequency (GHz) area. Large capacity data pass is used to GHz. Above GHz, signal pass velocity is dependent on Skin Effect of surface layer. If surface layer is thick or ununiform, attachment is poor, low pass signal and cross talk, noise are produced and leaked. It has been reported technical trend of Electrochemically plating and Surface treatment of Metal, Polymer, Ceramic etc. by dispersion/complex for Multi functional nano-magnetic material in this paper.

Keywords: Electroplating, Multi functional nano-magnetic material, Cross talk, Noise, High frequency, Skin effect

1. 서 론

최근, 친환경, 초경량, 다양한 기능성 나노복합소재가 개발되고 있다. 국내에서도 스마트폰이나 TV, 컴퓨터, 정보통신 등 이동통신부품의 신호고속화, 다기능화의 요구에 따라 박막자성소재 개발이 추진되고 있다. 종래의 분말자성, 소결 및 증착제품은 전기화학적 도금층보다 두께가 두껍고 순도가 낮아 신호전송이 느리고, 노이즈가 발생하였다. TV화면 떨림의 문제도 발생하였다. 화학합성 온도가 높고 표면층 두께가 균일하지 못하여 수GHz영역의 데이터 전송에 많은 어려움이 많았다. 대용량 데이터 전송은 수GHz영역의 고주파영역에서 사용되고 있으며 GHz이상에서는 표면층의 표피효과(Skin Effect)

에 따라 신호 속도가 좌우된다. 표면층 두께가 두껍거나 편차가 크고, 밀착성이 나쁘면 전송속도가 느리고 잡음이 발생하거나 누설된다. 본고에서는 금속, 고분자, 세라믹 등을 분산/복합하여 제조할 수 있는 전기화학적 도금표면처리 기술에 의한 다기능성 나노자성복합소재 기술동향을 제시하였다.

2. 개요 및 특성

2.1 연구의 목적

고주파 신호고속송신을 위한 인쇄회로기판과 반도체 표면을 얇고 균일하게 유지하는데 종래의 건식법으로써는 제조공정 특성상 한계성이 내재해 있다. 이에 균일하고 얇은 표면층 두께확보를 위한 전기화학적^{1,2)} 제조기술동향을 제시할 필요가 있다. 저온습식공정³⁾에서 수용액을 사용한 Ferrite도금피막

*Corresponding author. E-mail : ysk2000@hanmir.com

은 건식증착 방법에 비해서 10배 이상 석출속도가 빠르고, 결정화에 유리하며 큰 포화자화를 나타낸다. 최근 이동용 고주파 영역에서 사용되고 있는 스마트폰이나 스마트TV 등의 자성도금박막 기술동향을 파악하여 저온에서 사용할 수 있는 전기화학적으로 미세한 박막석출 기술에 적용함을 연구목적으로 한다.

2.2 연구의 내용

2.2.1 인쇄회로기판 도금

가. 표피효과와 균일박막도금

이동통신용 부품은 주파영역의 신호고속송신을 목적으로 회로의 박막미세화가 요구되고 있으며 신호전송은 고주파영역으로 갈수록 표피효과(Skin Effect)가 적용된다. 수GHz이상 고주파영역에서 신호를 고속송신하기 위해서는 밀착성이 우수한 얇고 균일한 박막도금⁴⁾이 요구되고 있다. 종래의 전파흡수체는 주파수 대역 1 GHz 이하에서 이용되었고 차단재의 두께 또한 1 mm보다 두꺼웠다. 장시간 사용하면 전기저항이 상승하며 많은 열이 발생하였고 신호전송에 많은 장애가 발생했다.

통신기기가 이동용으로 전환되면서 대용량, 고속의 정보 전달이 필요하다. 플렉시블 인쇄회로기판(F-PCB, Flexible Printed Circuit Board)의 얇고 유연한 특성을 살려, 모바일, 광학, 노트북, 프린터, LCD 등 IT산업 전반에 걸쳐 사용되고 있다. 그림 1(a)와 그림 1(b)는 고속송신이동용 플렉시블 인쇄회로기판 도금제품으로서 휴대폰과 디지털캠코더용으로 사용되고 있다. 미소전류는 표피효과에 따라 흐르기 때문에 스마트폰이나 LED TV를 비롯한 Tablet PC, 반도체, 전자부품의 대용량 데이터를 고속으로 전송할 수 있다. 최근 인쇄회로기판 도금표면의 신뢰성확보가 중요하다.

