



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년02월17일

(11) 등록번호 10-1594274

(24) 등록일자 2016년02월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 21/31 (2006.01) G01N 21/33 (2006.01)

G01N 21/359 (2014.01)

(52) CPC특허분류(Coo. Cl.)

G01N 21/31 (2013.01)

G01N 21/33 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0017798

(22) 출원일자 2015년02월05일

심사청구일자 2015년02월05일

(56) 선행기술조사문헌

NANO: Brief Reports and Reviews, Vol. 3, No. 2 (2008) 101-108

Near IR 흡수분광법을 이용한 SWCNT의 순도평가 protocol 및 전기전도성에 미치는 순도의 영향 연구

Acc. Chem. Res. 2002, 35, 1105-1113

KR1020120108462 A

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

이내성

서울 양천구 목동서로 130, 402동 302호 (목동, 목동신시가가지아파트4단지)

곽정춘

서울특별시 광진구 동일로 44길 17-6

(74) 대리인

특허법인이상

전체 청구항 수 : 총 8 항

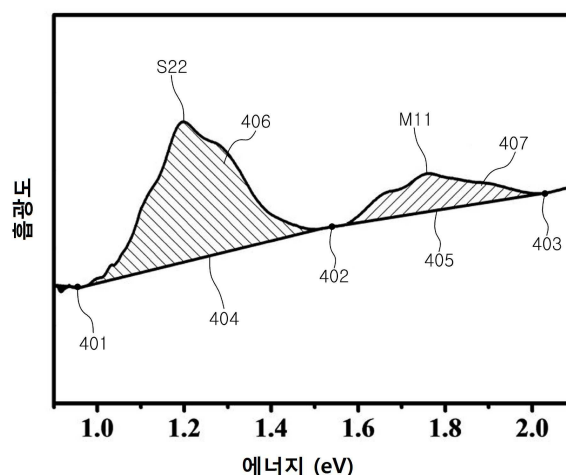
심사관 : 박준영

(54) 발명의 명칭 UV-VIS Near IR 흡수분광법을 이용한 탄소나노튜브의 순도평가 방법

(57) 요약

탄소나노튜브의 순도를 정확하게 평가할 수 있는 UV-VIS-Near IR 흡수분광법을 이용한 탄소나노튜브의 순도평가 방법이 개시된다. 이는 스펙트럼 분석곡선의 반도체성 탄소나노튜브와 금속성 탄소나노튜브의 피크에 해당하는 흡수면적에 기준선을 설정하고, 설정된 기준선 상부의 흡수면적인 제1 면적과 제2 면적을 기 설정된 고순도의 탄소나노튜브의 기준값과 비교 평가하는 방법으로써 합성과 정제 공정을 통해 고품질의 탄소나노튜브를 제조할 수 있고, 나아가 응용 분야에서 제품의 성능을 향상 시키는데 적용될 수 있는 탄소나노튜브 순도평가 방법을 제공한다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류(Coo. Cl.)

G01N 21/359 (2013.01)

G01N 2021/3155 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 9991001396

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원(교육부)

연구과제명 유연하고 투명한 나노카본/은나노와이어 하이브리드 2D 발열소재 연구

기 여 율 1/2

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2013.06.01 ~ 2016.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415122994

부처명 지식경제부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 산업융합기술산업원천기술개발사업

연구과제명 계면 초평활화를 위한 154 kV 초고압 전력케이블용 나노카본 소재기술 개발

기 여 율 1/2

주관기관 (주)제이오

연구기간 2012.06.01 ~ 2017.05.31

공지예외적용 : 있음

특허청구의 범위

청구항 1

탄소나노튜브를 포함하는 미지시료를 광흡수 분광법(optical absorption spectroscopy)을 이용하여 측정하는 제1 단계;

상기 측정된 분석곡선 중 반도체성 탄소나노튜브의 피크 및 금속성 탄소나노튜브의 피크에 해당하는 흡수면적에 제1 기준선 및 제2 기준선을 설정하는 제2 단계;

