

한국의 인쇄재료 및 인쇄기술 - 잉크젯과 롤투롤 기술을 중심으로

이영준 · 이정휴 · 김남수 · 홍성엽 · 정태의

Printable Materials and Technologies in Korea - Focused on Ink-jet and Roll to Roll (R2R)

Young-June Lee, Jeong-Hyu Lee, Nam-Soo Kim, Sung-Yeap Hong and Tae-Eui Jeong

1. 서 론

21세기 첨단 전자 산업시대에 최근 주목받고 있는 분야는 바로 인쇄전자(Printable Electronics)이다. 수 세기에 걸쳐 진보한 인쇄 기술은 신문, 잡지 등의 기본적인 인쇄부터 산업용 인쇄, 광고 산업에 까지 적용되면서 더욱 정밀해졌다. 또한 인쇄 기술의 발달로 종이나 천뿐만 아니라 다양한 기판위에 프린팅이 가능하도록 주변 기술(특히 전자산업 분야)들 과의 기술개발이 비약적으로 이루어졌다. 인쇄기술을 전자산업분야와 접목시킨 인쇄전자라는 새로운 개념이 생성되었다¹⁻³⁾.

현재 반도체, 디스플레이, 전자부품 등의 공정의 대부분은 Photolithography 기법을 이용하여 필요로 하는 회로 등을 미세Pattern 하였다. 그러나 Photolithography 기법은 공정이 복잡하고 고가의 재료와 고가의 장비 및 재료 소모가 큰 단점을 가지고 있다. 이러한 Photolithography의 단점을 극복하기 위해 Direct Writing 기법이 최근 대두되고 있다.

본 연구에서는 Direct Writing 기법 중 한국 내에서 가장 많은 연구가 수행된 Ink Jet Printing⁴⁻⁷⁾과 대량 생산이 용이한 생산공정인 Roll to Roll 에 대한 전반적인 국내 기술현황과 Direct Writing에 적용될 인쇄재료의 특성을 살펴 보았다.

2. 본 론

2.1 Ink Jet Printing & Roll to Roll 국내 기술 현황

기존의 Photolithography 공법과 비교하여 Direct Writing 공법은 재료의 소모가 적고 그 공정이 간단하다.(그림 1)

Direct Writing의 기법에는 크게 Ink Jet Printing

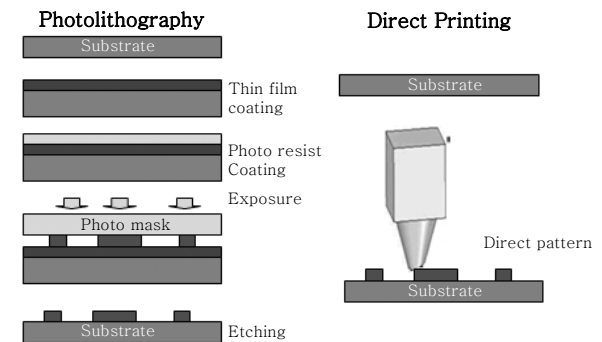


그림 1 Schematic of photolithography and direct printing process

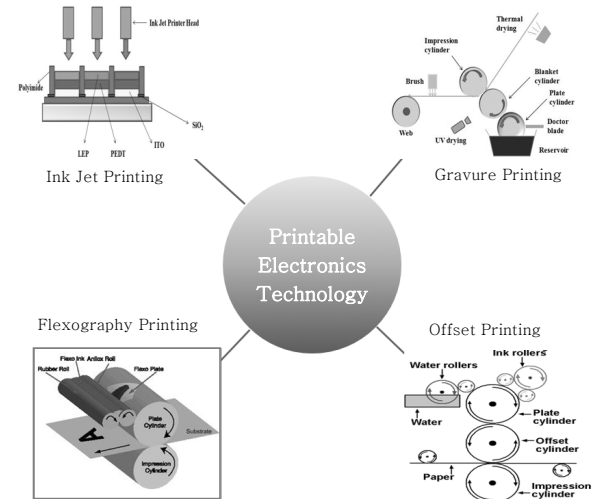


그림 2 Schematic of printable electronics printing process^{17,28)}

(그림 2) 과 Roll to Roll 이 있다⁸⁻¹⁶⁾. 그 중 Roll to Roll의 공정은 Gravure(그림 2), Offset, Flexography 등 이다.

