



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0004717
(43) 공개일자 2010년01월13일

(51) Int. Cl.

B82B 3/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0065044

(22) 출원일자 2008년07월04일

심사청구일자 2008년07월04일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자

주진수

서울 중랑구 묵동 신내 두산아파트 525동 402호

이진우

서울특별시 성북구 종암동 66-21 복지빌라 401호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

현중철

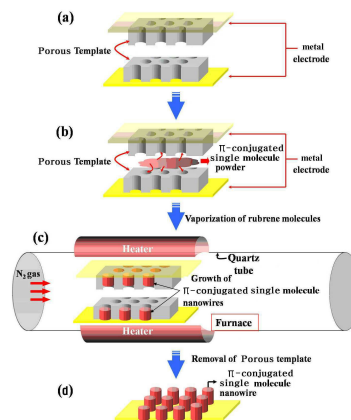
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) π -공액구조를 갖는 유기 단분자 나노선 제조방법 및그로부터 제조된 루브린 나노선

(57) 요약

π -공액구조를 갖는 유기 단분자 나노선 제조 방법 및 그로부터 제조된 루브린 나노선을 제공한다. 본 발명은 (a) 금속상에 다공성 템플레이트를 증착시키는 단계; (b) 파이 공액 구조를 가지는 유기 단분자 분말을 상기 다공성 템플레이트 사이에 분포시키는 단계; 및 (c) 상기 분말이 분포된 상기 다공성 템플레이트에 가스를 보내주면서 동시에 상기 다공성 템플레이트를 가열시키는 단계를 포함하는 유기 단분자 나노선 제조방법에 관한 것으로 본 발명에 의해 제조된 루브린(rubrene) 나노선은 뛰어난 광학적 특성과 전기적 특성을 보이기 때문에 광전 소자와 같은 다양한 유기 소자로 사용될 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김기현

서울특별시 성북구 석관2동 261-75번지

박동혁

서울 성북구 안암동2가 138번지 SM빌라 202호

이용백

서울 종로구 평창동 66-10

조미연

서울특별시 송파구 잠실2동 주공아파트 258동 107호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 R0A20070002005302007

부처명 한국과학재단

연구사업명 국가지정연구실사업(NRL)

연구과제명 하이브리드 나노구조체 물성 연구

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2007년 07월 01일 ~ 2008년 06월 30일

특허청구의 범위

청구항 1

- (a) 다공성 템플레이트에 금속을 증착시키는 단계;
 (b) 파이 공액 구조를 가지는 유기 단분자 분말을 상기 다공성 템플레이트 사이에 분포시키는 단계; 및
 (c) 상기 분말이 분포된 상기 다공성 템플레이트에 가스를 보내주면서 동시에 상기 다공성 템플레이트를 가열시키는 단계를 포함하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 2

제 1항에 있어서, (c)단계는 가열로(furnace)에서 이루어지는 것을 특징으로 하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 3

제 1항에 있어서, (c)단계 이후에, (d) 상기 다공성 템플레이트를 제거하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 다공성 템플레이트의 제거하는 단계는 상기 다공성 템플레이트를 HF 또는 NaOH 수용액에 침지시키는 것을 특징으로 하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 파이 공액 구조를 가지는 유기 단분자는 루브린(rubrene)인 것을 특징으로 하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 금속은 금(Au), 은(Ag) 또는 구리(Cu)인 것을 특징으로 하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 7

제 1항에 있어서, 상기 다공성 템플레이트는 알루미나(Al_2O_3)인 것을 특징으로 하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 8

제 1항에 있어서, 상기 가스는 질소(N_2) 또는 불활성 기체인 것을 특징으로 하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 9

제 8항에 있어서, 상기 불활성 기체는 아르곤(Ar) 또는 네온(Ne)인 것을 특징으로 하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 10

제 1항에 있어서, 상기 가스의 유속은 50 내지 $200\text{cm}^3/\text{min}$ 인 것을 특징으로 하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 11

제 1항에 있어서, 상기 가열하는 온도는 200 내지 310°C 인 것을 특징으로 하는 유기 단분자 나노선 제조방법.

청구항 12

제 1항 내지 제 11항 중 어느 한 항에 의해 제조된 루브린 나노선.

청구항 13

제 12항에 있어서, 상기 루브린 나노선은 직경이 100 내지 200nm, 길이가 50 μ m인 것을 특징으로 하는 루브린 나노선.

청구항 14

제 12항에 있어서, 상기 루브린 나노선은 570 내지 650nm 에너지 영역에서 최대 발광 피크가 나타나는 것을 특징으로 하는 루브린 나노선.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 π -공액구조를 갖는 유기 단분자 나노선 제조방법 및 그로부터 제조된 루브린 나노선에 관한 것으로 본 제조방법에 의해 간단하게 균일한 크기의 나노선을 제조할 수 있고 이를 이용하여 제조되는 루브린 나노선은 광학적, 전기적 특성이 우수하여 광전 소자와 같은 다양한 유기 소자로 사용될 수 있다.

