

대기압 CVD중합법을 이용한 고분자 나노박막 기술 및 응용

김진열 교수 (국민대학교 신소재공학부)

1. 서 론

유기반도체, 유기발광 소자, 액정 등 유기전자재료 (Organic Electronics)에 관한 연구가 최근 비약적으로 매우 활발하게 전개되면서 유기 및 고분자재료의 박막화 기술에 대한 연구가 매우 중요하게 되었다. 특히, 콘덴서, 광전소자, EL, LCD, 반도체, 및 유기태양전지 등에서는 유기 및 고분자박막기술이 소재는 물론 공정용으로도 매우 중요한 핵심기술이다.

일반적으로 유기 및 고분자박막의 제조법으로는 그림 1에서 표시한 바와 같이 용액상태에서 박막공정이 이루어지는 습식법 (Wet Process)과 CVD (Chemical Vapor Deposition) 및 PVD (Physical Vapor Deposition) 등과 같이 기체상태(진공)에서 박막을 성장시키는 건식법 (Dry Process) 등 크게 2 가지로 분류되고 있다. 습식법은 고분자재료를 용매에 용해하여 기판 위에 도포 (Spin Coat법, Dip Coat 법, Spray Coat법, 그라비아 Coat법 등)하는 고분자용액법과 유기용매 중에서 고분자 합성반응을 하면서 동시에 기판 상에 고분자막을 형성시키는 계면 중합법 (LB법, 전해중합 등)으로 구분되며 고분자 및 유기재료에서 일반적으로 많이 활용되고 있는 박막 형성방법이다. 반면에 건식에 의한 유기고분자 박막 형성 방법으로는 기본적으로 물리기상성장법 (PVD)과 화학기상성장법(CVD) 등이 있으나 기본적으로는 진공조건에서 증착하거나 가스 상태의 단량체를 성장 또는 증착 중합하는 박막 형성방법으로

Sputtering, 플라즈마 중합, 열 증착 중합 등 다양한 공법이 활용되고 있다.

본 총설에서는 “자기조립기상중합 공법 (Self-assembling Gas-phase Polymerization)”에 의한 고분자의 박막제조 방법에 대해 소개 하고자 한다. 여기서 자기조립기상중합 공법은 일종의 화학기상중합 법으로 설명될 수 있으며, 기존의 화학기상성장법 (CVD법)과의 차이점은 대기압조건에서 단분자가 기체 상태에서 중합과정이 이루어지며 박막을 형성한다는 것이다. 즉, 이는 대기압 기상중합 (Gas-phase Polymerization) 공법을 박막공정에서 이용하는 박막제조 방법이며 Bottom Up방식의 자기조립 기술로 설명될 수 있다. 자기조립기상중합은 유기 및 유기금속의 가스 상태 단량체들이 반응촉매 또는

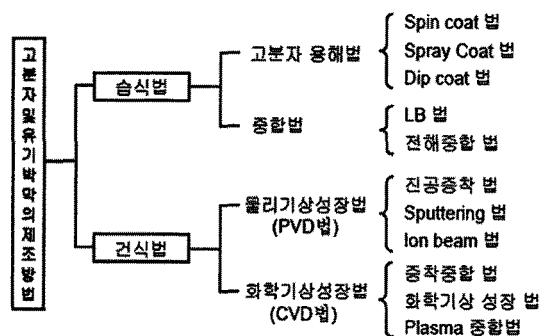


그림 1. 고분자 및 유기재료의 박막제조 방법.



산화제들과 기재 (Substrate) 표면에서 접촉되면서 활성화되고 결합되면서 중합이 일어나는 합성과정이며 이들이 박막필름 형태로 중합되는 것을 말한다. 기체상태의 단량체가 활성화되면서 자기조립 (Self-assembly) 과정을 통해 고분자로 성장하는 메커니즘을 따르고 있어 용제 및 복잡한 정제공정을 거치지 않는다는 특징을 가진다. 일반적으로는, 기상 중합법은 에칠렌과 같은 올레핀 중합의 필름공정에서 많이 이용되어 왔다 [1]. 최근, UCC에서 메탈로센 촉매조건에서 기상중합으로 폴리에칠렌을 상용화 하였으며, 생산성과 경제성 등에서 많은 주목을 받고 있다. 기상중합을 이용하는 박막공정은, 합성과정에서 용매를 사용하지 않기 때문에 용매의 회수 및 경제공정이 불필요하고, 용액 중합법이나 슬러리 중합법에 비해, 비용적인 이점이 큰 특징을 가진다. 일반적으로, 고분자 물질의 박막제조는 그림 1에서와 같이 용액상의 합성물을 습식박막공법에 의해 제조되고 있다. 또는 높은 전공상태에서 기상성장 또는 기상증착법을 이용하고 있다. 그러나 자기조립 기상중합에 의한 박막의 경우 저온의 대기압조건에서 합성반응이 진행되는 것이 특징이다. 기상중합과 관련, 1974년 Shirakawa는 Ziegler-Natta 촉매에 아세틸렌가스를 주입하여 필름상태의 전도성 폴리아세틸렌 중합에 [2] 성공하였고, 그 밖에 다양한 구조의 열분해고분자 (Pyro Polymer 또는 Polymer Carbons)와 저 차원 Graphite고분자 합성에서도 응용되었다. 특히, 단량체 기체를 열분해하여 얻어지는 Pyro 고분자는 고결정성 또는 고전도성을 나타내는 것이 특징이며, 대표적인 기상성장 탄소화합물로 알려져 있다 [3]. 2000년 이후, 기상중합을 이용하는 합성법은 대기압 저온조건에서 나노필름, 나노튜브, 나노화이버, 나노입자, 나노결정 등 다양한 형태의 기상성장 탄소화합물이 발표되어 왔으며 [4-6], 이들은 저가의 제조비용과 간단한 공정, 가공의 용이성 등의 장점으로 많은 관심을 끌게 되었다. 특히 주로 산화중합에 의해 제조되는 공역계 고분자의 경우, 산화제와 기체상태의 단량체만으로 99.9 % 이상 고순도의 고분자를 박막필름 또는 화이버, 튜브 등의 형태로 바로 얻을 수 있어 기존의 용액상태에서 중합 후 정제와 도핑 등 복잡한 과정을 거쳐야 하는 문