플렉시블 인쇄회로기판은 유연성과 내열성 유기절연체 표면에 전도성이 우수한 도체회로를 형성한 전자회로기판으로서 회로의 미세화가 요구되고 있다. 인접 회로간의 전자파 차폐, 구리성분의 편석방지 및 신호고속전송을 위해 고성능의 회로소재 확보가 필요하다. 최근 1/3Oz의 12 μ m 전해 동박을 기

본으로 D/F(Dry Film)과 Solder도금 레지스트를 사용하여 염화동과 알칼리 에칭을 한다. 이 후 공정에서 0.5 μ m PTH(Plated Through Hole) 1차 무전해 Cu도금과 2차 전기Cu도금, 0.3 μ m 무전해 Ni도금한 후, 0.03 μ m 무전해Au도금을 한다.

나. 회로미세화와 전기저항

회로가 미세화하면 전기저항이 상승하고, 도전손실(αR) 때문에 표피효과(Skin Effect)가 적용된다. 이 때문에 표면층두께는 보다 얇고 균일해야 하고, 도금밀착성 확보는 필수적이다.

$$\alpha R = 4.34 \times \frac{\beta \sqrt{\omega}}{1 - e^{\beta \sqrt{\omega}}} \times \frac{R_{DC}}{Z_0} (\text{dB/m})$$

여기서 Z_0 은 특성임피던스, Z_r 은 입력임피던스 값으로서 접합부에서는 Z_r 이 Z_0 과 같을 때 반사는 일어나지 않으며 상대방에게 신호를 고속으로 송신할 수 있다.

$$\Gamma = \frac{Z_r - Z_0}{Z_r + Z_0}$$

표피효과에 따라 인쇄회로기판 도금두께⁵⁾는 1 kHz에서 2,140 μ m, 10 GHz에서는 0.7 μ m이 요구되고 있다. 수GHz영역에서는 도금두께가 2 μ m이하인 평활한 면이 요구된다.

2.2.2 자성다층도금

종래의 사용주파수 대역은 수백kHz 이하이기 때문에 차단재도 1 mm 이상으로 두꺼웠다. 그러나 최근 수GHz 이상의 고주파송신으로 변화되면서부터 표피효과를 살린 무전해 도금이나 나노복합도금, 페라이트 도금 등의 복합도금이 개발되고 있다. 제한된 공간에 데이터처리 정보량이 급속히 증가하고 신호의 고속송신이 요구되면서부터 관통전극(TSV; Through Silicon Via)과 반도체 부품과 배선실장에도 나노규모로 고밀도회로화가 요구되고 소형화되고 있다. 반도체부품과 기판접속에서는 고속처리를 위하여 배선의 특성임피던스 제어와 편차가 문제로 되고 있다. C-NET사의 Kiyoshi TAKAGI 등은 인쇄회로기판의 특성임피던스 요구를 만족시키기 위하여 회로패턴에 균일도금과 에칭을 하였다. 그림 2는 TSV(Through Silicon Via) 반도체의 Au/Ni/Cu다층도금 공정이다. 스마트정보통신용으로 사용되며 무전해와 전해도금을 한다.

소형부품의 페라이트 유전체는 포화자속밀도가 낮기 때문에 큰 전류가 흐르는 대형기기에 사용하기 어려웠다. 한편, 저손실화, 대전류, 파워용 유전

Fig. 1. F-PCB (a) and RF-PCB (b) for High Frequency (GHz).

Fig. 2. Au/Ni/Cu 3Layer Plating process for TSV semiconductor.

Fig. 3. Au/Ni/Cu 3Layer semiconductor for 103inch super smart TV.

체의 요구를 만족시키기 위해서는 높은 포화자속밀도의 금속자성체가 효과적이지만 고주파영역에서의 손실이 문제이다. 2010년 6월, Panasonic사의 Hitoshi ISHIMOTO 등은 주파수 특성개선을 목표로 금속자성체로서 철-니켈합금을 사용하였고, 고저항체로서 전기분해법으로 제조된 산화동을 사용하여 금속자성체/고저항체/금속자성체의 적층구조를 형성하였다. 그림 3은 2011년 Panasonic사가 Au/Ni/Cu다층도금 TSV반도체를 실장하여 일산 KINTEX전시장에 선보인 리모콘을 사용하지 않는 103인치 대형 스마트TV이다.

일본의 A. Yamada 등은 미세컴퓨터 펄스전류를 사용하여 Co/Cu다층금속박막 층을 석출시켜서 자기적 물성을 조사하였다. 자기적 저항과 결정 상태는 강자성의 Co박막과 비자성인 Cu층의 두께에 의존하였다. 도금법에 의한 다층박막자성 재료의 제조방법에 관한 특허⁷⁾에서 복잡한 기판 상에도 균일한 자성박막 형성이 가능한 합금도금 층으로 이루어지는 다층박막의 제조방법을 제공하였다. Ni-Co-B비정질 합금 도금층을 교대로 적층하여 종래의 액체도금법의 접합강도나 스퍼터링법 등의 원가상승 문제를 보완하고 있다.