한국에서 Direct Writing 공법 중 Ink Jet Printing

은 가장 많이 연구되고 있다. 그림 2의 좌측 상단은 Ink Jet Printing의 모식도를 나타낸다. 액체 소재 대응이 용이하고, 다양한 기판에 적용이 가능하며, 저비용 및 환경친화적인 제조 공정 실현이 가능한 장점이 있다^{18,19)}. 현재 Ink Jet Printing 은 정밀한 제어를 통해 잉크액적 분사가 가능한 Head 에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있다^{20,21)}. 인쇄전자에 이용되는Ink Jet Printing의 기술발전 방향은 장치의 대형화와 낮은 해상도라는 한계를 가진 연속방식을 대신하여 고해상도의 패터닝 구현을 목적으로 이용하는 DoD 방식으로 나아가고 있다²²⁾. DoD 방식은 현재 버블젯 방식과 Piezo 방식이 많이 이용되고 있다²³⁾. 버블젯 방식은 열을 가하여 기포를 생성 후 압력을 만든다. 이와 같은 방식으로 생긴 압력으로 인해 인쇄재료를 패터닝 한다. 열의 영향을 받기에 인쇄재료 사용이 제한된다는 단점을 지닌다. Piezo 방식은 전기 신호를 받은 압전 소자가 진동을 하게 되고 이 진동의 압력으로 인쇄재료를 패터닝을 한다.

현재 국내 다수의 연구소에서는Piezo 방식의 상용화를 위해서 정밀한 패터닝 구현과 저가의 헤드 개발을 목표로 연구가 활발히 진행 중이다^{24,25)}.

한국 내 에서 가장 각광받고 있는 인쇄기법인Roll to Roll 공정은 인쇄 매체를 대량 제작하던 기술을 디스플레이 제조에 적용한 것으로 공정자체 가 단순하고, 저온 공정이 가능하며 직렬식 연속공정으로 대량생산이 가능하다는 장점을 가지며 특히 다양한 인쇄공정의 융합이 가능하므로 많은 응용이 기대된다. 사용되는 인쇄 재료 특징에 따라적합성이 다르므로 프린팅 방식이 다르다.(표 1)

Gravure 프린팅은 패터닝이 새겨진 구리 실린더를 이용하는 Roll 방식의 프린팅 이다. Flexography 방식은 정밀한 패터닝이 가능한 고정으로 플레이트 제작시 고무나 포토폴리머로 제작한다. Offset 공정은 비교적 높은 점도의 재료를 프린팅 할 수 있다.

표 1 은 Roll to Roll 공정에 적용될 수 있는 다양한 인쇄기법이다²⁶⁾. 인쇄 방법에 따라 적용되는 재료의

표 1 Characteristics of printing equipments²⁷⁾

Printing method	Viscosity (cps)	Layer thickness (μm)	Productivity (m ² /s)
Gravure	1~20	<30	3~60
Flexography	5~50	<20	3~30
Offset	500~10000	<30	3~30
Ink Jet	0.1~40	<20	0.01~0.5

특성이 다르다. 직접인쇄법인 Ink Jet 에 비해 간접인쇄법은 비교적 높은 점도의 인쇄재료가 사용이 가능하다. 그러나 정밀한 선폭 조절에는 직접인쇄법이 더욱 용이하다. 따라서 Roll to Roll 공정에서 은 현재 PCB, Solar Cell, RFID, Flexible Display 공정 등에 일부분 적용 되고 있다. 그러나 Roll to Roll의 상용화를 이루기 위해서는 다양한 재료 개발 및 정밀한 미세 패터닝 형성 기술이 필수이다. Roll to Roll이 최적화 되어 상용화가 이루어 진다면 생산품의 대량생산이 가능해 질 것이다²⁹⁻³¹⁾.

2.2 Printable Materials

프린팅에 사용되는 잉크는 기본적인 요구조건이 필요하다. 대표적으로 잉크 자체의 안정성, 수명, 점성, 인쇄장치와의 적합성, 기판과의 접합성을 들 수 있다. 분산제를 넣어서 요구조건을 만족할 수 있다^{32,33)}.

Ink Jet Printing에 사용되는 잉크는 다양한 요구조건이 필요하다³⁴⁻³⁷⁾.