제를 간단한 공정으로 해결할 수 있었다. 따라서 필름형성 또는 구조물형성에 필요한 별도의 Matrix 고분자를 필요로 하지 않아 공역계 고분자 자체만의 성능을 구현할 수 있는 특징을 가질 수 있어 높은 수준의 광학적 전기적 물성을 갖는 박막을 실현시킬 수 있었다. 기상중합의 중합 메커니즘은 플라즈마 조건에서도 실현되어 왔으며 플라즈마 중합은 수십 여 년 전부터 합성의 중요한 부분이 되어 왔다. 플라즈마 상태에서 유기 및 유기금속 모노머 기체들이 활성화 되고 자기 조립되는 방법으로 중합체가 형성되는 것으로 가교밀도가 높은 망상구조의 고밀도의 고분자 박막, 고강도의 표면구조를 갖는 고분자 중합체, 우수한 전기 광학적 및 우수한 생체 친화 특성을 보이는 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 총설에서는 자기조립기상중합공법에 대한 소개 및 기상중합에 의해 합성되는 전자 소재용 고분자 나노박막들에 대한 연구결과들에 대한 소개 및 응용성 등에 대해 소개하고자 한다.

2. 자기조립 CVD 중합법에 의한 공역계고분자 나노박막 제조 및 응용

공역계 고분자는 공역 이중결합을 갖는 대표적인 전기 전도성 고분자로서 금속의 전기적, 자기적, 광학적 성질을 갖는 동시에 종래 고분자의 가공성과 기계적 특성을 동시에 갖는 물질이다. 1977년 폴리아세틸렌에서 금속적 전도성이 발견된 이래 폴리피롤, 폴리아닐린, 폴리티오펜 및 그 유도체 등 다양한 구조의 공역고분자의 합성방법이 개발되어 왔으며, 다이오드, 콘덴서, 2차 전지, 발광소자, 트랜지스터에서 바이오센서에 이르기까지 다양한 용도에서 적용되어 왔다. 또한 이러한 다양한 광전자소자 및 센서분야에서 응용되기 위해서는 박막필름, 나노튜브, 나노화이버, 나노입자, 고순도결정체 등 다양한 형태의 구조제어가 요구되고 있고 성능향상을 위한 필요성이 요구되고 있다. 그러나 용액에 의해 제조되는 기존의 CVD 또는 습식코팅법 등을 이용하는 박막공정에서는 성능향상의 많은 한계점을 가져왔으며, 이는 응용에 많은 제약요인이였다. 고분자 나노

구조재료의 제조방법으로는 주형(Template)을 이용하는 제조법[7, 8], 계면중합법[9], 전기중합법[10, 11] 및 전기방사법[12] 등이 보고되어 왔으며, 최근 자기조립 기상중합법을 이용하는 새로운 프로세스가 [4-6] 발표되어 많은 주목을 받고 있다.

자기조립 기상중합은 대기압 CVD 중합기술로 써 위에서 정리한 바와 같이 기체상태의 단량체를 촉매 또는 산화제와 접촉시켜 기재(Substring) 위 표면에서 중합을 유도하는 촉매/산화 중합, 기

체상태의 단량체를 높은 온도에서 분해 활성화시켜 기재 위 표면에서 성장하도록 하는 열분해 중합, 그리고 기체상태의 단량체를 플라즈마 조건에서 활성화된 이온종을 형성시킨 후 화학적 반응을 유도하여 기재 위 표면에서 중합체를 합성하는 플라즈마 중합 등으로 분류할 수 있다. 기상 중합의 메커니즘은 촉매/산화제, 열 또는 플라즈마 등과 같은 매개체에 의해 활성화된 모노머들 간의 화학결합에 의해 조립되고 성장하는 경로로 중합체가 완성되는 자기조립(Self-assembly)의 과정을 거친다. 따라서 중합체가 일련의 Bottom-up 방식의 성장과정을 통해 조립되기 때문에 기판재료 또는 Template구조에 따라 다양한 형태의 나노구조물을 자유롭게 형성시킬 수 있다는 장점을 가진다. 이는 다양한 형태의 나노 구조물을 요구하고 있는 최근의 디스플레이 및 반도체 등 전자소자의 소재가공기술에도 크게 주목되는 기술의 분야이다. 그림 2는 자기조립 기상중합에 의해 실현되는 여러 가지 나노 구조물에 대해 지금 까지 보고된 연구 과정을 정리한 것으로, 요약하면 구십-수백 나노미터 두께의 나노박막, 나노결정상의 박막, 나노입자 코팅, 나노막대, 나노튜브, 나노 화이버 코팅, 나노패턴, 나노컴포지트 박막, 나노 코팅 등 다양한 형태의 나노박막 소재 합성 예를 표시하였다.