2.2.3 산화물계 자성도금 반도체

가. 고주파용 페라이트 도금

Spinel형 얇은 페라이트 막을 수용액으로부터 제조하는 방법⁷⁾이 보고되었다. 페라이트 $[(1-x)M^{2+}Fe^{3+}_2O_{4+x}Fe_3O_{4-\delta}(\delta=\lambda, M=Ni^{2+}, Zn^{2+}, Co^{2+} \text{ 등}, 2가 금속)]$ 도금 법은 90°C의 수용액에서 석출 속도가 분

Fig. 4. High heat sink of Organic polymer sheet for LED.

당 120 nm 이상으로서 기존의 증착방법 보다 10배 이상 빠르다. 열처리를 하지 않아도 결정화하여 큰 포화자화를 갖는 등 우수한 특성을 갖는다. Mn-Zn 페라이트나 Ni-Zn페라이트는 Ni-Fe 등의 합금계 연질자성재료에 비하여 8~12배 높은 저항률을 나타내고, 백 MHz 이상의 대역에서 고주파 특성도 우수하다. 일본 Panasonic전자부품 사의 Nobuhiro MATSUSHITA 등은 낮은 온도에서 페라이트 막을 석출하여 전도노이즈 억제에 기대할 수 있는 고주파 자기 특성을 연구 중에 있다. 노이즈, 화면 떨림 해결을 위하여 금속박막, 페라이트 산화물 등의 연질자성분말을 폴리머 중에 분산시킨 복합형 차폐필름 소재도 개발 중이다.

전자파차폐 기능성 박막소재들은 스마트폰, 스마트TV, 디지털카메라, LED 등 터치스크린용으로 일본 주도로 시장이 형성되고 있다. 좁은 공간에서 보다 얇고 자기특성이 뛰어난 복합박막 추세이다. 충격흡수율과 방열기능이 뛰어난 유기고분자 박막 친환경소재도 시판되고 있다. 그림 4는 Panasonic전자부품 사가 국내에 선보인 대표적인 고방열 전도성 유기고분자 기판용 박막 LED발광제품이다.

나. 산화물계 반도체 막의 화학적 석출^{8,9)}

일본에서는 전자가 갖는 전자와 스핀의 2가지 성질을 동시에 이용하여 전기장과 자기장을 제어하여 반도체 등 각종 소자의 정보저장, 전송장치를 개발 공급 중이이다. Spintronics 분야에서는 자성금속원소를 반도체에 치환 고용한 희박강성반도체나 강자성미립자를 반도체에 매립한 CdTe나 ZnTe, ZnO 등의 II~VI족, Ga-As나 GaN, InAs 등의 III~V족 반도체를 중심으로 한 자성반도체가 보고되고 있다. 박자성반도체에서는 특히 천이금속원소를 치환 고용한 ZnO가 실온보다도 높은 Curie 온도를 나타낸다. 실용상의 관점에서 주목된다. 강자성의 거동을 실온에서 나타낸 ZnO계의 희박자성반도체가 다수 보고되고 있으나, 치환고용상태의 분석이 곤란하다. 강자성의 본질적인 결합이나 불순물에 의한 논의도 거론되고 있다. A. Nay 등의 방사광을 이용한 X선 흡수분광법이 희박자성체품질의 지표로 제시해 주

고 있다. 서로 다른 입자형의 Co-ZnO나 MnAs-GaAs 자성반도체가 보고되고 있고, 특이한 스핀의 존효과를 이용한 장치의 응용이 기대된다.

2010년, Osaka시립공업연구소 Tsutomu SHINAGAWA 등은 산화물계 자성반도체 막의 화학식출에 관한 새로운 자성박막형성기술을 개발하였다. 기존의 습식공정과는 다른 새로운 수용액 화학식출공정을 이용하여 강자성 산화철 미립자를 도입한 서로 다른 입자형의 자성반도체인 나노복합 ZnO박막이다. 가시광선영역에서 높은 투명성과 낮은 전기저항을 및 실온 강자성을 나타내고, 광의 조사나 외부자장에 의하여 전기저항이 변화하는 성질도 확인되고 있다.

다. 금속과 반도체 양극산화피막

금속이나 반도체의 표면은 대기 중에서는 산화피막으로 피복되어 있다. 금속표면의 노출은 초고진공 중에서의 갈라진 틈이나 표면을 굽은 후 단시간의 경우만으로서 금속과 산소의 친화성이 매우 높다. 알루미늄이나 티타늄, 탄탈, 니오븀 등은 전해액 중에서 양극분극에 의하여 두껍고 치밀한 정류특성을 갖는 산화피막을 형성한다. 피막의 두께는 인가한 전압에 의하여 피막 중으로 이동하는 이온의 이동거리를 결정하기 때문에 전압에 비례한 값을 나타낸다. 인가한 전장의 영향 하에서 전해액으로부터 피막 중으로 봉입된 전해질이온의 종류와 양에 의하여 피막 특성이 변한다. 최근 Kogakuin대학의 Yukiko Ono¹⁰⁾는 금속 및 반도체의 양극산화피막의 성장과 구조제어의 기구와 특성을 보고하였다.