상기 반도체성 탄소나노튜브의 피크 흡수면적 중 상기 제1 기준선 상부에 위치하는 제1 면적과 상기 금속성 탄소나노튜브의 피크 흡수면적 중 상기 제2 기준선 상부에 위치하는 제2 면적을 계산하는 제3 단계; 및

상기 제1 면적에 몰흡광계수 비율을 곱한 값과 상기 제2 면적과의 합을 기 설정된 고순도 탄소나노튜브의 기준 값과 비교 평가하는 제4 단계를 포함하는 것인, 탄소나노튜브의 순도평가 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제2 단계는,

상기 반도체성 탄소나노튜브의 피크와 인접한 양쪽 피크 사이의 최저점들을 연결하여 제1 기준선을 설정하는 단계; 및

상기 금속성 탄소나노튜브의 피크와 인접한 양쪽 피크 사이의 최저점들을 연결하여 제2 기준선을 설정하는 단계를 포함하는 것인, 탄소나노튜브의 순도평가 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 기준선 및 제2 기준선은 직선형인 것인, 탄소나노튜브의 순도평가 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 반도체성 탄소나노튜브의 피크는 S_{22} 피크이고, 상기 금속성 탄소나노튜브의 피크는 M_{11} 피크인 것인, 탄소나노튜브의 순도평가 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 고순도 탄소나노튜브의 기준값은 기 정의된 고순도 탄소나노튜브를 포함하는 기준시료를 상기 제1 단계 내지 상기 제3 단계를 수행하여 계산된 제1 면적에 상기 몰흡광계수 비율을 곱한 값과 제2 면적과의 합인 것인, 탄소나노튜브의 순도평가 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 몰흡광계수 비율은 상기 반도체성 탄소나노튜브의 몰흡광계수에 대한 상기 금속성 탄소나노튜브의 몰흡광계수 비율인 것인, 탄소나노튜브의 순도평가 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 광흡수 분광법은 UV-VIS-Near IR 흡수분광법을 이용하는 것인, 탄소나노튜브의 순도평가 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 탄소나노튜브는 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)인 것인, 탄소나노튜브의 순도평가 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 탄소나노튜브(CNT)의 순도평가 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)를 포함하는 미지시료를 UV-VIS Near IR 흡수분광법을 이용하여 측정하고, 측정된 분석곡선의 반도체성 SWCNT의 흡수면적과 금속성 SWCNT의 흡수면적을 이용하여 SWCNT의 순도를 평가하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 탄소나노튜브(carbon nanotubes, CNT)는 1991년 일본전기회사(NEC)의 Iijima박사에 의해 발견된 후부터 지금까지 탄소나노튜브의 합성, 특성, 응용 등에 대한 연구가 지속적으로 활발히 진행되고 있다. 탄소나노튜브는 벽을 이루는 개수에 따라 단일벽, 이중벽, 다중벽 탄소나노튜브로 분류할 수 있으며 그래핀 면이 열리는 각도에 따라 zigzag, amchair, chiral 구조로 분류할 수 있다.

[0003] 이중 단일벽 탄소나노튜브(single-walled carbon nanotube, SWCNT)는 우수한 기계적 강도 및 탄성도, 내화학적, 환경 친화성을 가지고 있으며, 또한 전기적으로 금속성 및 반도체성을 가지고 있어 향후 TFT-LCD용 백라이트(backlight), 2차전지, 연료전지, 전자파차폐, 대전방지, 전도성 플라스틱, 고강도, 고기능, 내마모성 복합재 부품, 투명전극, 태양전지 소재, 친환경용 필터, 나노센서, 반도체소자 등에서 새로운 응용제품을 창출할 것으로 전망된다. 위와 같은 응용 분야에 적합하기 위해서 SWCNT의 품질이 점점 중요해지고 있다. 그러나 기존의 대량 합성법인 전기방전법, 레이저 증발법, 촉매 CVD법으로 만든 SWCNT는 비정질탄소, 플러렌, 탄소 나노입자, 흑연 등과 같은 탄소계 불순물과 전이금속 촉매, 금속 산화물 지지체 등의 비탄소계 불순물들을 함유하고 있다. 특히 탄소계 및 비탄소계 불순물들은 다양한 응용의 제약요건으로 작용하기 때문에 반드시 제거되어야 한다.