- 나노미터 직경의 전도성 입자
- 용액이나 콜로이드 형태
- 잉크의 점도 5~40mPas
- 표면장력 25~45mN/m

나노 입자를 사용하므로 낮은 온도에서 전도성을 가질수 있는 은(Ag) 이 많이 사용되고 있는 실정이다.³⁸⁾ 현재까지 인쇄전자 분야에 가장 넓게 사용되는 인쇄재료는 전도성을 지닌 잉크이다. 특히 무기소재인 금속입자가 함유된 콜로이드 형태의 전도성 잉크가 활발히 사용된다. PCB, RFID등 전반적인 Display 제조에 한정되어 적용되고 있다³⁹⁻⁴¹⁾. 다양한 인쇄장치의 특성에 맞춘 인쇄료의 개발을 위하여 물리적인 방법과 화학적인 방법이 시도 되고 있다.(표 2)

물리적 방법의 경우 높은 에너지를 bulk상의 물질에 가하여 나노 입자를 제조하는 방법이다. 무리적으로 효율적인 입자와 물성의 조절을 위하여 다양한 방법들이 시도 되고 있다. 하지만 물리적인 방법은 대량생산에 용이 함에도 불구하고 입자크기와 순도 제어가 어렵고 고에너지를 사용하는 단점으로 이용이 제한적이다.

화학적 방법의 경우 핵 생성시킨 후 원하는 크기까지 성장시켜 나노 입자를 제조하는 방법이다. 화학적 방법은 적은 에너지를 이용하여 합성이 가능하며 합성 반응속도가 빠르고 입자의 순도와 크기의 제어가 용이하다. 인쇄전자에 적용 가능한 재료의 개발을 위하여 이러한

표 2 Method of nano particle synthesis⁴²⁾

Method	Detail
Physical Method	Gas Evaporation
	Sputtering
	Evaporation
	Mechanical Alloying
	High Energy Ball Milling
	Freezing Milling
	Arc Discharge
	Cryomelting
Chemical Method (Aqueous)	Coprecipitation
	Sol gel
	Hydrothermal Synthesis
	Thermal Decomposition
Chemical Method (Gas)	Aerosol
	Inert Hydrolysis
	Chemical Vapor Deposition

다양한 제조법이 개발되고 제조법을 이용하여 다양한 물성을 가진 인쇄재료의 개발이 시도 되고 있다. 하지만, 잉크 자체의 안정성, 수명, 점성, 인쇄장치와의 적합성, 기관과의 적합성등의 문제점으로 인하여 산업적 적용에 어려움이 있다. 향후 인쇄전자 분야는 기존의 Display 제조 위주의 공정을 벗어나 Solar Cell, Tissue Engineering, Scaffold 등 응용범위가 광대 할 것을 예측된다⁴³⁻⁴⁶⁾. 기존의 인쇄재료의 연구는 전도성 잉크 제조에 국한되어 있다⁴⁷⁻⁵⁰⁾. 자성, 생분해성, 절연성등 다양한 특성을 지닌 잉크의 개발은 미흡하다.

3. 결 론

본 논문에서는 현재 국내에서 활발히 연구가 진행되고 있는 직접인쇄장치인 Ink Jet Printing 공정과 여러 Roll to Roll 공정의 국내 현황 파악과 각 공정 간 특성을 비교하였다. 직접인쇄장치는 기존의 Photolithography 에 비해 간소한 공정을 갖고 있고 소모되는 자원 또한 적다. 이러한 장점을 살려 직접인쇄장치의 상용화를 앞당기는 것이 기술적으로나 경제적으로 큰 발전을 이룩하는 것이다. 이 직접인쇄장치공정 중 Roll to Roll 공정이 Ink Jet Printing 공정에 비해 재료선택성의 폭이 넓고 생산성에서 앞선다. 그러나 아직 상용화를 하기에는 더욱 다양한 재료의 개발과 정밀한 미세 pattern 기술, 그리고 인쇄 재료와의 적합성에 대한 연구가 더 수반되어야 한다. 이에 따라 인쇄전자 기술개발에 정부차원의 지원과 직접인쇄장치를 상용화 하기 위한 연구원들의 수고가 있다면 우리나라의 인쇄전자기술은 한 보 전진하는 것이라 확신한다.