배경 기술

- <2> 탄소(C)는 서로 이웃하는 탄소 원자들 사이의 전자들의 결합 형태에 따라서 물질이 도체, 반도체 또는 절연체의 성질을 갖게 하는데, 탄소의 결합 형태에 의해 절연체의 성질을 가지는 경우에는 다이아몬드가 있고, 이와 다른 탄소의 결합형태에 의해 반도체 성질을 가지는 경우에는 흑연이 있으며, 그 외에도 다양한 물성을 지니는 응집 물질로서 탄소나노튜브와 유기 반도체가 있다. 유기 반도체의 구성 단위 분자들은 그 분자들의 길이에 따라 단분자(small molecule) 혹은 고분자(polymer 혹은 macromolecule) 형태로 구분될 수 있고, 유기 단분자의 예로는 옥소퀴놀린알루미늄(III) ((oxoquinoline)aluminum(III):AlQ3), 펜타센(pentacene), 그리고 루브린(rubrene) 등이 알려져 있고, 유기 고분자의 예로는 폴리파라페닐렌비닐렌 (poly(p-phenylenevinylene):PPV), 폴리티오펜 (polythiophene:PTTh)과 이들의 유도체 등이 전기 및 광 반응성이 우수한 것으로 알려져 있으며 이들 에 대한 광 흡수 특성, 광 및 전기 발광 현상, 전하 수송 특성 등이 현재 연구되고 있다. 상기 유기 단분자가 구성 단분자인 유기 반도체의 경우 화합물을 구성하는 탄소 원자들 사이에는 $2p_z$ 궤도의 파이(π) 전자를 공유하면서 단일 공유결합과 이중 공유결합을 반복하는 파이-공액(π -conjugation) 구조를 갖는 특징이 있다. 파이 공액 구조 유기 단분자로 구성된 유기 반도체는 기존의 연구를 통해서 전기 및 광 반응성이 우수한 것으로 알려져 있으며 구조, 전기, 광학적 특성 등에 대한 연구를 통해서 유기 발광다이오드(organic light emitting diode:OLED), 유기 전계효과 트랜지스터(organic field-effect transistor:OFET), 유기 태양전지와 같은 상업적 응용성 연구가 활발히 이루어지고 있다. 반도체 특성을 갖는 유기 단분자 연구는 주로 높은 전하 이동도를 갖는 루브린 또는 펜타센을 이용하여 단결정형 혹은 다결정형 박막의 형태로 성장시킨 후 유기 발광다이오드 또는 유기 전계효과 트랜지스터의 제작과 그 특성 평가에 집중되고 있으며 종래에 루브린 분말만을 사용하여 막대 형태의 단결정을 형성시킨 경우 단결정의 크기가 수십 마이크로미터에 이르렀다.

- <3> 유기 트랜지스터의 효율을 증가시키기 위해 유기 반도체 다결정형 박막을 형성시키는 방법으로는 물리적 기상 전달법(physical vapor transport:PVD) 또는 화학적 기상 증착법(chemical vapor deposition:CVD)을 이용하는 방법이 있다. 전기화학적 방법은 용매를 사용하게 되기 때문에 유기 분자의 손상이 있을 수 있으며, 화학기상 방법의 경우 균일한 크기의 나노선을 제작하기 힘들다는 단점이 있다. 이때 사용되는 유기반도체 박막 물질로는 Zinc phthalocyanine(ZnPc)과 파라헥사페닐(para-hexaphenyl:p-6P)이 알려져 있으며 반도체 특성을 갖는 유기 단분자 다결정형 나노선과 나노리본에 대한 연구가 현재 수행중이다. 최근에는 F_{16} copper phthalocyanine (F_{16} CuPC) 다결정형 유기반도체를 이용하여 광 반응에 의한 유기 트랜지스터 개발에 성공한 바도 있다. 또한 copper phthalocyanine (CuPc)를 화학적 기상 증착법으로 금(Au) 나노 입자에 성장시킨 결과를 보고한 바 있는데 다양한 결정화 방법과 조건에 따라 동일한 유기반도체 물질에서 다양한 모양의 결정을 성장시킬 수 있으며, 성장된 결정을 이용하여 트랜지스터와 같은 소자를 제작한 바 있다.