[0004] SWCNT 내에 존재하는 불순물들을 제거하기 위해서는, 먼저 SWCNT의 순도를 평가하기 위한 방법이 함께 개발되어야 한다. 더불어 탄소나노튜브 순도 평가방법은 보편적인 분석도구로 정확하고, 빠르며, 편리하게 측정되는 것이어야 의미가 있다.

[0005] 현재, 탄소나노튜브가 본격적으로 응용되는 단계에 이르렀음에도 불구하고 아직까지 위와 같은 조건을 완전히 만족시키는 순도 평가방법이 개발되지 못하고 있다. 현시점에서 신뢰성 있는 평가 방법의 부재는 탄소나노튜브 소재를 이용하는 산업계에서 탄소나노튜브 소재의 신뢰성을 떨어뜨리는 문제점으로 지적되고 있다. 즉, 순도평가 표준화의 부재가 탄소나노튜브를 이용하는 관련 산업의 기술개발을 지연시키고 있으며, 따라서 합성 상태의 탄소나노튜브부터 정제된 고순도 탄소나노튜브까지 SWCNT의 순도를 정확히 평가하기 위한 기술 개발이 필요하다.

[0006] 일반적으로 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT) 소재의 순도를 정성적, 정량적으로 분석하기 위해 주사전자현미경(SEM), 투과전자현미경(TEM), UV-VIS-Near IR 분광법, 열중량분석법(TGA), 라만분광법 등이 사용되어 진다. 이 중에서 UV-VIS-Near IR 분광법과 열중량 분석법(TGA)은 SWCNT의 순도를 분석하는데 보편적으로 사용되고 있다.

[0007] 도 1은 일반적인 반도체성과 금속성 SWCNT의 전자상태 밀도를 나타내는 도면이고, 도 2는 아크방전법으로 합성된 일반적인 SWCNT 흡수 스펙트럼의 개략도이다.

[0008] 도 1과 도 2를 참조하면, 광학흡수 분광법(optical absorption spectroscopy)은 시료 내에 포함된 SWCNT의 가 전자대에서 전도대로의 전자여기(electron transition)의 흡수를 포논에너지의 함수로서 검출할 수 있다.

[0009] SWCNT의 전자구조는 구조적으로 말리면서 2D 그래핀의 연속적인 전자상태 밀도(DOS)가 반호프 특이성 (Van Hove singularity)에 해당하는 연속적인 스파이크(spike) 모양으로 변하게 되며, 1D 나노구조를 갖는 SWCNT의 헬리시티(helicity)와 직경에 따라 반도체성 SWCNT의 피크인 S_{11} , S_{22} 피크 또는 금속성 SWCNT의 피크인 M_{11} 피크를 띄게 된다.

[0010] 이러한 Near IR 스펙트럼을 이용하여 순도평가를 위한 수식은 하기 수학적 1과 같이 나타낼 수 있다.

[0011] [수학식 1]

$$RP_L(\%) = \frac{1}{LAR_{R(SW)}} \times \frac{S_{22}A(S)_X}{S_{22}A(T)_X}$$

[0012]

[0013] 여기서 $RP_L(\%)$ 는 고순도 SWCNT에 대한 SWCNT가 포함된 미지시료의 상대적인 순도(Relative Purity)이고, $S_{22}A(S)_X$ 는 미지시료의 스펙트럼 분석곡선에서 S_{22} 피크의 흡수면적 중 S_{22} 피크와 인접한 양쪽 피크 사이의 최저점들을 연결한 기준선의 상부에 해당하는 면적이며, $S_{22}A(T)_X$ 는 미지시료의 스펙트럼 분석곡선에서 S_{22} 피크의 전체 흡수면적이다. 또한, $LAR_{R(SW)}$ 는 로컬 면적비율법(Local Areal Ratio)을 이용한 고순도 SWCNT의 S_{22} 피크 전체 흡수면적과 상기 기준선 상부에 해당하는 고순도 SWCNT의 S_{22} 피크 흡수면적에 대한 면적비율이다.