2.2.4 금속-나노고분자 복합도금

산화물기지 중에 Fe나 Co 등의 자성금속 초미립자가 분산한 금속-산화물계의 입상박막¹³⁾은 초기투자율이 크고 높은 저항률을 갖기 때문에 GHz대의 마이크로자기디스크나 전자파 흡수 재료 등에 응용되고 있다. 금속-산화물계의 입상박막은 주로 증착법 등의 물리적 성막법이 주류를 이루었지만 습식 전기화학적 막은 저온에서 가능하고, 평면에 관계없이 임의의 형상표면에도 성막이 가능하다. 막형성속도가 빠르고, 제조비용이 염가인 점 등 증착에서는 볼 수 없는 특징이 있다. 최근, Nara국립기술대학의 Naoyuki FUJITA는 전착도장기술을 응용하여 금속-고분자계의 입상박막도 전해식출을 이용하여 제조하였다.

가. 금속나노입자 제조¹¹⁾

금속나노입자 제조기술은 급속히 발전하고 있다.

오래전부터 금속콜로이드라 불렀던 금속나노입자는 100년 이상의 역사를 갖고 현재는 1 nm에서부터 100 nm 범위로 지난 10년간 개발이 진행되고 있다. 2008년 Tokyo대학의 Naoki TOSHIMA 등은 화학적인 금속나노입자의 유기물과의 안정성과 분산매체중에서 분산되어 기능을 발휘하는 것을 발견하였다. 화학적인 방법은 제어가 용이하고 노하우가 많고 원천적인 약품에 대한 지식을 필요로 한다. 반면에, 물리적 방법은 대량생산이 유리하지만 입자의 크기나 형태, 구조제어가 복잡하다.

백금이 고가이기 때문에 자기기록재료로 사마륨, 코발트계의 나노입자를 사용하였다. 사마륨이나 코발트도 산화되기 어렵지만 금과 공존시키면 안정하게 합성된다. 차세대 초고밀도 자기기록재료로 사용할 수 있는 가능성을 제시해 주고 있다. 액정의 전기 광학적 금속나노입자를 소량 첨가하여 응답속도가 빠른 정보를 얻고 있다. 환경이나 에너지 분야에도 금속나노 입자가 큰 역할을 하며 연료전지의 촉매, 비열을 이용한 열전변환 소재로 응용되고 있다. 연료전지는 촉매 등으로 백금나노입자가 탄소와 반응하기 때문에 운전 중에 금속이나 탄소를 부식, 용해하여 과산화수소를 발생시키는 문제가 있다.

나. 나노입자 분산기술¹²⁾

나노입자는 광에 대한 투명성·양자 사이즈 효과·촉매활성 등 종래에 없는 특징적인 성질을 나타낸다. 이 때문에 의약품, 화장품, 촉매, 잉크, 광학재료 등의 분야에서 나노입자의 특징적인 성질을 활용한 재료개발이 활발히 진행되고 있다. 2010년, Tohoku대학의 Kanie Kiyoshi는 가온유황(sulfo thermal)법을 활용하여 용매 중으로 용이하게 분산하는 고결정성 ITO 나노입자 합성법을 개발하였다. 이 기술에서는 알칼리 소스로서 수산화나트륨을 함유한 에틸렌글리콜과 인덱 염을 혼합하여, 250°C에서 가열함으로써 에틸렌글리콜에 매우 안정하게 분산하는 ITO 나노입자를 합성할 수 있었다.

나노입자분산기술을 활용하여 유기·무기 하이브리드 액정의 개발에도 적용하였다. Kanie Kiyoshi 등은 이 아민의 산화티타늄 입자에 대한 높은 흡착성을 나노입자분산을 위하여 액정에 적용하였다. 액정은 굴절률의 이방성을 갖기 때문에 액정 텔레비전의 디스플레이장치에 폭넓게 사용되고 있다. Gel-Sol법을 이용하면 산화티타늄뿐만 아니라 산화철입자의 합성도 가능하다. 사용되는 형태 제어제는 황산염이나 인산염이다. 산화철 나노입자의 균일분산·액정화도 검토한 결과, 산화티탄의 경우와 동일

하게 인산기의 유기액정을 사용하여 산화철입자의 액정화에 성공하였다.