- <4> 하지만, 현재까지 유기 단분자를 이용한 나노미터 크기의 발광 나노물질에 대한 연구는 충분하게 이루어지지 못한 수준인데 이는 단분자로 이루어진 나노구조의 제작이 어렵고, 제조된 나노 구조물의 발광특성을 분

석하는데 어려움이 있기 때문이다. 특히 루브린 단분자와 같이 파이 공액 구조를 가지는 유기 단분자를 이용하여 발광하는 나노미터 크기의 결정체를 제조하는 방법 및 루브린 나노선이 제조된 경우는 아직 없다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <5> 본 발명이 해결하고자 하는 첫 번째 과제는 파이 공액 구조를 가지는 유기 단분자 나노선을 제조하는 방법을 제공하는 것이다.
- <6> 본 발명의 두 번째 과제는 나노 크기를 가짐으로써 나노 및 마이크로 미터 크기의 전자소자에 응용이 가능함과 동시에 광학적 발광 특성이 공기 중에서도 안정한 유기 광전소자용 루브린(rubrene) 나노선을 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- <7> 본 발명은 상기 첫 번째 과제를 해결하기 위해 (a) 금속상에 다공성 템플레이트를 증착시키는 단계; (b) 파이 공액 구조를 가지는 유기 단분자 분말을 상기 다공성 템플레이트 사이에 분포시키는 단계; 및 (c) 상기 분말이 분포된 상기 다공성 템플레이트에 가스를 보내주면서 동시에 상기 다공성 템플레이트를 가열시키는 단계를 포함하는 유기 단분자 나노선 제조방법을 제공한다.
- <8> 이때 (c)단계는 가열로(furnace)에서 이루어질 수 있고 (c)단계 이후에 (d) 상기 다공성 템플레이트를 제거하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- <9> 상기 다공성 템플레이트의 제거하는 단계는 상기 다공성 템플레이트를 HF 또는 NaOH 수용액에 침지시키는 것일 수 있다.
- <10> 본 발명의 일 실시예로 상기 파이 공액 구조를 가지는 유기 단분자는 루브린(rubrene)일 수 있다.
- <11> 상기 금속은 금(Au), 은(Ag) 또는 구리(Cu)일 수 있고, 상기 다공성 템플레이트는 알루미나(Al_2O_3)일 수 있다.
- <12> 상기 가스는 질소(N_2) 또는 불활성 기체일 수 있고, 상기 불활성 기체는 아르곤(Ar) 또는 네온(Ne)일 수 있다.
- <13> 이때 상기 가스의 유속은 50 내지 $200\text{cm}^3/\text{min}$ 인 것일 수 있다.
- <14> 상기 가열로를 가열하는 온도는 200 내지 310°C 인 것일 수 있다.
- <15> 본 발명의 두 번째 과제를 해결하기 위하여 상기 제조방법에 의해 제조된 루브린 나노선을 제공한다.
- <16> 상기 루브린 나노선은 직경이 100 내지 200 nm, 길이가 50 μm 인 것일 수 있고, 570 내지 650nm 에너지 영역에서 최대 발광 피크를 나타내는 것일 수 있다.

효과

- <17> 본 발명에 따른 유기 기상 이동 방법 (organic vapor transport)을 이용한 파이 공액 구조를 가지는 유기 단분자 나노선을 제조하는 방법은 종래의 전기화학적 방법과 달리 용매를 사용하지 않으므로 유기 분자의 손상을 막을 수 있고 종래의 화학기상방법과 달리 유기 단분자 자체를 템플레이트에 적용함으로써 균일한 크기의 나노선을 대량으로 제작할 수 있는 장점이 있으며 간단한 제조공정을 통하여 광학적, 전기적 특성을 나타내는 유기 단분자 나노선을 제조할 수 있다. 본 발명에 의해 제조된 루브린 나노선은 뛰어난 광학적 특성과 전기적 특성을 보이기 때문에 광전 소자와 같은 다양한 유기 소자로 사용될 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <18> 이하 도면과 실시예를 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다.
- <19> 본 발명은 상기 과제를 달성하기 위하여, 가열로에서 유기 기상 이동 방법 (organic vapor transport)을 이용하여 나노 다공성 템플레이트 속에서 파이-공액 구조를 가지는 유기 단분자 나노선을 제조하는 방법을 제공한다.
- <20> 도 1은 나노 크기의 다공성 템플레이트를 이용한 파이-공액 구조의 유기 단분자 나노선 제조 과정 개략도이다. 도 1을 참조하면 (a)는 무기물 증착기를 이용하여 나노 기공을 갖는 다공성 템플레이트 일측에 금속을 증착시키는 단계이고, (b)는 파이-공액 구조 유기 단분자 분말을 상기 다공성 템플레이트의 타측에 고르게 분포시키는

단계이다. 이때 금속이 증착된 부분은 도면에 나타나듯이 파이-공액 구조 유기 단분자 분말 반대쪽에 위치한다. (c)는 유기 기상 이동 방법으로 파이-공액 구조 유기 단분자를 나노선 형상으로 성장시키는 단계로서 (b) 단계에서 얻은 시료를 가열로 안에 넣고, 가열로 안으로 질소 가스를 흘려 보내 주어 가열로 안을 질소 분위기로 유지시키면서 온도를 높여 가열로 내부를 가열하기 시작한다. 그러면 파이-공액 구조 유기 단분자들은 온도가 상승함에 따라 들뜨기 시작하고, 이런 분자들은 나노 기공 안으로 들어가면서 분자들끼리 결합이 이루어지면서 나노 기공을 채워가게 되고 기공 내의 제한된 공간으로 인해 파이-공액 구조 유기 단분자들은 상하로 성장하게 되어 결국 나노선 형태를 갖게 된다. (d)는 다공성 템플레이트를 제거하는 단계로서 나노선 성장이 종료된 후 다공성 템플레이트를 HF 또는 NaOH 수용액 등을 이용하여 제거하면 금속면 위에 파이-공액 구조 유기 단분자 나노선만이 남게 된다.

