

블록 공중합체를 사용한 비등방성 접속 소재의 제작

손재호 · 한철중

1. 서론

나노 분야의 비등방성 소재란 열 및 전기 신호를 모든 방향으로 균일하게 전달하는 등방성 소재와는 달리, 한 방향으로만 전달하는 특징을 가진 소재를 의미한다. 이러한 비등방성 소재는 **그림 1**과 같이 X, Y 방향으로로는 전기를 전달하지 않고, Z 방향으로만 전기를 전달하거나, 열은 전달하지만 전기는 전달하지 않는 등 기존의 소재에서는 나타나지 않는 독특한 물성을 나타내기 때문에 기존 재료나 부품으로는 불가능한 새로운 기능을 갖는 부품, 소재의 창출이 가능하다는 점에서 높은 부가가치를 가지고 있다고 할 수 있겠다. 따라서, 비등방성 소재 개발은 미래 전자부품이 요구하는 고기능화, 융/복합화, 경박단소화 등의 중요한 개발 이슈를 근본적으로 해결하는데 반드시 필요한 원천 기반 기술이다 (**그림 2**).

현재 고밀도 실장용 접속소재로 널리 사용되는 ZAF(z-axis con-

ductive adhesive film)의 경우도 **그림 3**과 같이 가열 압착 후에는 일정한 비등방성을 갖지만 기본적인 소재 자체는 등방성이기 때문에 35 마이크로미터 이하의 미세 pitch 요구에 대응하기엔 한계에 직면한 상황이다.

기존의 비등방성이 요구되는 부품, 소재들은 도전입자를 적정 농도로 분산하거나(ZAF), 절연체에 도전체를 기계적 방법으로 삽입하거나(커넥터), 절연성 유동체에 열전도성 결정체를 분산하는 방법(thermal interface material, metal core PCB 절연체) 등으로 비등방성을 확보해 왔다. 그러나, 기존의 방법으로는 좁은 공간에서 보다 많은 신호를 주고받을 수 있는 데에 있어서 한계에 다다르고 있으며, 열전도율 또한 10 W/mK 수준에서 머무르는 상황이다. 특히, 접속 기술은 개발 역사가 오래된 전통 기술이어서 관련 기술 개량에 새로운 혁신적인 소재가 절실히 요구되고 있는 상황이다. 이러한 기술적 한계를 돌파하기 위해 서브 마이크로, 나노 급의 정렬된 구조를 갖는 비등방성 복합체의 개발이 필요하다(**그림 4**). 정렬된 구조 복합체는 특정 방향으로 특정 성분을 정렬함으로써 한 방향으로만 열 및 전기 전도 특성을 뛰어나게 만들 수 있으며 서브 마이크로 급의 높은 정밀도를 바탕으로 보다 많은 정보 통로를 만들 수 있다는 장점을 지닌다.

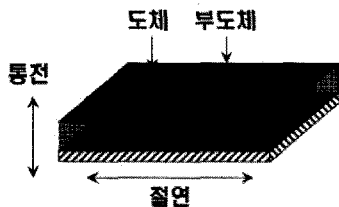


그림 1. 비등방성 소재의 개념도.

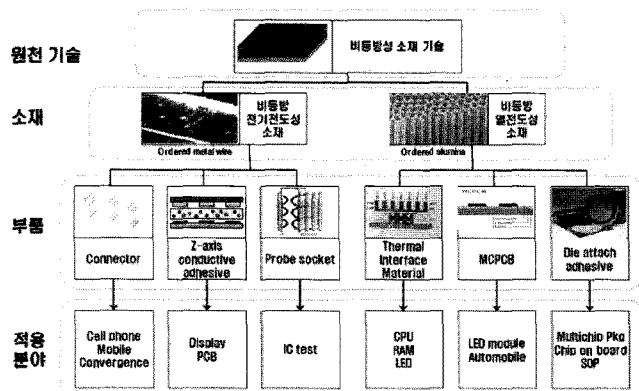
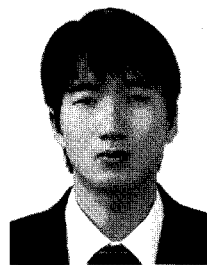
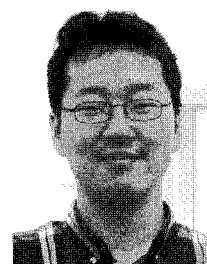


그림 2. 비등방성 소재 기술의 적용 분야.