후 기

본 연구는 Seoul R&BD Program (10890)의 지원사업에 의하여 수행하였습니다.

참 고 문 헌

1. W. Mildner : Printer Electronics Europe 06, Apr., Cambridge. (2006)
2. E. Kunnari, J. Valkama, M. Keskinen and P. Mansikkamaki : Environmental evaluation of new technology: printed electronics case study, Journal of Cleaner Production, **17-9** (2009), 791-799.
3. J. LaDou : Printed Circuit Board Industry, International Journal of Hygiene and Environmental Health, **209-3** (2006), 211-219
4. R. Mannerbro, M. Ranlof, N. Robinson and R. Forchheimer : Inkjet Printed Electrochemical Organic Electronics, Synthetic Metals, **158-13** (2008), 556-560
5. K. Takanori, N. Yuki, N. Yuko, Y. Hidemasa, W. B. Kang and P. G. Pawlowski : Polymer Optimization of Pigmented Photoresister for Color Filter Production, Jpn. J. Appl. Phys., **37** (1998), 1010-1016 (in Japanese)
6. Y. D. Kim, J. P. Kim, O. S. Kwon and I. H. Cho : The Synthesis and application of Thermally Stable Dyes for Ink-Jet Printed LCD Color filters, Dyes and Pigments, **81-1** (2009), 45-52
7. S. H. Kim, Y. S. Han, Y. H. Kwon, Y. J. Hur, G. S. Kwak, B. K. Hur and L. S. Park : Synthesis of Submicron-sized Spherical Green Phosphors by Reverse Emulsion Method and their Application to Phosphor Inks for Ink-jet Process in PDP, Displays, **29-4** (2008), 333-338.
8. N. Link, S. Lampert, R. Gurka, A. Liberzon, G. Hetsroni and R. Semiat : Ink drop Motion in Wide-format Printers: II. Airflow Investigation, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, **48-1** (2009), 84-91
9. B. Kumar, H. S Tan, N. Ramalingam and S. G. Mhaisalkar : Integration of Ink Jet and Transfer Printing for Device Fabrication using Nanostructured Materials, Carbon, **47-1** (2008), 321-324
10. D. J. Kim, S. H. Jeong, S. Lee, B. K. Park and J. H. Moon : Organic Thin Film Transistor using Silver Electrodes by the Ink-jet Printing Technology, Thin Solid Films, **515** (2007), 7692-7696
11. N. E. Sanjana and S. B. Fuller : A Fast Flexible Ink-jet Printing Method for Patterning, Jour. of Neuroscience Method, **136-2** (2004), 151-163
12. T. Leslie, W. Arden, J. Ben-Jacob, D. Coleman, J. Polimeni and F. Prein : Photolithography Overview for 64 Megabit Production, Microelectronic Engineering, **25-1** (1994), 67-74
13. H. Yonemitsu, T. Kawazoe, K. Kobayashi and M. Ohtsu : Nonadiabatic Photochemical Reaction and