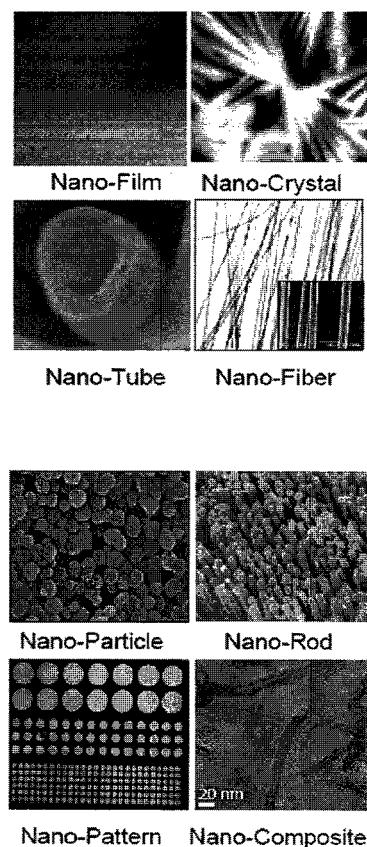


그림 2. 자기조립 기상중합의 기구를 이용하여 제조된 나노박막소재의 합성 예 (나노박막, 나노결정상의 박막, 나노입자 코팅, 나노막대, 나노튜브, 나노 화이버 코팅, 나노패턴, 나노컴포지트 박막).

2.1 나노 박막구조물의 제조법

자기조립기상중합을 이용한 공역계고분자 나노필름, 나노막대, 나노튜브 등에 대한 연구가 보고되었다. 유기용제에 촉매 또는 산화제를 용해시킨 용액을 박막형태로 코팅 또는 Template구조물에 코팅한 후, 그 표면에서 모노머 단량체의 화학적 산화중합을 통해 고분자 나노재료를 제조한다 (그림 3) [5, 6, 13, 14]. 촉매의 종류 및 농도, 코팅물의 두께, 중합온도 및 시간 등의 합성변수 조절을 통해 나노 박막 재료의 크기 및 물성을 제어할 수 있으며 연속필름 중합과 대량생산이 가능하다. 특히, 다양한 종류의 유무기 나노재료를 제조하기 위해 널리 사용되고 있는 Template 주형물을 이용한 연구는 이미 다양하게 응용되고 있는 분야로서 이들을 주형으로 사용, 수

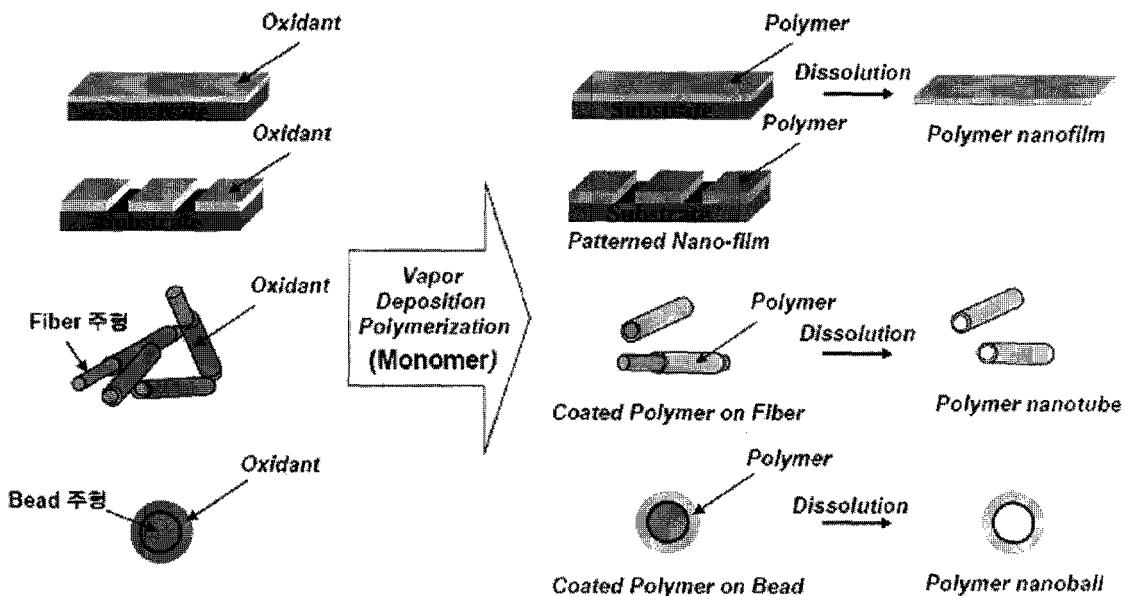


그림 3. 기재 또는 주형 위에 산화제를 코팅한 후 자기조립기상증합을 이용한 고분자 나노박막 구조물 (나노필름, 나노 Patterning, 나노튜브, 나노 Fiber, 나노 볼) 개략도 [5, 6, 13, 14].