<21> 다공성 템플레이트의 일측에 증착되는 금속에는 금(Au), 은(Ag) 또는 구리(Cu)가 포함된다. 템플레이트의 한쪽 면에 금을 증착시키면 금이 유기 단분자 나노선이 성장하는데 있어 일종의 시드(seed) 역할을 하게 된다. 만약 템플레이트의 한쪽 면이 막혀있지 않다면 유기 단분자들이 기상화 되면서 분자들간의 결합이 형성되기 전에 유기 단분자들이 템플레이트를 벗어나게 되므로 금이 증착되는 것이 필요하다. 또한 금을 시드로 유기 단분자 나노선이 성장되어 있기 때문에 템플레이트를 제거했을 때에 나노선 어레이(array)가 유지될 수 있으므로 금 증착이 필요하다.

<22> 상기 유기 기상 이동 방법을 이용하여 파이-공액(π -conjugation) 구조를 갖는 유기 단분자가 결합하여 나노선이 형성되는 이유는 유기 단분자 루브린 분말을 가열로를 이용하여 기상화시키면 나노 기공 템플레이트 안에 유기 단위 분자체들 사이의 반데르 발스 인력(Van der Waals' attractive force)을 통해 구성 탄소 원자들 사이에 $2p_z$ 궤도의 파이(π) 전자의 파이-파이 층 쌓임(π - π stacking)이 이루어지기 때문이다.

<23> 본 발명의 일 실시예로 파이-공액 구조를 갖는 유기 단분자 물질로 루브린을 사용하여 루브린 나노선을 제조하는 방법을 제공한다. 먼저 나노 기공을 갖는 알루미늄(Al_2O_3) 다공성 템플레이트 한쪽면에 우선 금(Au)을 무기물 증착기를 이용하여 증착시키고 막대 사발을 이용해 2 내지 3회 곱게 간 루브린 분말을 알루미늄 다공성 템플레이트 사이에 고르게 분포시킨다. 다음 이렇게 준비된 시료를 가열로 안에 넣고, 가열로 안을 질소 분위기로 유지시키면서 온도를 높인다. 루브린 분자들은 온도가 상승함에 따라 들뜨기 시작하고 이어서 나노 기공 안으로 들어가면서 분자들끼리 결합이 이루어진다. 이때 루브린 분자들은 나노 기공을 채워가게 되고 기공 내의 제한된 공간 때문에 위 아래로 성장하게 되어 나노선 형태를 갖게 된다. 마지막으로 루브린 나노선의 성장이 끝난 후, 상기 알루미늄 다공성 템플레이트를 2M의 HF 수용액을 이용하여 제거하면 금이 증착된 면 위에 루브린 나노선이 얻어진다.

<24> 상기 과정 중에 유기 단분자 루브린 분말을 가열시키는 바람직한 온도는 200 내지 310℃이다. 루브린의 녹는점이 320℃이므로 루브린 들뜨게 하기 위해서는 310℃ 이하의 온도로 가열을 하는 것이 바람직하고 200℃ 미만에서는 루브린이 들뜨는 것이 느려지는 문제가 있기 때문에 200℃ 이상의 온도에서 가열하는 것이 바람직하다. 루브린 나노선을 가열로에서 성장시킬 때 질소 가스를 흘려주는 것이 바람직하다. 질소를 흘려줌으로써 질소 기체 상태 이외에 다른 기체 상태로 존재하지 않게 하면서 루브린 분자들을 기상화시키면서 분자들간에 충분한 결합을 시키기 위함이다. 이때 흘려 보내주는 질소 가스의 유속은 50 내지 200 cm^3/min 가 바람직하다. 질소 가스를 200 cm^3/min 를 초과하여 빠른 유속으로 가열로 안으로 흘려주게 되면 루브린 분자들 간의 결합이 약해지게 되어 부분적인 결합이 되고 나중에 HF 수용액을 이용하여 템플레이트를 제거하면 루브린은 부분적인 결합만 유지되어 있는 나노 입자 형태로 된다. 질소 가스를 50 cm^3/min 미만의 느린 유속으로 가열로 안으로 흘려주게 되면 루브린이 나노 다공성 템플레이트 속으로 들어가는 속도가 느려져서 전체적인 루브린 나노선 성장속도가 느려지는 문제가 있다.