[0014] 상기 수학식 1에 의해 미지시료에서 구한 $S_{22}A(S)_X/S_{22}A(T)_X$ 의 비율과 고순도 SWCNT의 면적비율을 이용하여 SWCNT의 상대적인 순도(relative purity)를 구할 수 있다.

[0015] 하지만, 이러한 순도계산 방법은 단순히 반도체성 SWCNT의 피크만을 대상으로 순도를 평가하기 때문에 계산된 순도는 실제 SWCNT의 순도보다 항상 높게 평가되는 문제점을 가지고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0016] (특허문헌 0001) 일본특허 공개 특개 2002-243716호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0017] 본 발명은 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT) 순도평가의 정확도를 높이기 위한 순도평가 방법에 관한 것이다. 즉, 종래의 SWCNT의 순도가 항상 높게 평가되는 문제와 평가된 순도의 신뢰성이 낮은 문제를 해결하기 위한 SWCNT의 순도평가 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0018] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명은 탄소나노튜브를 포함하는 미지시료를 광학흡수 분광법(optical absorption spectroscopy)을 이용하여 측정하는 제1 단계; 상기 측정된 분석곡선 중 반도체성 탄소나노튜브의 피크 및 금속성 탄소나노튜브의 피크에 해당하는 흡수면적에 제1 기준선 및 제2 기준선을 설정하는 제2 단계; 상기 반도체성 탄소나노튜브의 피크 흡수면적 중 상기 제1 기준선 상부에 위치하는 제1 면적과 상기 금속성 탄소나노튜브의 피크 흡수면적 중 상기 제2 기준선 상부에 위치하는 제2 면적을 계산하는 제3 단계; 및 상기 제1 면적에 몰흡광계수 비율을 곱한 값과 상기 제2 면적과의 합을 기 설정된 고순도 탄소나노튜브의 기준값과 비교 평가하는 제4 단계를 포함한다.

[0019] 상기 제2 단계는, 상기 반도체성 탄소나노튜브의 피크와 인접한 양쪽 피크 사이의 최저점들을 연결하여 제1 기준선을 설정하는 단계; 및 상기 금속성 탄소나노튜브의 피크와 인접한 양쪽 피크 사이의 최저점들을 연결하여 제2 기준선을 설정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 제1 기준선 및 제2 기준선은 직선형일 수 있다.

[0021] 상기 반도체성 탄소나노튜브의 피크는 S_{22} 피크이고, 상기 금속성 탄소나노튜브의 피크는 M_{11} 피크일 수 있다.

[0022] 상기 고순도 탄소나노튜브의 기준값은 기 정의된 고순도 탄소나노튜브를 포함하는 기준시료를 상기 제1 단계 내지 상기 제3 단계를 수행하여 계산된 제1 면적에 상기 몰흡광계수 비율을 곱한 값과 제2 면적과의 합일 수

있다.

- [0023] 상기 몰흡광계수 비율은 상기 반도체성 탄소나노튜브의 몰흡광계수에 대한 상기 금속성 탄소나노튜브의 몰흡광계수 비율일 수 있다.
- [0024] 상기 광흡수 분광법은 UV-VIS-Near IR 흡수분광법을 이용할 수 있다.
- [0025] 상기 탄소나노튜브는 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)일 수 있다.