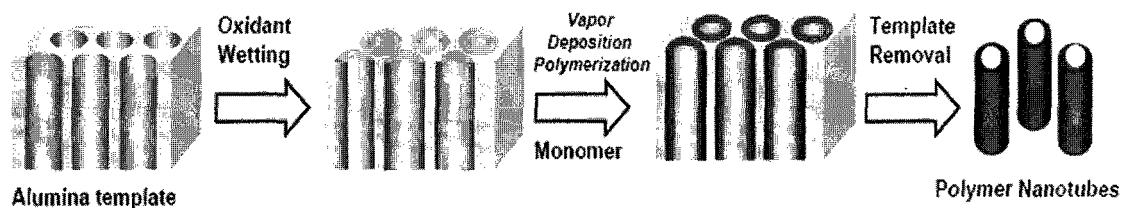


그림 4. 알루미나 주형 내에 산화제를 코팅한 후 자기조립기상증합에 의한 고분자 나노튜브 제조개략도 [4].

나노미터에서 수십 나노미터 크기의 고분자 나노박막 소재를 제조할 수 있다 (그림 4)[4].

2.2 고순도 나노박막필름의 예

진성 공역계 고분자는 높은 전기 전도도를 갖는

유기소재로 알려져 있으며, 특히 폴리아세틸렌의 경우는 이론적으로 10^6 S/cm 정도의 높은 전기적 특성을 갖는 것으로 보고되고 있다. 그 후 폴리피롤, 폴리아닐린, 폴리티오펜 및 그 유도체 등 다양한 구조의 공역고분자의 합성방법이 개발되어 왔고, 유

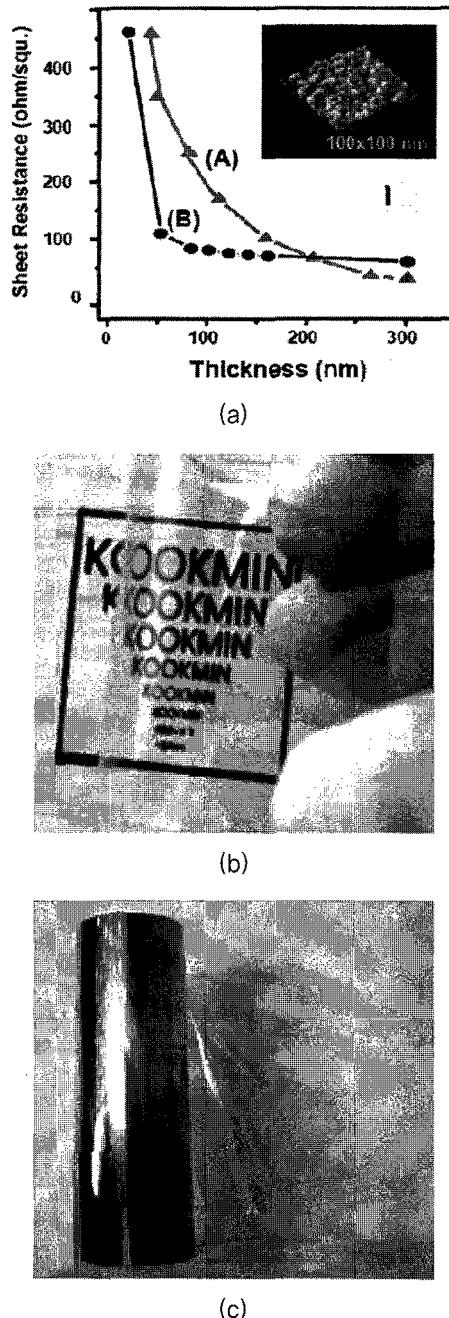


그림 5. 자기조립 기상중합법을 이용한 전도성 고분자 나노박막의 전기전도도 특성 및 Roll to roll 연속공정에서 제조된 필름샘플 [13, 14, 15] (a, 자기조립 기상중합법으로 제조된 전도성 고분자 필름의 두께별 전도도 특성, (b)(c) 기존의 ITO 필름의 전도도 특성)