<25> 루브린 분말을 사용하여 상기 제조방법에 의해 제조된 루브린 나노선은 직경이 100 내지 200 nm, 길이가 50 μm 이하이며 570 내지 650 nm 에너지 영역에서 최대 발광 피크를 나타내며 형광 세기가 레이저 공초점 현미경(laser confocal microscope)을 이용한 전압단위로 측정할 경우 200 내지 400mV인 것을 특징으로 한다.

<26> 상기 제조 방법을 이용하여 제조된 유기 단분자 루브린 나노선은 기존의 반도체와 달리 유기반도체 제작과 응용이 저온 공정에서 가능하게 하기 때문에 기존 고온 공정을 통해서 제작되는 반도체들의 공정상의 단점을 보완할 수 있다. 또한, 뛰어난 광학적 특성을 보임과 동시에 뛰어난 반도체 전기적 특성을 보이기 때문에 광범위한 광전소자와 같은 다양한 유기 소자로 사용될 수 있는데 이에 대한 물성적 특징은 하기의 실험예를 통하여 설명하기로 한다. 본 발명에 대하여 이하 실시예와 실험예를 통하여 구체적으로 설명한다. 그러나 하기의 실시예는 바

람직한 일 실시예일 뿐, 본 발명이 하기의 실시예에 의하여 한정되는 것은 아니다.

<27> 실시예 1

<28> 루브린 나노선의 제조

<29> 알루미늄(Al_2O_3) 다공성 템플레이트 (지름 : 25 mm, 기공 지름 : 100 내지 200 nm, 높이 : 50 내지 60 mm, Whatman사에서 구입)의 한쪽 면에 금(Au)을 증착시킨 후, 금을 증착시킨 면을 바닥으로 놓고 막대 사발을 이용하여 충분히 갈아준 루브린 단분자 분말을 약 6 내지 8 mg을 나노 기공 템플레이트 위에 고르게 분포시켰다. 다음으로 또 다른 알루미늄(Al_2O_3) 다공성 템플레이트를 상기 루브린 분말 위에 얹고 가열로(furnace) 안에 넣었다. $100\text{ cm}^3/\text{min}$ 의 질소(N_2) 가스를 흘리면서 200°C 정도에서 이전 열처리를 한 후, 루브린 단분자를 기상화 시키기 위해 300°C 로 온도를 높이고 이를 유지하였다. 2 내지 3시간 정도의 시간이 흐른 후, 가열로의 온도를 상온으로 내린 뒤 상기 알루미늄 다공성 템플레이트를 꺼내고 2M의 HF 수용액을 사용하여 알루미늄 다공성 템플레이트를 제거하여 루브린 나노선을 얻었다. 상기 나노선의 직경은 200 nm 였으며, 그 길이는 약 50 μm 였다.

<30> 실험예 1

<31> SEM 및 TEM 관찰

<32> 실시예 1에서 제조된 루브린 나노선에 대한 SEM 및 TEM 사진을 도 2 와 도 3에 나타내었다. 도 2는 루브린 나노선 다발의 측면과 끝 부분을 관찰한 SEM 사진이며 도 2의 우측상단에는 루브린의 화학 구조식이 도시되어 있다. 도 2를 참조하면 나노 기공 템플레이트 안에 나노선이 생성되었음을 알 수 있다. 도3은 루브린 나노선의 TEM 사진이다. 상기 사진은 다공성 물질을 제거한 나노선을 메탄올에 분산시킨 후 카본 코팅된 구리 그리드(grid)에 올린 다음 루브린 나노선 한 가닥을 선택해 TEM을 측정하여 얻어졌다. 도 3을 참조하면 루브린 나노선이 생성되었음을 알 수 있다.

<33> 실험예 2

<34> XRD 측정

<35> XRD를 통해서 루브린 나노선들의 구조적 특성을 시험하였다. 도 4 는 루브린 나노선들의 XRD 결과이다. 실시예 1에서 제조된 나노 기공을 포함한 루브린 나노선들을 HF 수용액을 이용하여 알루미늄 템플레이트만 제거한 후, XRD 실험을 하였다. 도 4를 참조하면 XRD 측정 결과 루브린 나노선들은 층 (002) 면 방향으로 이루어지는 결정구조를 갖고 있음을 확인하였다.

<36> 실험예 3

<37> UV/Vis 흡수 분광법과 발광 스펙트럼 측정

<38> UV/Vis 흡수곡선과 광발광 (photoluminescence:PL) 스펙트럼을 통해서 루브린 나노선의 광학적 특성을 시험하였다. 도 5는 루브린 나노선들의 UV/Vis 흡수 곡선과 PL 스펙트럼 측정 결과인데, 실시예 1에서 제조된 루브린 나노선을 메탄올에 분산시켜 자외선 및 가시광선 (UV/Vis) 흡수 분광법과 광발광을 시험하여 얻어졌다. 도 5를 참조하면 UV/Vis 흡수 스펙트럼이 관찰된 최대 피크는 520 nm이었고, 이에 520 nm 파장으로 여기시킨 PL 스펙트럼에서 루브린 나노선이 550 nm와 590 nm의 파장에서 발광함을 확인하였다.