- Application to Photolithography, *Journal of Luminescence*, **122~123** (2007), 230-233
14. G. Yuan, P. Wang, Y. Lu, Y. Cao, D. Zhang, H. Ming and W. Xu : A large-area photolithography technique based on surface plasmons leakage modes, *Optics Communications*, 281-9 (2008), 2680-2684
 15. K. K. B. Hon, L. Li and I. M. Hutchings : Direct Writing Technology-Advances and Developments, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, **57-2** (2008), 601-620
 16. F. Liu and R. Zhang : Aerodynamically Assisted Tip-Pen Direct Writing, *Tsinghua Science & Technology*, **14** (2009), 116-119
 17. M. I. Baek, S. G. Hong, Y. J. Choi, D. W. Lee, S. J. Yoo, D. W. Kang and K. S. Yang : Materials for Functional Inkjet Printing: A Market Forecast, *The Korean Information Display Society*, **10-5** (2009), 2-14. (in Korean)
 18. S. Phattananurudee, K. Chakvattanatham and S. Kiatkamjorn : Pretreatment of Silk Fabric Surface with Amino Compounds for Ink Jet Printing, *Progress in Organic Coatings*, **64-4** (2009), 405-418
 19. X. Zhao, J. R. G. Evans, M. J. Edirisinghe and J. H. Song : Formulation of a Ceramic Ink for a Wide-array Drop-on-demand Ink-jet Printer, *Ceramic International*, **29-8** (2003), 887-892
 20. T. M. Lee, T. G. Kang, J. S. Yang, J. D. Jo, K. Y. Kim, B. O. Choi and D. S. Kim : Theoretical Analysis and Experimental Characterization of DoD Metal Jet System, *Journal of Mechanical Science and Technology A*, **31-1** (2007), 11-17
 21. N. Link and R. Semiat : Ink Drop Motion in Wide-format Printers: I. Drop Flow from Drop-On-Demand (DOD) Printing Heads, *Chemical Engineering and Processing*, **48-1** (2009), 68-83
 22. T. D. Tran and S. A. Suslov : Stability of Plane Poiseuille-Couette Flows of a Piezo-viscous Fluid, *Journal of Non-newtonian Fluid Mechanics*, **156-3** (2009), 139-149
 23. D. Y. Shin, D. S. Kim, C. H. Kim, T. M. Lee and B. O. Choi : Influence of Driving Conditions on a Piezo Drop-On-Demand Inkjet Print Head, *The Korea Society of Mechanical Engineers*, (2006), 3189-3194 (in Korean)
 24. K. S. Kwon : Methods for Detecting Air Bubble in Piezo Inkjet Dispensers, *Sensors and Actuators*, **3-1** (2009), 50-56
 25. F. C. Krebs : Polymer Solar Cell Modules Prepared Using Roll-to-roll methods: Knife-over-edge Coating, Slot-die Coating and Screen Printing, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **93-4** (2009), 465-475
 26. F. C. Krebs : Roll-to-roll Fabrication of Monolithic Large-area Polymer Solar Cells Free from Indium-tin-oxide, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **93-9** (2009), 1696-1641
 27. B. D. Jin and K. H. Sin : Device Technology of Flexible Organic Devices and Continuous Printing Process, *Polymer Science and Technology*, **18-3** (2007), 246-252 (in Korean)
 28. S. C. Yoon, J. S. Lim and C. J. Lee : Printed Electronics : High Resolution Printing Technology, *Polymer Science and Technology*, **18-3** (2007), 238-245 (in Korean)
 29. W. Jinag, L. Jia and X. Zhen-mong : Optimization of key factors of the electrostatic separation for crushed PCB wastes using roll-type separator, *Journal of Hazardous Materials*, **154-1** (2008), 161-167
 30. J. W. Lee, K. K. Mun and Y. T. Yoo : A comparative study on roll-to-roll gravure printing on PET and BOPP webs with aqueous ink, *Progress in Organic Coatings*, **64-1** (2009), 98-108
 31. K. H. Choi, J. A. Jeong, J. W. Kang, D. G. Kim, J. K. Kim, S. I. Na, D. Y. Kim, S. S. Kim and H. K. Kim : Characteristics of flexible indium tin oxide electrode grown by continuous roll-to-roll sputtering process for flexible organic solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **93-8** (2009), 1248-1255
 32. D. Songsiri, S. S. Min, J. F. Scamehorn, S. Osuwan and J. W. Ellis : Use of cationic surfactant to remove solvent-based ink from rigid high density polyethylene surfaces, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **204-1~3** (2002), 261-269
 33. D. Beneventi, J. Allix, E. Zeno, P. Nortier and B. Carré : Simulation of surfactant contribution to ink removal selectivity in flotation deinking lines, *Separation and Purification Technology*, **64-3** (2009), 357-367
 34. B. Y. Lee, Y. H. Kim, S. N. Yang, I. B. Jeong and J. H. Moon : A Low-cure-temperature Copper Nano Ink for Highly Conductive Printed Electrodes, *Current Applied Physics*, **9-2** (2009), 157-160
 35. N. S. Kim, K. N. Han and K. H. Church : Direct Writing Technology for 21st Century Industries - Focus on Micro-Dispensing Deposition Write Technology, *Journal of KSMTE*, (2007), 511-515 (in Korean)
 36. P. Marko, J. Hagberg and S. Leppavuori : Gravure Offset Printing of Polymer Inks for Conductors, *Progress in Organic Coating*, **49-4** (2004), 324-335
 37. C. C. Tseng, C. P. Chang, Y. Sung, Y. C. Chen and M. D. Ger : A Novel Method to Produce Pn Nanoparticle Ink for Ink-jet Printing Technology, *Colloids and Surfaces*, **339-1** (2009), 206-210
 38. S. Merilampi, T. Laine-Ma and P. Ruuskanen : The Characterization of Electrically Conductive Silver Ink Patterns on Flexible Substrates, *Micro- electronics Reliability*, **49-7** (2009), 782-790
 39. M. Zennegg, M. Kohler, P. C. Hartmann, M. Sturm, E. Gujer, P. Schmid, A. C. Gerecke, N. V. Heeb, H. E. Kohler and W. Giger : The historical record of PCB and PCDD/F deposition at Greifensee, a lake of the Swiss plateau, between 1848 and 1999, *Chemosphere*, **67-9** (2007), 1754-1761