기전자소재로의 응용을 위한 노력이 계속되어 왔으나, 지금까지 개발된 전도성 고분자 필름 상에서의 전기 전도도는 10^2 S/cm 범위를 능가하지 못하며 앞서 설명한 바와 같이 폴리아세틸렌 고분자를 제외하고는 금속성질 구현에는 상업적으로 성공하지 못하고 있다. 이는 용액증합에 따른 복잡한 정제과정과 도핑과정을 거쳐야 하고, 박막형성을 위해 계면활성제나 Matrix 물질을 첨가해야 하는 등의 과정이 필요하고 Wet공정에 따른 고분자 자체의 분자 배열에 규칙성이 결여된다는 단점이 있다. 그러나 자기조립 기상증합은 기체상태의 Dry 공정서 이루어지며 복잡한 정제과정과 도핑과정을 거치지 않고, 박막형성을 위해 별도의 첨가물질을 필요로 하지 않는다. 또한, 단량체들 간의 자기조립 성장과정을 통해 이루어지기 때문에 규칙성을 크게 향상시킬 수 있다. 또한, 고순도의 진성 전도성고분자 만의 박막을 얻을 수 있어 높은 전기 전도도를 구현할 수 있는 장점을 가진다. 최근, J. Y. Kim 등은 [13, 14, 15] Roll to roll 연속공정에서 자기조립기상증합을 이용한 전도성 고분자 필름제조기술의 양산화에 성공하였다고 보고하였으며, 150 nm 두께에서 전기전도도 10^3 S/cm (면적당 100 ohm/square)의 투명전극을 제조 플렉시블 디스플레이 (LCD, OLED)를 시현하였다 (그림 5).

전술한 바와 같이 자기조립 기상증합법으로 제조되는 공역계고분자 필름은 진성 전도성 고분자의 특성을 구현할 수 있어 높은 전기적 특성을 구현할 수 있음을 주목할 필요가 있다. 특히, ITO전극에 벼금가는 10^3 S/cm (면적당 100 ohm/square)정도의 전도도와 80 % 이상의 투과도를 갖는 투명한 박막을 제조할 수 있어 ITO를 대체할 수 있는 가능성을 열었다. 그림 5에서 보는 바와 같이 300 nm 두께에서는 25 ohm/square (6000 S/cm)의 전기 전도도를 얻을 수 있어 진성 전도성 고분자에서 금속성의 특성을 얻을 수 있음을 보여주었다. 지금까지, 대표적으로 사용되고 있는 ITO를 대체할 수 있는 유기재료로는 SWCNT와 전도성 고분자가 대표적인 대체재로써 주목 받고 있으나, 현재 기술로는 많은 기술적 한계를 극복하지 못하고 있다. 이는 기존의 CNT와 용액증합 전도성 고분자에 있어서는 분산기술, 도핑기술

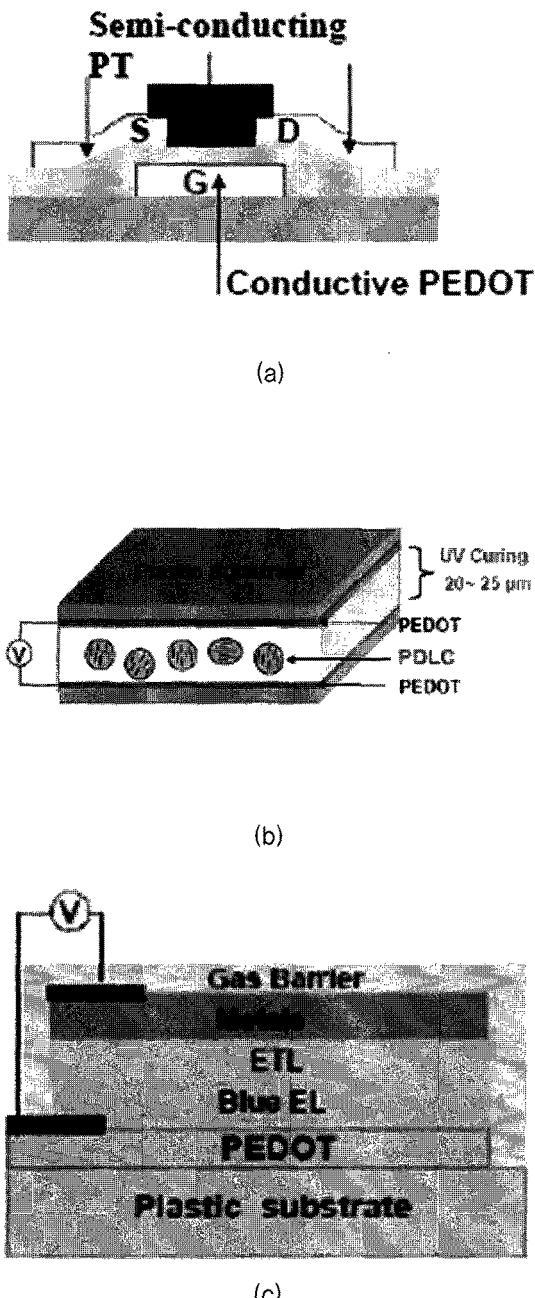


그림 6. 자기조립 기상중합법을 이용한 유기투명전극 박막의 응용 예 [13-15] ((a) 유기TFT 전극 및 반도체 막, (b) PDLC의 투명전극, (c) 유기 EL 투명전극).

및 필름가공기술 등 많은 문제들이 수반되기 때문에 진성 고분자로써의 물성을 구현하기까지 어려움이 많았으며, 이를 해결하려는 연구 활동이 다각적으로 진행되고 있다.