손재호
 2008 충주대학교 나노고분자공학과(학사)
 2010 충주대학교 나노고분자공학과(석사)
 2010~ 전자부품연구원 연구원
 현재



한철중
 1995 한국과학기술원 화학과(학사)
 1997 한국과학기술원 화학과(석사)
 2002 한국과학기술원 화학과(박사)
 2002~ 2006 LG 전선 선임연구원
 2006~ 전자부품연구원 선임연구원
 현재

Anisotropic Connecting Material Using Block Copolymer Nanostructures

전자부품연구원 플렉시블디스플레이연구센터 (Jae Ho Son and Chul Jong Han, Flexible Display Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Seongnam 463-816, Korea) e-mail: cjhan@keti.re.kr

본 특집에서는 이와 같이 서브 마이크로, 나노 급의 정렬된 구조를 가지는 비등방성 복합체 제작에 있어서 블록 공중합체 나노 구조체가 어떻게 사용될 수 있는지 소개하고 비등방성 접속 소재의 다양한 요구 특성과 응용 분야에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 본론

2.1 비등방성 구조체 형성 방법

차세대 고밀도 접속 소재의 제작을 위한 서브 마이크로미터급의 정렬된 구조를 만들기 위해서는 현재까지 비등방성 접속 소재에서 사용되지 않은 새로운 나노 기술의 응용이 요구된다. 정렬된 유기 템플릿에 무기물을 채우는 방법 또는 정렬된 무기 템플릿에 유기물을 채우는 방법이 대표적인 두 가지 방법이다. 이를 위해 정렬된 유기 템플릿을 만드는 기술, 정렬된 무기 템플릿을 만드는 기술, 유-무기 템플릿에 원하는 물질을 채우는 기술 개발이 요구되고 있는 상황이다.

무기 템플릿의 경우 유기 블록 공중합체와 무기물 전구체의 복합체를 사용하여도 되지만 공정의 복잡함으로 인하여 AAO(anodized aluminum oxide)를 사용하는 것이 일반적이다.¹ 알루미늄 기판의 연속적인 음극화/에칭 과정과 기공 확장 공정을 통하여 수십에서 수백 나노

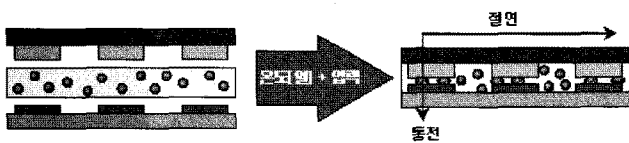


그림 3. 기존 고밀도 실장용 접속소재(ZAF)의 구현 원리.

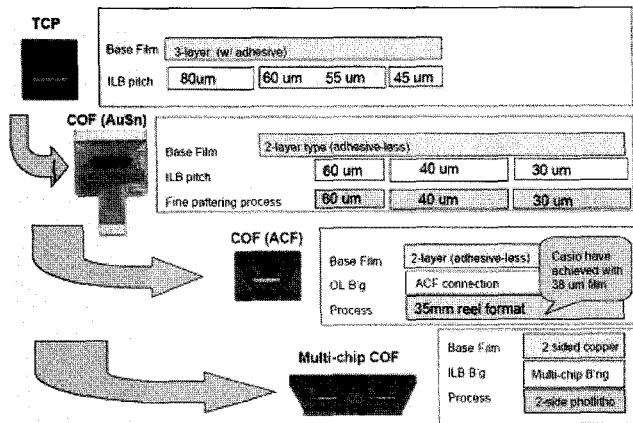


그림 4. 접속소재의 fine pitch 트렌드.

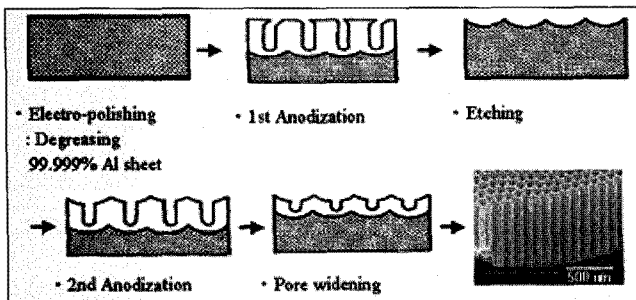


그림 5. AAO를 이용한 비등방성 무기 템플릿의 제작.