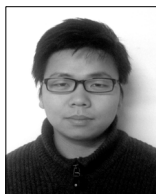
40. E. W. R. Ngai, K. K. L. Moon, F. J. Riggins and C. Y. Yi : RFID research: An academic literature review (1995 - 2005) and future research directions, *International Journal of Production Economics*, **112-2** (2008), 510-520
41. K. Firor and S. Hogan : Effects of processing parameters on thick film inks used for solar cell front metallization, *Solar Cells*, 5-1 (1981), 87-100
42. J. G. Park : Korea Institute of Science & Technology Information, *Nano Weekly*, **148** (2005)
43. G. C. Claudio, B. P. Rand, J. Genoe and P. Paul Heremans : Exploring spray coating as a deposition technique for the fabrication of solution-processed solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **93-4** (2009), 454-458
44. Y. C. Chiu, M. H. Cheng, S. Uriel and E. M. Brey : Materials for Engineering Vascularized Adipose Tissue, *Journal of Tissue Viability*, In Press, Corrected Proof, (2009)
45. Z. C. Liang, H. Shen, N. S. Xu and S. Reber : Characterization of Direct Epitaxial Silicon Thin Film Solar Cells on a Low-cost Substrate, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **80-2**, 181-193
46. T. J. Wafa, I. Abdel-Fattah and C. T. Laurencin : In Vitro Evaluation of Chitosan/poly(Lactic acid-glycolic acid) Sintered Microsphere Scaffolds for Bone Tissue Engineering, *Biomaterials*, **27-28** (2006), 4894-4903
47. M. Pudas, N. Halonen, P. Granat and J. Vähäkangas : Gravure printing of conductive particulate polymer inks on flexible substrates, *Progress in Organic Coatings*, **54-4** (2005), 310-316
48. S. Merilampi, T. Laine-Ma and P. Ruuskanen : The Characterization of Electrically Conductive Silver Ink Patterns on Flexible Substrates, *Microelectronics Reliability*, **49-7** (2009), 782-790
49. A. P. Burden, H. E. Bishop, M. Brierley, J. M. Friday, C. Hood, P. G. A. Jones, A. Y. Khazov, W. Lee, R. J. Riggs, V. L. Shaw, W. Taylor and R. A. Tuck : Incorporating Consumer-priced Field-emitting Inks into Arrays of Triode Devices, *Solid-State Electronics*, **45-6** (2001), 987-996
50. M. Hasegawa, N. Kobayashi, S. Uemura and T. Kamata : Memory Mechanism of Printable Ferroelectric TFT Memory with Tertiary Structured Polypeptide as a Dielectric Layer, *Synthetic Metals*, **159-9~10** (2009), 961-964



- 이영준
- 1986년생
- KEN Research Center
- 나노 재료 및 직접인쇄기술
- e-mail : yjlee0624@gmail.com



- 홍성엽
- 1957년생
- The University of Texas at El Paso /Metallurgical & materials Engineering
- Organic materials, Nano materials
- e-mail : sungyeap@hanmail.net



- 이정휴
- 1983년생
- KEN Research Center
- 나노 재료 및 직접인쇄기술
- e-mail : mnet22@gmail.com



- 정태의
- 1956년생
- 서경대학교 컴퓨터과학과
- Computational Complexity/Formal Language
- e-mail : tejeong@skuniv.ac.kr



- 김남수
- 1969년생
- The University of Texas at El Paso/ Metallurgical & materials Engineering
- Printable nano materials
- e-mail : nkim@utep.edu