발명의 효과

- [0026] 본 발명에 따르면, 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT) 순도를 종래보다 더 정확하게 평가할 수 있고, SWCNT를 생산하는 합성기술 개발에 적용하여 제품 품질을 향상시킬 수 있으며, 순도를 높이기 위해 정제 조건을 최적화시킬 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 순도평가 방법은 SWCNT에 대한 표준화를 위한 자료로도 활용가능하다.
- [0027] 본 발명의 기술적 효과들은 이상에서 언급한 것들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 일반적인 반도체성과 금속성 SWCNT의 전자상태 밀도를 나타내는 도면이다.
- 도 2는 아크방전법으로 합성된 일반적인 SWCNT 흡수 스펙트럼의 개략도이다.
- 도 3은 본 발명의 UV-VIS-Near IR 분광법을 이용한 SWCNT의 순도평가 방법을 나타내는 순서도이다.
- 도 4는 본 발명의 순도평가 방법을 설명하기 위한 스펙트럼 분석곡선을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0030] 이하, 본 발명에 따른 실시 예들을 첨부도면을 참조하여 상세히 설명하기로 하며, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0031] 본 발명에 따른 탄소나노튜브의 순도평가 방법은 UV-VIS-Near IR 분광법(ultraviolet/visible/near infra red absorption spectroscopy)을 이용하여 탄소나노튜브를 포함하는 미지시료를 측정하는 제1 단계, 측정된 스펙트럼 분석곡선 중 반도체성 탄소나노튜브의 피크 및 금속성 탄소나노튜브의 피크에 해당하는 흡수면적에 제1 기준선 및 제2 기준선을 설정하는 제2 단계, 제1 기준선 상부에 위치하는 반도체성 탄소나노튜브의 피크 흡수면적인 제1 면적과 제2 기준선 상부에 위치하는 금속성 탄소나노튜브의 피크 흡수면적인 제2 면적을 계산하는 제3 단계, 제1 면적에 몰흡광계수 비율을 곱한 값과 제2 면적과의 합을 기 설정된 고순도 탄소나노튜브의 기준값과 비교 평가하는 제4 단계를 포함한다.
- [0032] 상기 탄소나노튜브는 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)일 수 있으며, 본 발명에 따른 탄소나노튜브는 단일벽 탄소나노튜브를 일례로 하여 설명한다.
- [0033] 도 3은 본 발명의 UV-VIS-Near IR 분광법을 이용한 SWCNT의 순도평가 방법을 나타내는 순서도이고, 도 4는 본 발명의 순도평가 방법을 설명하기 위한 스펙트럼 분석곡선을 나타낸 도면이다.
- [0034] 도 3과 도 4를 참조하면, 본 발명에 따른 SWCNT의 순도평가 방법은 UV-VIS-Near IR 분광법(ultraviolet/visible/near infra red absorption spectroscopy)을 이용하여 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)를 포함하는 미지시료를 측정하는 제1 단계(S301), 측정된 스펙트럼 분석곡선 중 반도체성 SWCNT의 피크(S22) 및 금속성 SWCNT의 피크(M11)에 해당하는 흡수면적에 제1 기준선(404) 및 제2 기준선(405)을 설정하는 제2 단계(S302), 제1 기준선(404) 상부에 위치하는 반도체성 SWCNT의 피크(S22) 흡수면적인 제1 면적(406)과 제2 기준선(405) 상부에 위치하는 금속성 SWCNT의 피크(M11) 흡수면적인 제2 면적(407)을 계산하는 제3 단계(S303), 제1

면적(406)에 흡광계수 비율을 곱한 값과 제2 면적(407)과의 합을 기 설정된 고순도 SWCNT의 기준값과 비교 평가하는 제4 단계(S304)를 포함한다.

[0035] 먼저, UV-VIS-Near IR 분광법을 이용하여 SWCNT를 포함하는 미지시료를 측정하기 위해 아크방전(Arc Discharge)법으로 제조된 SWCNT 샘플의 SEM(Scanning Electron Microscope)과 TEM(Transmission Electron Microscope)을 관찰하고, SWCNT를 구성하는 대표적인 조성물의 종류를 정의하여 미지시료를 정한다.