미터 수직 실린더 형태의 기공을 가지는 AAO 템플릿을 손쉽게 합성할 수 있다(그림 5). 유기 템플릿의 경우 블록 공중합체 나노 구조체를 사용하여 손쉽게 합성할 수 있다.²⁻⁶ 블록 공중합체는 각 블록의 상대적 비율에 따라서 다양한 형태의 나노 구조체를 자기 조립 과정에 의하여 형성하는데, 이 중 수직 실린더 형태의 나노 구조는 실린더 영역의 고분자를 선택적으로 분해/용해하면 실린더 영역을 기공으로 바꿀 수 있다(그림 6).

블록 공중합체 나노 패턴 구조에서 원하는 영역을 제거하기 위해서는 블록 공중합체에서 두 블록 간의 화학적 활성이 현저히 차이가 나는 것이 유리하다. 통상적으로 사용되는 PS-*b*-PMMA 공중합체의 경우 PMMA의 비율이 전체의 30% 정도가 될 경우 PMMA가 실린더를 형성한다. 통상적으로 이렇게 생겨난 PMMA 실린더는 기판에 수평으로 누워버리게 되고 이를 활용하여 비등방 접속 소재를 제작하기 위해서는 실린더 구조가 기판에 수직 방향으로 배향되도록 조작하는 과정이 추가적으로 필요하다. 이와 같은 수직 배향은 열처리, 외부 전기장, 중성 표면 제어 등 다양한 방법으로 가능하며 공정의 용이함과 배향의 무결성 정도 등에 따라 적절히 선택될 수 있겠다.

다음으로 미세 상의 선택적 분해를 효과적으로 하기 위해서는 블록 공중합체 자체의 화학적 조성을 수정하는 방법이 널리 사용되고 있다.

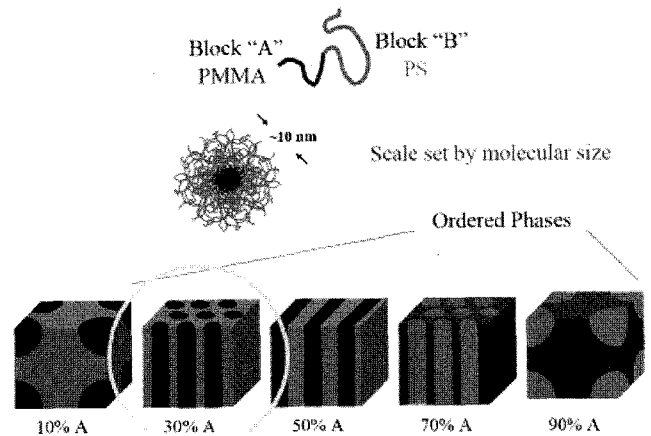


그림 6. 블록 공중합체 미세 상분리에 의한 다양한 나노 구조.

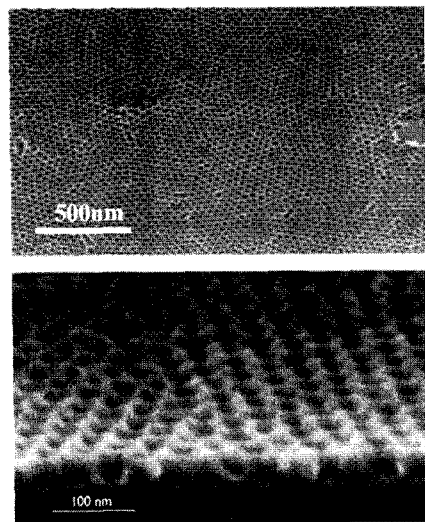


그림 7. PS-*b*-PMMA 블록 공중합체 수직 배향 실린더 구조의 광분해에 의한 유기 템플릿의 SEM 사진(위: 광분해 이전, 아래: 광분해 이후).