기능성 나노입자의 종류는 많고, 많은 나노입자의 형태제어 기구에 대해서는 아직도 미개척 상태이다. 나노입자의 합성에 있어서 계면제어는 분산 기술에 직결하는 것이기 때문에 나노입자와 형태제어제의 불균일계면의 정확한 이해가 향후 더욱 더 중요하다.

다. 나노결정 세라믹스

종래의 건식법은 소결합성에 1,000°C 이상의 고온이 필요하였고, 제품이 두꺼워 제조원가도 높았다. 자성표면층두께가 두꺼워 신호전송이 느리거나, 차단되기도 했다. 라디오에 잡음이 많이 발생하였고, TV화면이 떨려 선명한 화질을 볼 수 없는 품질문제가 발생하였다. 10 GHz 이상의 고주파영역에서는 표피효과(Skin Effect)에 의하여 전류는 도체 표면을 따라 흐른다. 도체표면두께가 두꺼우면 신호전송속도가 느리다. 형상이 굴곡지거나, 파이프형태의 복잡한 소재에 두께를 20 μm 이하로 제조해야 한다. 일본이나 중국에서는 새로운 종류의 나노입자의 합성이나 같은 나노입자에서도 새로운 합성법개발 등, 나노입자의 합성에 관한 부분에서 연구가 진행되고 있고, 세계를 앞서가고 있다.

세라믹스재료의 미세구조가 나노상태에 이르고, 나노수준의 결정존재와 물성의 영향을 무시할 수 없는 상황이다. 나노구조를 정밀하게 제어함으로써 지금까지의 특성한계를 돌파하여 종래재료를 훨씬 상회하는 슈퍼세라믹스의 제조가 기대되고 있다. 2004년에 일본 Kyushu대학 Kuwahara Makoto의 제안에 의하여 나노결정세라믹스분과회가 일본세라믹스협회의 전자재료부문에서 탄생했다. Yamanashi대학의 Wada Satoshi 등도 참가한 이 분과위원회는 나노결정세라믹스 연구의 일환으로 종래의 세라믹스 물성을 훨씬 더 상회하는 계기가 되었다. 슈퍼세라믹스 제조목적으로서 여러 가지 물성을 갖는 나노결정을 기본 재료로서 3차원 구조로 열처리하여 mm 상태의 나노결정세라믹스를 제조하는 도전 목표를 제시하고 있다. 대학에서만 머물지 않고 대학, 국가연구, 기업의 연구자가 동일한 비율로 팀을 구성하였다. 장래 사회에서 요구되는 지표를 만족시키는 물성을 얻고 있다.

일본에서는 페라이트의 수용액 전기화학적 나노복합 도금기술을 사용하여 낮은 보자력(Hc; Coercive Force)과 높은 포화자화(Ms; Magnetic Saturation) 등¹⁰⁾ 우수한 연자기 특성을 얻고 있다.

3. 국내외 연구동향 및 기술정보분석

3.1 다기능성 복합소재 종합

기술정보분석은 Engineering Village 플랫폼을 통해 제공하는 공학일반 DB인 Compendix를 이용하여 1991년부터 2011년 12월 현재까지 발표된 다기능성 복합소재에 관한 학술정보와 Sciencedirect, KIPRIS의 특허정보 검색DB를 사용하였다. Compendix는 공학 분야의 국제적인 출판사인 Engineering Information Inc.의 The Engineering Index Monthly(Ei)지를 컴퓨터 가독형으로 만들어 DB로서 5,000여 종 이상의 공학계 잡지, 회의록, 기술보고서로부터 900만 편 이상의 정보를 수록하고 있다. 정보검색에 사용한 키워드조합을 표 1에 나타내었다.

표 2에 1991년도부터 2011년 현재까지 20년간 다기능성 복합소재에 관한 기술개발 건수를 국가별, 연도별, 건수별 3차원으로 종합하였다. 기술개발 건수는 총 20,480건으로 조사되었다. 1991년도부터 현재까지 다기능성 나노복합소재의 기술별 점유율을 그림 5에 종합하여 나타내었다. 기능성 PCB도금이 37%로 가장 높고, 산화물계 자성도금 반도체 22%, 자성다층도금 18%, 금속-나노자성 복합도금이 8%의 점유율을 보였으며 생체나노입자 6%, 나노흡착 4%, 나노구조 3%, 나노핵산과 하이브리드 소재는 각각 1%를 점유하였다.

2009년 미국의 Massachusetts, Boston Lux Research 조사팀이 보고한 다기능성 나노복합소재 개발제품의 연도별 상용화 추세를 보고하였다. 1920년에 플

Table 1. Key word of multi-function complex material

Item	Combination of Key word
www.sciencedirect.com	(multifunct* magnetic material), (multifunction* complex material)
www.kipris.or.kr	(multifunction+magnetic*material)
www.ndsl.kr/brief.do	(multifunct* magnetic material), (multifunction* complex material)

Table 2. Summary status of multi-functional magnetic complex material

Fig. 5. Research of multi-functional magnetic complex material.