2.3 나노 가공 및 응용

자기조립 기상중합을 이용한 공역계고분자는 나노박막필름 이외에도 나노막대, 나노튜브, 나노 화이버, 나노패턴 등에 대한 연구결과가 보고되었다. 앞에서 서술한 바와 같이 Template 구조물을 이용 그 표면 또는 내면에서 모노머 단량체의 화학적 산화중합을 통해 전도성 고분자 나노 구조물을 제조한다. 특히, 전기적 특성이 우수한 나노튜브 또는 나노 입자 등은 디스플레이 등의 광전자 분야뿐만 아니라 센서, 에너지관련 재료 등에서 매우 유용하게 사용될 수 있는 신소재로 알려져 있다. 이는 전도성 고분자는 다양한 구조의 분자를 설계할 수 있고, 가공성이 좋으며, 유연한 특성을 가지는 등의 장점을 갖기 때문이며, 최근 들어 화학, 바이오센서용 트랜스듀서 또는 유기반도체 및 유기태양전지 등에 적용되어 왔다. 그럼 6은 그림 5에서 서술된 자기조립 기상중합법을 이용한 고전도의 전도성 고분자 나노박막을 투명전극 필름으로 사용하여 제작된 유기반도체 및 LCD, 유기EL 소자의 응용 예이다.

미세패턴 가공은 전자 디스플레이 및 여러 광 소자 응용에서 필수적으로 요구되는 공정이다. 그러나 일반적으로 전도성 고분자 물질은 유기용제에 불용이며 상용성이 좋지 않은 문제로 가공성에 많은 어려움이 있어 이를 해결하려는 수많은 연구결과가 [16] 보고되고 있으나 기대한 만큼의 물성이 나타나지 않았다. 아래 그림은 상기에서 서술된 자기조립 기상공정에서 용이하게 구현되는 전도성 고분자의 미세패턴구조이며 최소 100 nm L/S 형상구현이 가능한 것으로 보고하고 있다 [15].

나노섬유에 대한 연구 역시 다양한 방법으로 접근하고 있는 박막가공기술 중에 하나이다. 그 중, R. B. Kaner 등은 [9] 계면중합을 이용해 전도성 나노섬유를 제조할 수 있다는 것을 보고하였으나 적용되는 소재가 제한적 이였으며, 대량생산에서 많은 겹증이 필요한 수준이다. 코넬대학의 Craighead 등은 [12]

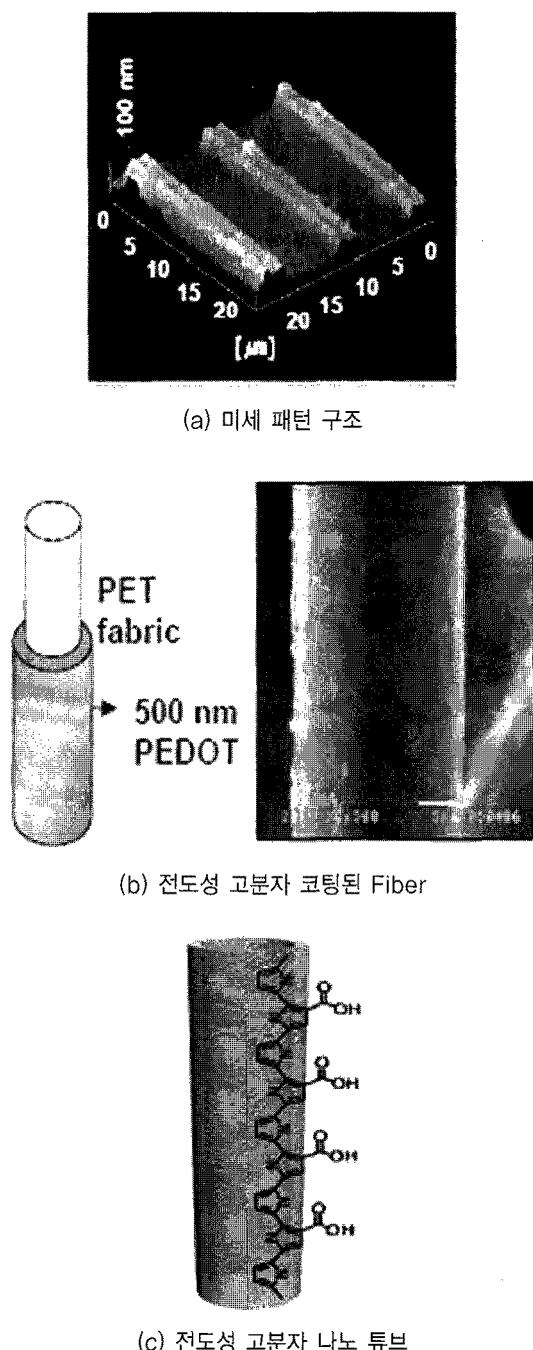


그림 7. 기상 중합법을 이용한 고분자소재의 가공 예.