<39> 실험예 4

<40> 형광 세기 및 스펙트럼 측정

<41> 도 6은 레이저 공초점 현미경을 이용해 측정한 실시예에 따른 루브린 나노선의 한 가닥 발광 결과이다. 도 6을 참조하면 루브린 나노선의 측정된 형광 세기는 전압단위로 200 내지 400 mV 값을 나타낸 것을 확인할 수 있다. 도 7은 레이저 공초점 현미경을 이용해 측정한 루브린 나노선의 한가닥의 각기 다른 지점에서의 PL 스펙트럼이다. 도 7을 참조하면 루브린 나노선은 560 nm 내지 750 nm에서 발광 피크를 가졌으며 최대 피크는 620 nm의 파장에서 나타남을 확인할 수 있다.

<42> 실험예 5

<43> 전류-전압 그래프 측정

<44> 도 8은 루브린 나노선들의 전기적 특성 결과이다. 실시예 1에서 제조된 나노 기공을 포함한 루브린 나노선의 전류-전압 곡선을 측정하여 확인하였다. 루브린 나노선이 제작된 한쪽면에 금이 증착된 다공성 템플레이트에 반대쪽 면에도 전극으로 사용하기 위해 금(Au)을 증착시켰다. 증착된 루브린 나노선의 양쪽 끝을 금 와이어로 접합시킨 후 Keithly사의 source measurement unit (SMU)를 이용하여 전류-전압 곡선을 측정하였다. 도 8을 참조하면 루브린 나노선들의 전류-전압 곡선이 전형적인 반도체적인 성질을 보임을 알 수 있다.

도면의 간단한 설명

<45> 도1은 나노크기의 다공성 템플레이트를 이용한 파이-공액 구조의 유기 단분자 나노선 제작의 개략도이다.

<46> 도2 는 루브린 나노선 다발의 측면과 끝 부분을 관찰한 SEM 사진이다.

<47> 도3 은 루브린 나노선의 TEM 사진이다.

<48> 도 4 는 루브린 나노선들의 XRD 결과이다.

<49> 도 5 는 루브린 나노선들의 UV/Vis 흡수 곡선과 PL 결과이다.

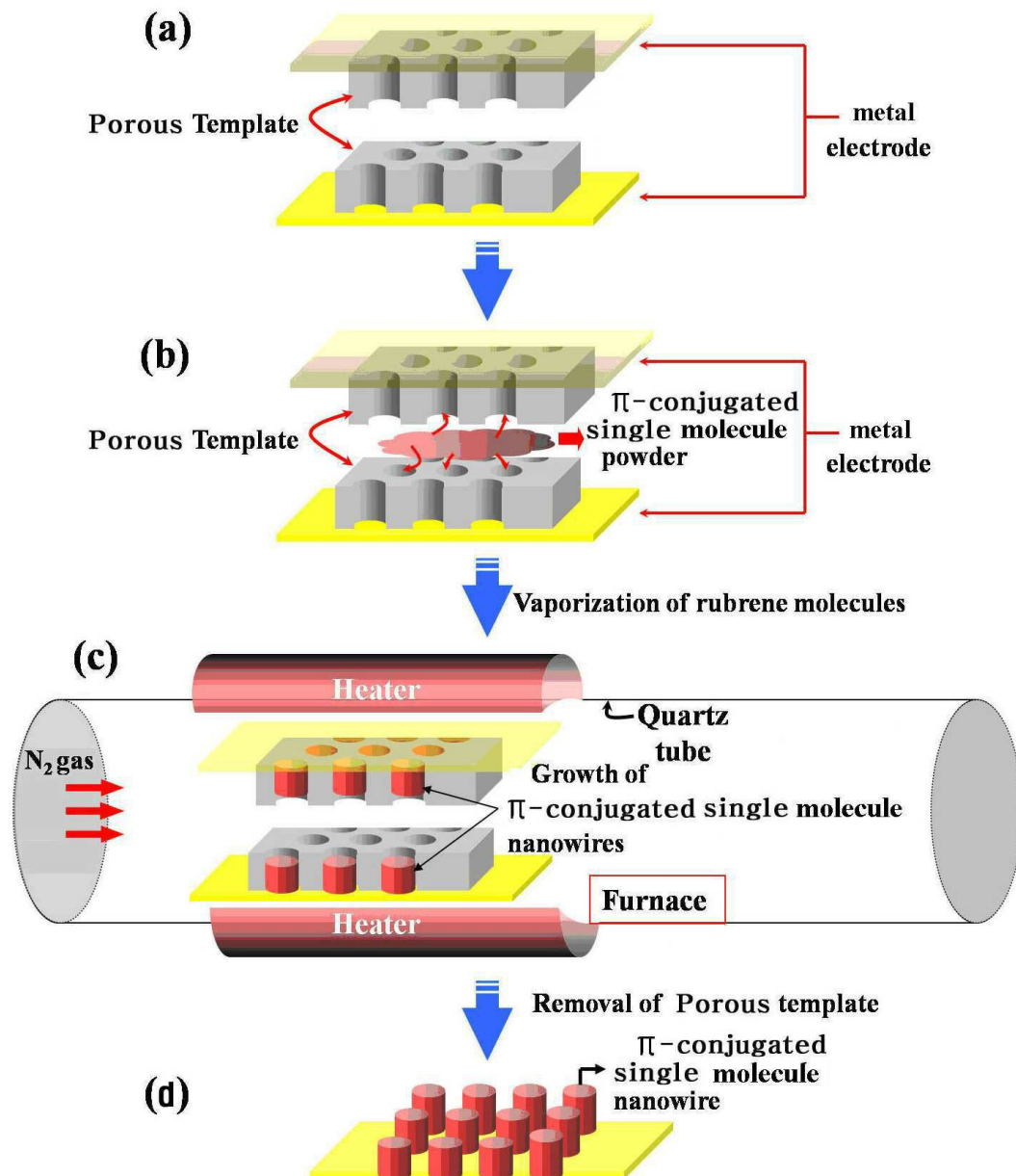
<50> 도 6 은 레이저공초점 현미경을 이용해 측정한 루브린 나노선의 한가닥 발광 데이터이다.