Fig. 6. Annual research of multi-functional magnetic complex material.

Fig. 7. National research of multi-functional magnetic complex material.

라스틱소재가 개발되면서부터 1953년부터 1970년에 걸쳐 생체소재가 개발되기 시작했다. 1972년부터 1991년까지 인터넷 사용이 증가하면서 나노기술개발이 연속적으로 상용화되었다. 다기능성 자성복합소재의 연도별 개발건수를 그림 6에 나타내었다. 1991년에 394건, 1998년도 972건, 2010년에 1,444건을 개발하였다. 10년간 평균 500건 이상 개발되었다.

다기능성 자성복합소재의 20년간 국가별 개발건

Fig. 8. Senior research of multi-functional magnetic complex material.

Fig. 9. Institute of multi-functional magnetic complex material.

수를 그림 7에 나타내었다. 일본이 가장 많은 4,978건, 미국 3,160, 중국 2,490건에 이어 독일 2,175건, 영국 1,839건, 프랑스 1,743건, 스위스 1,443건, 네덜란드 1,187건에 이어 이탈리아가 985건을 개발하였다. 다기능성 자성복합소재의 전문연구분야별 개발건수를 그림 8에 나타내었다. Function PCB소재가 5,428건으로서 전체의 가장 많은 비중을 차지하였다. Multi-layer 다층소재 4,381건에 이어 Ferrite 도금소재 3,519건, 자성입자 3,794, 금속-고분자 복합도금소재 2,856건으로 나타났다.

다기능성 자성복합소재의 기관별 개발건수를 그림 9에 나타내었다. Matsushita사가 1,781건으로서 가장 많이 개발하였고 Shanghai Academy사가 NEC사에 이어 1,079건으로 3위, 핀란드의 SEAM Centre가 943건으로 6위, 폴란드의 Szczec가 893건으로 8위를 보였다. 한국의 삼성전자는 81건, LG전자는 78건을 개발하였다.

2010년 미국 국립건강센터 생체의공학 센터 분자복제 나노연구실 Jin Xie 등¹³⁾은 생쥐의 암 발생부위에 나노 자성복합 Fe입자를 주입한 후 생쥐의 거동을 양자역학적으로 밝혔다. 이 생쥐에 대한 연구데이터를 인간의 암 치료에도 활용하고 있으며 연구결과를 Advanced Drug Delivery Reviews 학회지에 등재하였다. Ad520, Ad-SO-Mag2 혹은 Ad-PEI-

Mag2복합자성체를 사용하였다.

3.2 인쇄회로기판

기술정보분석은 1991년부터 2011년 12월 현재까지 발표된 인쇄회로기판에 관한 학술정보와 Sciencedirect, KIPRIS의 특허정보 검색DB를 사용하였다. 정보검색에 사용한 키워드조합을 표 3에 나타내었다. 연도별 기능성 PCB에 관한 학술발표를 그림 10, 표 4에 나타내었다.

기능성 PCB의 학술정보는 모두 4,896건으로서 연평균 245건이며 가장 많이 발표한 해는 2010년으로서 348건이다. 가장 적게 발표한 해는 1991년이며 89건을 발표하였다. 국가별 현황은 2011년에 중국이 89건을 발표하였고 일본의 87건이었다.

기능성 PCB에 관한 20년간 국가별로 가장 많은 특허를 출원한 국가는 일본이며 다음은 중국, 미국, 유럽, 한국으로서 한국은 580건을 출원하였다. 미국은 연평균 46건을 출원하였고, 일본은 58건이나 한국은 29건이다. 1991년 Nikkan Industries사에서

Table 3. Key word of multi-functional PCB plating

Item	Combination of Key word
www.sciencedirect.com	((printed circuit board) and plat*), (PCB and (electro* and plat*))
www.kipris.or.kr	((printed circuit board)+function+*plating)
www.ndsl.kr/brief.do	(PCB and (electro* and plat*)), ((printed circuit board) and plat*)

Fig. 10. Academic report of multi-functional PCB plating.

Table 4. Key word of magnetic multi layer plating

Item	Combination of Key word
www.sciencedirect.com	((magnetic multi layer) and plat*), ((magnetic multi layer) and (electro* and plat*))
www.kipris.or.kr/kor	(magneticmultilayer+*plating)
www.ndsl.kr/brief.do	((magnetic multi layer) and (electro* and plat*))

플렉시블 인쇄회로기판 커버레이 필름특허를 출원하였다. 한국의 인터플렉스 사에서는 2005년 연성회로기판 특허를 출원하였다.