또한 전기 방사법을 이용 배향성이 좋은 고분자 나노섬유를 코팅할 수 있다는 보고를 하였으며, 이를 센서기판제조에 이용할 수 있다고 하였다. 그림 7은 상기에서 서술된 자기조립 기상공정에서 용이하게 구현되는 전도성 고분자의 나노섬유에 대한 연구 결과로써 PET, CNT 등과 같은 Fabric 구조의 기재 위에 고전도성 고분자 화합물을 소재 제한 없이 집집 코팅 가공할 수 있다. 이는 전기 방사법을 이용한 나노섬유를 코팅기술에 비해 공정이 간단하고 양산성이 용이한 장점을 가진다. 또한, 센서 트랜듀서 소재로써 전도성 고분자 나노재료의 사용은 매우 다양하게 연구되고 있는 분야이다. 센서로 사용되는 나노섬유 또는 나노튜브는 표면적이 넓으며 균일한 주형 구조를 갖는 것이 중요하며, 이들이 성능을 결정하는 주요 요인이기도 하다 [12]. 그림 7은 J. Jang 등이 [4] 보고한 것으로, CNT 주형에 카르복실기를 기능기로 함유하고 있는 폴리피리를 자기조립 기상중합에 의해 박막 코팅 가공한 전도성 고분자 나노튜브를 표시한 것이다.

3. 고온/플라즈마 조건에서의 기상중합 박막

3.1 고온 기상중합 박막

지금까지는 대기압 저온조건에서 일어나는 기상 산화중합을 이용하는 박막제조에 대한 소개였다. 기체 상태에서의 고분자 중합은 200 °C 이상의 높은 온도 조건에서 모노머 분자의 분해에 의해 활성화되면서 중합체를 만들 수 있으며, 일반적으로는 Pyro 고분자로 알려져 있는 저 차원 탄소유도체의 합성에서 많이 응용되고 있다 [3]. 본 장에서는 고온조건에서 이루어지는 자기조립 기상중합의 예를 소개 하고자 한다.

Pyro 고분자는 유기 단량체를 고온에서 열분해 시켜 재결합하는 과정에서 만들어지는 탄소재료이다. 출발물질의 형태와 성질에 따라 입자, 필름, 화이버 등의 형상을 얻을 수 있으며, 지금까지의 연구 결과로는 사다리형 고분자 (폴리페닐렌, 폴리아센, 폴리벤조티오펜 등)중합에서 많이 이용되어 왔다. 이

들은 대부분 고리형 또는 방향족계열의 공역계고분자로서 앞장에서의 공역계 고분자계에 비해 내열성, 강도, 전도성 등이 우수한 것으로 알려져 있다. I. C. Weiss는 [17] AlCl_3 촉매조건에서 벤젠 또는 나프탈렌 모노머를 기체상태 350 °C 온도에서 중합, 폴리파라페닐렌을 형성시키고 1 S/cm 의 전도도를 얻었으며, 그 후 다양한 구조의 헤테로 환형 고분자의 합성에 응용되어왔다. 특히, 고온 기상중합을 이용하는 연구는 기상성장 탄소섬유를 [18] 필두로 고 기능성 고분자 신소재의 중요한 공정으로 발전하여 벤젠을 기체상태 1100 °C 온도에서 철과 함께 열분해 반응 시켜 1.4×10^4 S/cm의 Graphite 섬유 상을 얻기에 이르렀다. 고온 기상중합은 축합반응의 경우에도 적용되는 예가 많다. 기상공정이 가능한 축합제의 내열성 고분자들로는 [19] 폴리이미드, 폴리비스이미다졸, 폴리아미드이미드, 폴리아미드, 폴리옥사디아졸 등이 알려져 있다.

3.2 플라즈마 기상중합 박막필름

플라즈마 중합 (Plasma Polymerization)은 가스 상태의 모노머들이 플라즈마 방전상태에서 기재표면에서 일어나는 중합방법이다. 플라즈마 방전상태에서 주입되는 단량체 분자는 플라즈마 에너지에 의해 촉매 없이도 활성화 되며 이들은 서로 자가 결합 (Self-assembly)되면서 중합체를 만드는 메커니즘을 거친다. 기상 촉매 / 산화중합과는 달리 선택적인 중합위치를 제어하기 어려워 중합체의 형태를 다양하게 제조하기 어려운 단점을 가진다. 중합체 물질의 구조 및 성질은 압력, 가스투입량, 가스의 종류, 전압 등의 플라즈마 공정인자에 의해 조절될 수 있으며 대부분의 경우 가교화된 불규칙적인 구조를 갖는 고분자박막 형태를 얻는 것이 또한 단점이지만 가교밀도가 매우 높아 고밀도 박막재료에서 매우 유익한 것으로 알려져 있다. 플라즈마 중합에 의해 형성된 박막들은 통상적으로 수백-수천 nm 두께의 박막필름상을 형성하며, 특히 유리나 금속기재와의 접착력이 매우 좋아 표면 개질 또는 전처리 고분자코팅공정에서 많이 활용하고 있다. 또한, 플라즈마 기상중합 공정에 의해 생성된 필름 / 박막의 경우, 편홀 등에 의한 결함이 없고 가교밀

도가 매우 높으며 탄성률이 높은 특징을 가진다. 따라서 메탄, 에탄 아세틸렌, 벤젠 등의 탄화수소를 모노머로 사용할 경우 생성되는 플라즈마 고분자는 고경도, 고굴절, 고 내마모 특성 등을 갖는 박막 필름제조에 많이 활용되고 있다. 반면에 불소치환 모노머를 이용한 플라즈마 고분자로부터는 소수성이 부가된 특성의 박막공정에서 활용되고 있다. 최근 들어, 우수한 열적, 화학적, 전기적, 광학적, 생체 친화적 성질을 요구하는 유기 실리콘계의 중합체를 플라즈마 기상중합으로 하는 생체재료연구가 활발히 진행되고 있다.