<51> 도 7 은 루브린 나노선 한가닥의 발광 스펙트럼이다.

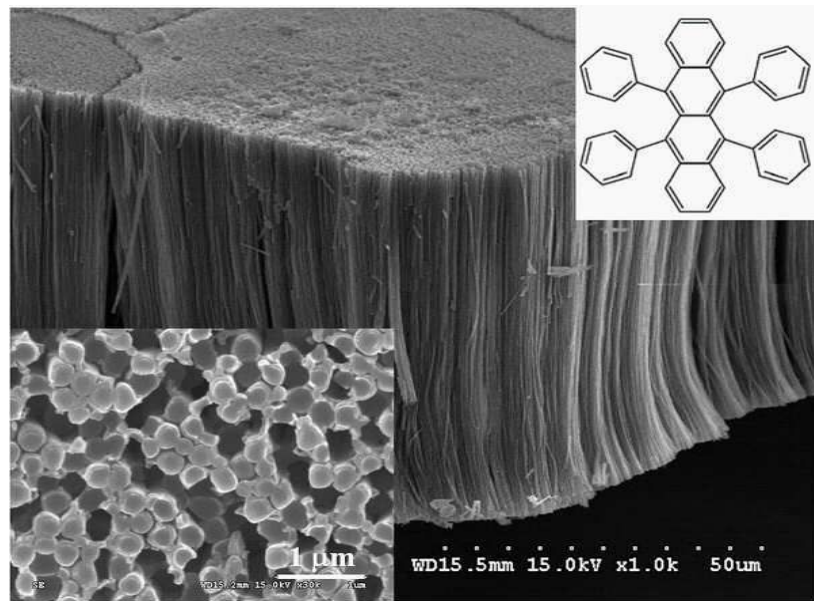
<52> 도 8 은 루브린 나노선들의 전기적 특성 결과이다.