3.3 자성다층도금

기술정보분석은 1991년부터 2011년 12월 현재까지 발표된 자성다층도금에 관한 학술정보와 Sciencedirect, KIPRIS의 특허정보 검색DB를 사용하였다. 정보검색에 사용한 키워드조합을 표 4에 나타내었다.

연도별 1991년도부터 2010년까지의 20년간 자성다층도금소재의 제조에 관한 발표논문 조사결과를 나타내면 그림 11과 같다. 20년간 발표된 학술정보는 모두 1,909건으로서 연평균 95건이며 가장 많이 발표한 해는 2011년으로서 192건이다. 가장 적게 발표한 해는 1993년으로서 37건을 발표하였다. 평균보다 적은 건수를 발표한 해가 13년간이다. 2004년부터 학술정보 편수가 평균보다 증가하였다.

자성다층도금에 관한 20년간의 특허정보에 대하여 국가별 출원건수를 그림 12에 나타내었다. 국가별로 가장 많은 특허를 출원한 국가는 일본이며 다음은 중국, 미국, 유럽, 한국 순이고 한국은 253건으로서 중국의 절반 수준이다. 미국은 연평균 24건을 발표하였고, 일본은 36건, 한국은 13건이다. 2010

Fig. 11. Academic report of magnetic multi layer plating.

Fig. 12. Patent of magnetic multi layer plating.

년 일본에서 고평화자속밀도의 연자성막, 자성다층도금, 전기화학적 나노기능 막, 기록용 고주파 Ferrite 도금막에 관한 학술논문이 발표되었다. 전기화학원자력현미경도 개발되어 분석측정의 정밀도를 향상시키고 있다. Murata YASTAKA는 1996년에 이미 한국에 고주파송신용 박막다층전극에 관한 특허를 등록하였다.

3.4 산화물계 자성도금 반도체

기술정보분석은 1991년부터 2011년 12월 현재까지 발표된 다기능성 복합소재에 관한 학술정보와 Sciencedirect, KIPRIS의 특허정보 검색DB를 사용하였다. 정보검색에 사용한 키워드조합을 표 5에 나타내었다.

연도별 추이를 살펴보면 1991년도부터 2010년까지의 20년간 산화물계 자성반도체 소재에 관한 발표논문은 그림 13과 같다. 20년간 발표된 학술정보는 모두 2,414건으로서 연평균 121건이며 가장 많이 발표한 해는 2010년으로서 172건이다. 가장 적게 발표한 해는 1991년으로 46건을 발표하였다. 평균보다 적은 건수를 발표한 해가 11년간이다. 중국은 2011년부터 학술발표 건수가 일본보다 증가하였다.

산화물계 자성도금 반도체소재에 관한 20년간의

Table 5. Key word of magnetic plating for oxide semiconductor

Item	Combination of Key word
www.sciencedirect.com	((ox* magneti* semiconduct*) and plat*), ((ox* magneti* semiconduct*) and (electro* and plat*))
www.kipris.or.kr/kor	((oxide+magneticplating)+semiconductor)
www.ndsl.kr/brief.do	((ox* magneti* semiconduct*) and plat*), ((ox* magneti* semiconduct*) and (electro* and plat*))

Fig. 13. Academic report of magnetic plating for oxide semiconductor.

Fig. 14. Patent of magnetic plating for oxide semiconductor.

특허출원에 대하여 국가별 출원건수를 그림 14에 나타내었다. 총 2,445건이 출원되었으며 국가별로 가장 많은 특허정보를 출원한 국가는 일본이며 다음은 중국, 미국 순이며 한국은 251건이다. 미국은 연평균 25건을 출원하였고, 일본은 738건을 출원하였다.

2010년 산화물계 자성반도체 막의 화학식출, ZnO 박막의 화학적 석출에 관한 연구논문이 일본에서 발표되었고, 전기화학적 원자력현미경(EC-AFM; Electrochemical-Atomic Force Microscope), 금속반도체에 생성하는 양극산화피막의 미세구조제어 기술이 발표되었다. 중국의 칭화대학에서는 Ni-Cu-Zn Ferrite를 발표하였고, 한국에서는 산화아연계의 나노선과 박막다층기술을 고주파공진기에 적용하였다.

3.5 금속-나노고분자 복합도금

기술정보분석은 1991년부터 2011년 12월 현재까지 발표된 다기능성 복합소재에 관한 학술정보와 Sciencedirect, KIPRIS의 특허정보 검색DB를 사용하였다. 정보검색에 사용한 키워드조합을 표 6에 나타내었다.