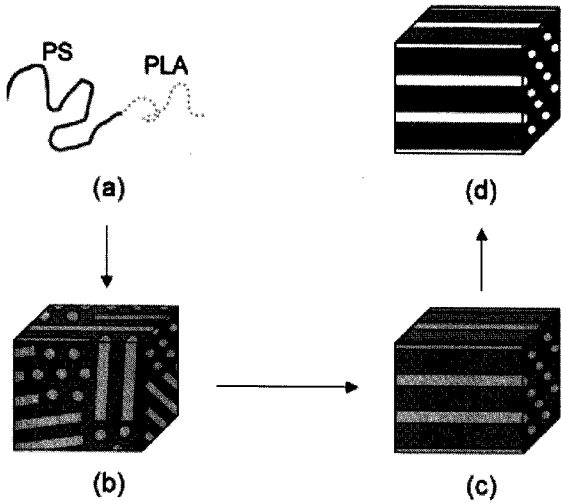


그림 8. PS-*b*-PLA 공중합체를 사용한 유기템플릿의 제작 모식도. (a) PS-*b*-PLA 공중합체, (b) PS-*b*-PLA 공중합체의 일반적인 self assembled structure, (c) 정렬된 표면위에서 제조된 PS-*b*-PLA 공중합체의 자기조립 구조 형태, (d) 가수분해로 PLA 가 제거된 PS 나노 기공체.

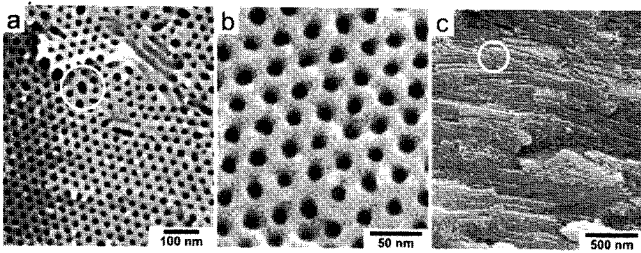


그림 9. PS-*b*-PLA 공중합체를 사용하여 제작된 유기 템플릿의 SEM 사진. (a) 유기 템플릿의 long range alignment, (b) 기공 크기와 격벽 크기를 보여주는 (a) 사진의 확대도, (c) 전체적인 형상을 보여주는 (a) 사진의 축소도.

일반적으로 사용되는 PS-*b*-PMMA 공중합체의 경우 PMMA가 UV (3.4 J/cm^2 이상 노광 시) 하에서 광분해를 일으키기 때문에 초산 등으로 손쉽게 녹여 낼 수 있다(그림 7).⁷

이와 같은 기공 형성 과정을 더 효과적으로 진행하기 위해서 생분해성인 polylactide를 실린더 영역으로 사용하여 수용액에서의 간단한 가수 분해로 수직 기공을 가지는 유기 템플릿을 제작한 연구가 보고된 바 있다(그림 8).⁸ Polylactide를 이용한 기공제작법은 고에너지의 UV 노광이 필요치 않고 남아있는 PS 영역도 PS를 녹이는 톨루엔 등으로 손쉽게 녹여낼 수 있다는 점에서 PS-*b*-PMMA의 UV 조사에 의한 기공 형성보다 더 많은 장점을 가진다(그림 9). UV 조사의 경우 노광 에너지가 커지면 남아있는 고분자에 경화반응을 일으키게 되고 향후 유기 템플릿을 제거하려고 할 때 제약이 있을 수 밖에 없다는 단점을 지닌다. 반면에 UV 조사는 기존 리소그래피 공정과 결합하여 기판 위에서 원하는 영역에서만 기공을 형성시킬 수도 있다는 장점을 가지고 있다.

제작된 무/유기 템플릿은 전기 혹은 열 전달 접촉 소재로 사용되기 위하여 기공 내부에 전기를 잘 전달하는 금속 혹은 열을 잘 전달하는 세라믹을 각각 도입시키게 된다(그림 10). 이렇게 생성된 정렬된 구조를 가지는 유/무기 복합체는 사용하는 소재의 종류 및 특성, 형태에 따라서 전기전도 및 열전도 특성을 조절하는 것이 가능하다. 예를 들어 금속 전도체와 유기 절연체로 구성된 비등방 소재는 특정 방향으로만 전류를 통과시키는 커넥터, ZAF 등으로 적용 가능하며, 열전도성 세