도면

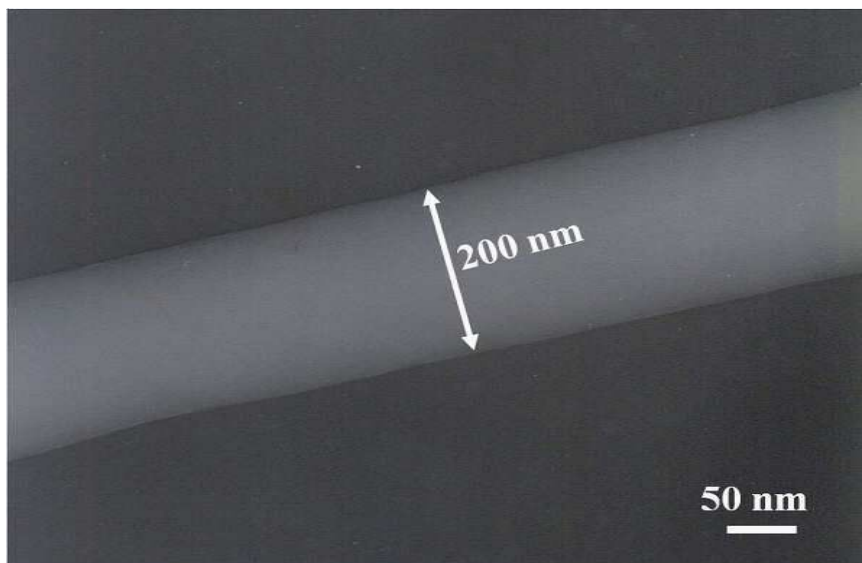
도면1



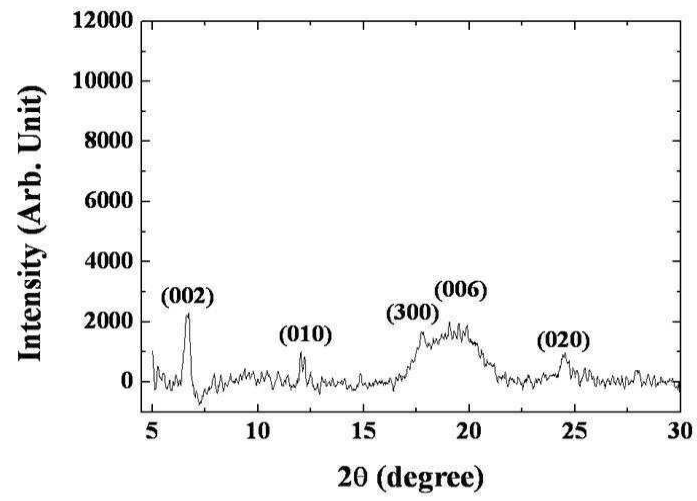
도면2



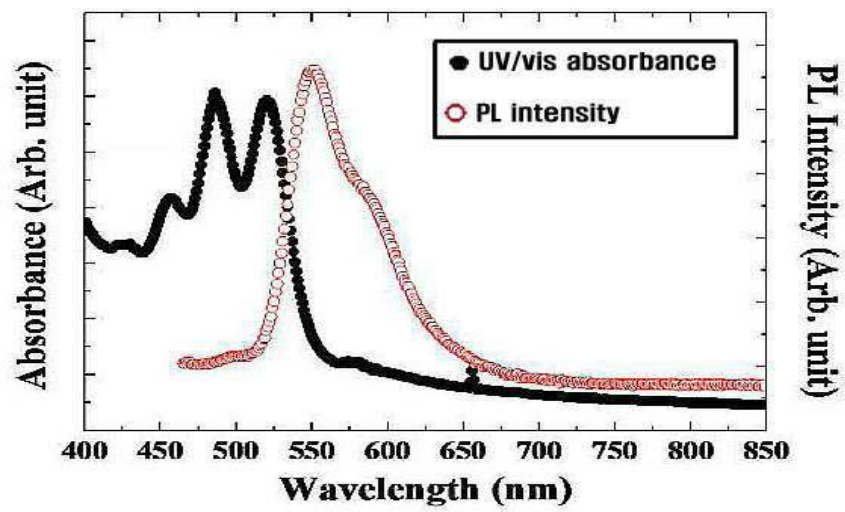
도면3



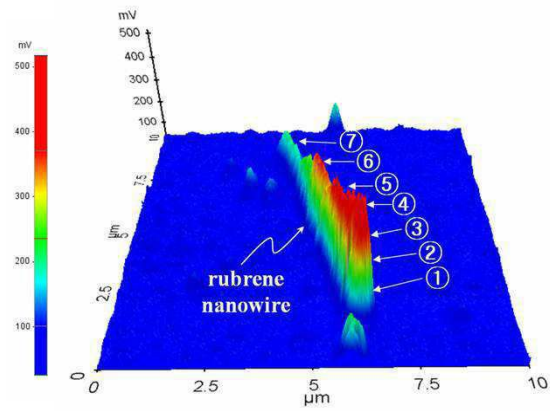
도면4



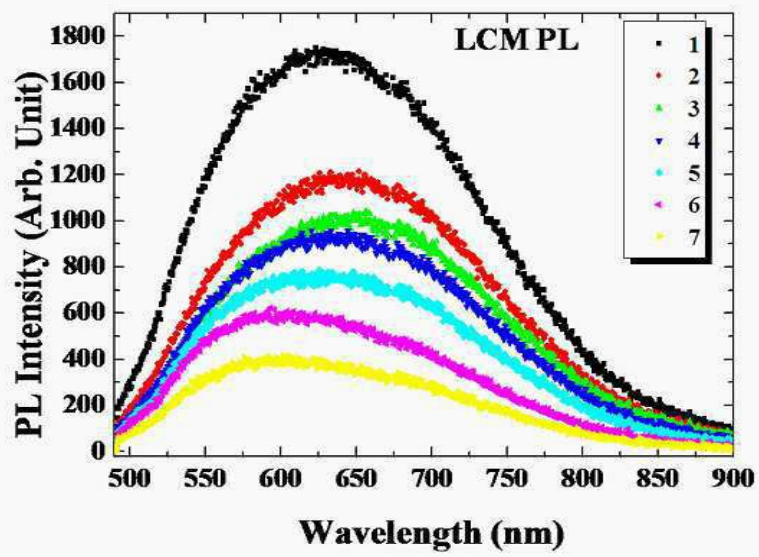
도면5



도면6



도면7



도면8