플라즈마 기상중합체의 응용 분야는 금속 또는 무기물 표면의 보호코팅이나 Passivation 코팅, 고분자의 표면 개질, 생체재료, 투과막 등 다양하게 전개되고 있다.

4. 결 론

자기조립 기상중합은 고분자중합의 한 분야로써 오래 전부터 알려진 합성과정의 일환이다. 다른 중합법과 반응 메커니즘은 같지만 용제 없이 기체 상태에서 반응이 진행 진다는 것이 특징이다. 프로세스상 용매를 사용하지 않기 때문에 용매의 회수 및 복잡한 정제공정이 필요 없어 친환경적 화학 중합의 일환으로 많은 관심의 대상으로 떠오르고 있다. 본 논고에서는 산화중합의 대표적인 예로서 공역계고분자의 경우를 중점적으로 거론하였으나, 최근 비상한 관심의 대상이 되고 있는 탄소 나노 구조물은 물론 폐릴렌, DLC 합성 또는 생체재료 등에 이르기까지 다양한 소재에서 적용되고 있다. 특히, 자기조립 기상중합공법의 합성방법으로 합성되는 고분자박막 필름 또는 다양한 형태의 기능성 나노 구조물들은 불순물이 전혀 포함되지 않은 고순도의 전성고분자만으로 제조되기 때문에 용액중합이나 다른 공법에 의해 합성되는 고분자에서의 한계점을 극복할 수 있다. 정보산업의 급격한 발전과 더불어 고기능의 고분자소재를 필요로 하고 있는 차세대 플라스틱 일렉트로닉스 (Plastic Electronics) 분야에서 유용하게 응용될 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] D.Y. Chiu, G. E. Ealer, F. H. Moy, and J. O. Böhler-Vidal, *J. Plast. Film sheeting* 15, 153 (1999).
- [2] T. Ito, H. Shirakawa, and S. Ikeda, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, 12, 11 (1974).
- [3] D.E. Weiss and B.A. Bolto, *Physics and Chemistry of the Organic Solid State*, Interscience, Vol. II, p.67 (1965).
- [4] J. Jang, S. Ko, and Y. Kim, *Adv. Fun. Met.* 16, 754 (2006).
- [5] J.Y. Kim, M. H. Kwon, Y. K. Min, S. J. Kwon, D. W. Ihm, *Adv. Mater.* 19, 3501 (2007).
- [6] J.Y. Kim, M. H. Kwon, J. T. Kim, S. J. Kwon, D. W. Ihm, *J. Phys. Chem. C* 111, 11252 (2007).
- [7] H. Yoon, M. Chang, and J. Jang, *Adv. Fun. Met.* 17, 431 (2007).
- [8] C.R. Martin, *Acc. Chem. Res.*, 28, 61 (1995).
- [9] J. Huang, S. Virji, B.H. Weiller, and R.B. Kaner, *J. Am. Chem. Soc.*, 125, 314 (2003).
- [10] K. Ramanathan, M.A. Banger, M. Yun, W. Chen, A. Mulchandani, and N.V. Myung, *Nano Lett.*, 4, 1237 (2004).
- [11] E.S. Forzani, H. Zhang, L.A. Nagahara, I. Amlani, R. Tsui, and N. Tao, *Nano Lett.*, 4, 1785 (2004).
- [12] H. Liu, J. Kameoka, D.A. Czaplewski, and H.G. Craighead, *Nano Lett.*, 4, 671 (2004).
- [13] J.Y. Kim, H.Y. Woo, J.W. Baek, T.W. Kim, E.A. Song, S.C. park, and D.W. Ihm, *Appl. Phys. Lett.* 92, 183301 (2008).
- [14] J.Y. Kim, C.R. Hwang, J.W. Baek, H.Y. Woo, E.A. Song, S.J. Kwon, and S.H. Joo, *SID 09 Digest*, 1540 (2009).
- [15] Jin-Yeol Kim, Tae-Wook Kim, Jung-Hyun Lee, Si-Joong Kwon, and Woo-Gwang Jung, *JJAP* (in press), (2009)
- [16] H.J. Salavagione, M.C. Miras, C. babero, *JACS*, 125, 5290 (2003).
- [17] I.C. Weiss, *Carbon*, 18, 191 (1980).
- [18] T. Koyama, *Carbon*, 10, 757 (1972).
- [19] H.B. Brom, *Solid State Commun.*, 35, 135 (1980).

저|자|약|력



성명 : 김진열

◆ 학력

- 1983년 한양대학교 화학과 이학사
 - 1985년 한양대학교 대학원 화학과 이학석사
 - 1997년 일본 동경대학교 고분자화학 이학박사
- ◆ 경력
- 1985년 – 1996년 삼성 제일합섬 연구소 선임연구원
 - 1998년 – 2001년 (주)새한 연구소 수석연구원
 - 2002년 – 현재 (주)Nanoenics 대표이사
 - 2004년 – 현재 국민대학교 신소재공학부 부교수