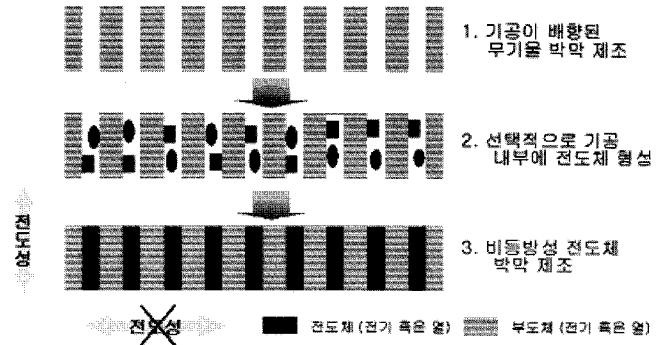


그림 10. 비등방성 소재의 제조 방법.

라믹과 유기물로 구성된 비등방 소재는 열전도성 TIM 이나 MCPCB 절연체로 적용 가능하다.

이러한 비등방성 소재는 필수 불가결한 기술로 떠오르고 있지만 유기 템플릿 및 원하는 물질을 채우는 기술은 아직까지 학문적 탐색 수준에 머무르고 있고 뚜렷한 방향성을 지니지 못한 채 산발적인 기술 개발만이 보고되고 있는 상황이다.

2.2 비등방 전기전도성 소재의 기술 요소

점차 융/복합화 해가는 전자기기의 경우 여러 기능을 갖는 통합 모듈들이 메인보드 위에 접속되고 있으며 각 모듈의 접속은 주로 connector에 의해 이루어 진다. 그러나, 점차 통합되어야 하는 기능이 증가하고 단위 기판 당 처리해야 하는 신호가 증가함에 따라 커넥터의 크기가 지속적으로 증가하여 전체 기능별 융합에 한계로 작용하고 있다. 커넥터의 단위 면적당 접속 단자 개수, 즉 pitch는 현재 0.35 mm급 BtoB 커넥터에서 보다 pine pitch 급으로는 줄어들지 못하고 있는 상황이다.

대안으로 제시되는 ZAF 기술로는 반복 착탈이 불가능할 뿐 아니라 고온 고압 공정이 요구되어 모듈의 손상을 가져올 수 있다. 이러한 상황을 해결하기 위한 대안으로써 pine pitch 접속이 가능하고 상온상압에서도 비등방성을 갖는 비등방성 전기접속 소재를 블록 공중합체 나노 구조체를 유기 템플릿으로 사용하는 방법을 들 수 있겠다. 비등방성 전기접속 소재 개발을 통해 모듈간 통합을 손쉽게 이룰 수 있을 뿐 아니라 접속 부위 때문에 크기의 제약을 받던 모듈의 크기를 더 작게 만들 수 있어 전체적인 융복합 기기의 경박단소화를 더 촉진할 수 있을 것으로 여겨진다.

2.3 비등방 열전도성 소재의 기술 요소

전자기기들이 점차 고성능화/경박단소화해 가면서 필연적으로 단위 칩 면적당 처리해야 하는 신호의 양도 증가하게 되고, 그에 따라 칩에서 발생하는 열이 문제로 대두되고 있다. 특히 최근 급격히 진보하고 있는 LED(light emitting diode)는 점차 일반 조명 영역으로까지 파고들고 있으나, 작은 칩에서 발생하는 높은 열에 의해 신뢰성 및 응용에 제한을 받고 있는 상황이다. 문제되는 열을 효과적으로 제거하기 위해서는 발열원(chip)에서 발생한 열을 외부로 전도시켜 제거할 수 있는 방열 부품 모듈 (heat sink, heat pipe 등)의 적용이 요구된다. 그러나 발열원에서 방열모듈까지 열이 전도되는 과정 중 두 부품 사이에 존재하는 열계면 물질(TIM)에 의해 열전도 병목 현상이 발생한다. TIM의 필수 조건인 낮은 점도를 갖는 물질은 대개 열전도도가 낮은 유기물질로 이루어져 있고 이때 열전도도를 높이기 위해 열전도도가 높은 무기물질을 균일분산한다.