연도별 추이를 살펴보면 1991년도부터 2010년까지의 20년간 금속-나노고분자 복합도금소재에 관한 발표논문에 대하여 조사결과를 나타내면 그림 15와

Table 6. Key word of metal-nano polymer complex plating

Item	Combination of Key word
www.sciencedirect.com	((metal* nano* polymer*) and plat*), ((metal* nano* polymer*) and (electro* and plat*))
www.kipris.or.kr/kor	((metal+nano+polymer)+complexplating)
www.ndsl.kr/brief.do	((ox* magneti* semiconduct*) and plat*), ((ox* magneti* semiconduct*) and (electro* and plat*))

Fig. 15. Academic report of metal-nano polymer complex plating.

Fig. 16. Patent of metal-nano polymer complex plating.

같다. 20년간 발표된 학술정보는 모두 1,222건으로서 연평균 61건이며 가장 많이 발표한 해는 2010년으로서 85건이다. 가장 적게 발표한 해는 1991년과 1992년으로서 각각 28건을 발표하였다. 평균보다 적은 편수를 발표한 해가 11년간이다.

금속-나노고분자 복합도금소재에 관한 20년간의 특허정보에 대하여 국가별 출원건수를 그림 16에 나타내었다. 국가별로 가장 많은 특허정보를 출원

한 국가는 일본이며 다음은 중국, 미국, 한국 순이며 한국은 60건으로 출원건수가 낮았다. 미국은 연평균 6건을 출원하였고, 일본은 9건이나 한국은 3건이었다. 2003년에 미국 메사추세츠대학의 토미년마크티는 3차원 나노구조의 신뢰성에 관한 특허를 등록하였다. 다중 리소그래피 템플릿처리를 후공정에 적용하였다. 입자다층 자기저항센서도 개발하였다. 미국 3M사의 Aoki Azushi는 2011년 유연성형전도성 필름의 특허를 공개하였다. 2011년 한국의 건국대 산학협력단에서는 나노자기성 분진수거 장치를 개발하여 지하철 역 선로내측에 설치하여 효과적으로 환경을 정화하고 있다.

4. 결 론

다기능성 나노자성복합소재의 연구개발 정보와 기술정보분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전자, 정보통신기기의 고기능, 고속화, 소형화, 경량화에 따라 반도체 소자인 대규모집적회로(LSI: Large scale integrated circuit)와 함께 해가 갈수록 고밀도, 고다층화, 박판추세로 개발이 진행되고 있다.

2) 휴대전화 이동통신 전자제품의 미세전류 사용에 의한 파인패턴, 소형, 고밀도, 경량화 추세에 따라 내장용 인쇄회로기판의 회로 폭, 랜드, 비어홀, 적층비어의 임피던스, 유전율 등의 고신뢰성의 전기적 특성이 요구된다.

3) 최근 5년간 다기능성 도금관련 정책과 사업비와 과제수를 조사하였다. 신기술개발과제 사업비는 10년 전, 100억 원 규모에서 최근 300억 원 이상 수준으로 매년 증가를 보이는 가운데 향후 이동용 정보통신개발을 위한 정책과제 지원비가 매년 25% 이상 증가할 것으로 예상된다.

Table 7. National research cost of multi-functional plating

Year	2006	2007	2008	2009	2010	SUM (million won)
MKE	5,021	7,796	16,951	18,072	29,081	76,921
SMBA	1,086	1,271	3,501	2,182	1,610	9,650
SUM	6,107	9,067	20,452	20,254	30,691	86,571

Table 8. National research number of multi-functional plating

Year	2006	2007	2008	2009	2010	SUM (number)
MKE	15	17	19	25	35	130
SMBA	12	13	18	21	23	87
SUM	27	30	37	46	58	217

후 기

본 연구는 한국과학기술정보연구원이 교육과학기술부 과학기술 진흥기금으로 수행하는 2011 ReSEAT 프로그램지원에 의해 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. T. Yamashita, Mater. Sci. Eng., 47 (2010) 56.
2. A. Sugiyama T. Hachisu, T. Yokoshima, T. Osaka, J. Surf. Eng., 61 (2010) 396.
3. N. Matsushita, J. Surf. Eng., 61 (2010) 425.
4. K. Takagi, J. Surf. Eng., 61 (2010) 350.
5. M. Takahashi, J. Surf. Eng., 61 (2010) 350.
7. JP1994-049682.
8. N. Matsushita, J. Surf. Eng., 61 (2010) 425.
9. T. Shinagawa, M. Izaki, J. Surf. Eng., 61 (2010) 416.
10. Y. Ono, J. Surf. Eng., 47 (2010) 50.
11. N. Fujita, J. Surf. Eng., 61 (2010) 409.
12. N. Toshima, J. Surf. Eng., 59 (2008) 708.
13. J. Xie, S. Lee, X. Chen, Advanced Delivery Drug Reviews, 62 (2010) 1064.