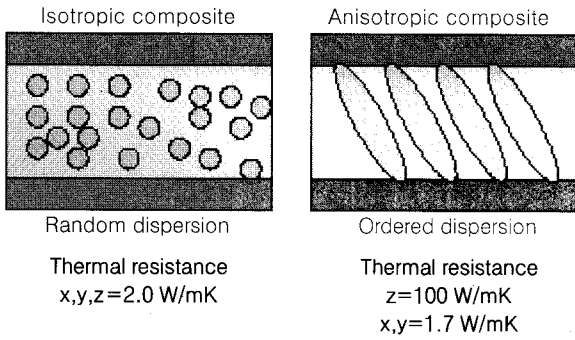


그림 11. 비등방성 열전도체를 적용한 열전도 물질 개념도.

그러나 이러한 단일 균일분산법으로는 8 W/mK 이상 열전도율을 올리는데 있어 한계를 갖고 있으며, 비등방성 열전도 소재 제조를 통한 혁신적인 TIM이 요구되는 상황이다(그림 11).

이러한 비등방성 열전도 소재는 높은 열전도 특성을 바탕으로 TIM 뿐만 아니라 LED 등 고발열 제품에 적용되는 MCPCB(metal core printed circuit board)에도 적용 가능하다. 또한, 반도체 칩의 고기능화를 위한 multi chip package, system on package 제조 시에도 칩을 접착하는 DAF(die adhesive film)에 열전도 기술을 적용하여 열전도 병목 현상 없이 안정된 구동을 할 수 있다는 장점이 있겠다.

이렇듯 비등방성 소재기술은 적용분야와 응용 기술이 전자기기 전 분야에 널리 퍼져 있어 파급효과가 클 것으로 기대된다.

3. 결론

‘더 작은 것이 아름다운 것이다’라는 말은 비단 반도체 분야에서만 적용되는 말이 아니다. 많은 나노구조, 나노패터닝 기술이 반도체 분야에 집중되어 있지만 전자기기의 소형화, 고성능화, 모바일화와 함께 그동안 심각하게 고려되지 않던 많은 이슈들이 다시금 수면 위로 나타나

고 있다. 비등방 전기/열 전달 접속 소재들은 최근에는 각종 전자제품의 수명과 가장 밀접한 관계가 있는 핵심 부품 소재로서 정체된 관련 기술에서 시급한 개선이 필요하다. 오히려 반도체 등과 같은 소자의 나노화와 달리 접속 소재 관련 기술에서는 나노화가 이루어지지 않는 상황여서 심각한 병목 현상이 발생하고 있다. 사실 모든 소자를 나노화한다고 하더라도 그 소자들을 연결하고 구성하는 접속 소자의 나노화가 이루어지지 않는다면 첨단 반도체, 디스플레이, 휴대폰 관련 분야에서 큰 성과를 이끌어내기는 쉽지 않을 것이다. 첨단 분야에서 범용 분야까지 이르러 부품 소재 분야에서의 나노기술이 가져올 수 있는 파급력과 중요성을 다시 한 번 강조하면서 글을 마친다.

참고문헌

1. J. W. Diggle, T. C. Downie, and C. W. Goulding, *Chem. Rev.*, **69**, 365 (1969).
2. J. Chai and J. M. Buriak, *ACS Nano*, **2**, 489 (2008).
3. M. P. Stoykovich, H. Kang, K. C. Daoulas, G. Liu, C. C. Liu, J. J. de Pablo, M. Mueller, and P. F. Nealey, *ACS Nano*, **1**, 168 (2007).
4. M. Park, C. Harrison, P. M. Chaikin, R. A. Register, and D. H. Adamson, *Science*, **276**, 1401 (1997).
5. M. Park, P. M. Chaikin, R. A. Register, and D. H. Adamson, *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 257 (2001).
6. J. H. Park, A. A. Khandekar, S. M. Park, L. J. Mawst, T. F. Kuech, and P. F. Nealey, *J. Cryst. Growth*, **297**, 283 (2006).
7. T. Thurn-Albrecht, R. Steiner, J. DeRouchey, C. M. Stafford, E. Huang, M. Bal, M. Tuominen, C. J. Hawker, and T. P. Russell, *Adv. Mater.*, **12**, 787 (2000).
8. A. S. Zaluski, R. Olayo-Valles, J. H. Wolf, and M. A. Hillmyer, *Journal of American Chemical Society*, **124**, 12761 (2002).