[0036] 순도평가를 위한 미지시료로써 고순도의 SWCNT와 탄소불순물(카본블랙, 플러렌) 또는 금속불순물을 선정하고 고순도의 SWCNT와 불순물을 일정한 비율로 혼합하여 미지시료를 제조한다. 시료는 디메틸포름아미드(dimethylformamide, DMF)에 분산시키는데, DMF는 SWCNT를 잘 분산시키며 2차 반도체성 SWCNT의 피크(S22)에 영향을 줄 수 있는 도핑 효과가 없기 때문에 SWCNT 시료의 순도를 평가할 때 주로 사용된다. 분산된 용액을 광흡수 분광법(optical absorption spectroscopy)인 UV-VIS-Near IR 분광법을 이용하여 스펙트럼 분석곡선을 측정한다.(S301)

[0037] 스펙트럼 분석곡선은 SWCNT 소재의 순도를 정성적, 정량적으로 분석하기 위해 미지시료에서 측정한 UV-VIS-Near IR 스펙트럼을 나타내며, 스펙트럼에는 직경과 키랄성(chirality)에 따라 Near IR 스펙트럼 상 0.5에서 3eV범위까지 1차 반도체성 SWCNT의 피크인 S₁₁피크(S11), 2차 반도체성 SWCNT의 피크인 S₂₂피크(S22), 금속성 SWCNT의 피크인 M₁₁피크(M11)들이 동시에 나타난다.(도 2참조)

[0038] 이러한 스펙트럼 분석곡선 중 S₂₂피크(S22)는 외부의 도핑에 의해 영향을 덜 받기 때문에 SWCNT의 순도 평가에 주로 사용되나, 본 발명에 따른 순도 평가 방법은 종래의 단순히 S₂₂피크(S22)의 흡수면적만을 이용하여 순도를 평가하는 방식이 아닌 S₂₂피크(S22)의 흡수면적뿐만 아니라 M₁₁피크(M11)의 흡수면적까지 사용하여 순도를 평가하기 때문에 평가된 순도의 신뢰성을 높일 수 있다.

[0039] 측정된 스펙트럼 분석곡선 중 S₂₂피크(S22)의 흡수면적의 일부에 해당하는 제1 면적(406)과 M₁₁피크(M11)의 흡수면적의 일부에 해당하는 제2 면적(407)을 구하기 위해 흡수면적에 직선형으로 된 기준선(404,405)을 설정한다. 기준선(404,405)은 S₂₂피크(S22)와 인접한 양쪽 피크 사이의 최저점들(401,402)을 연결하는 제1 기준선(404)과, M₁₁피크(M11)와 인접한 양쪽 피크 사이의 최저점들(402,403)을 연결하는 제2 기준선(405)을 포함할 수 있다.(S302)

[0040] S₂₂피크(S22)의 제1 면적(406)은 흡수면적 중 제1 기준선(404)의 상부에 해당하는 면적이고, M₁₁피크(M11)의 제2 면적(407)은 흡수면적 중 제2 기준선(405)의 상부에 해당하는 면적이다.(S303)

[0041] SWCNT의 순도를 구하기 위해 분석곡선에서 구한 S₂₂피크(S22)의 제1 면적(406)과 M₁₁피크(M11)의 제2 면적(407)을 기 설정된 고순도 SWCNT의 기준값과 면적비율법(areal ratio method)을 이용하여 SWCNT의 순도를 구한다.(S304)

[0042] 본 발명에 따른 면적비율법은 S₂₂피크(S22)의 제1 면적(406)과 M₁₁피크(M11)의 제2 면적(407) 비율을 이용한 로컬 면적비율법으로, SWCNT의 순도를 평가하기 위한 수식은 하기 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

[0043] [수학식 2]

$$RP_S(X) = \frac{S_{22}A(S)_X \cdot \left(\frac{\epsilon_{M_{11}}}{\epsilon_{S_{22}}}\right) + M_{11}A(S)_X}{S_{22}A(S)_{R(SW)} \cdot \left(\frac{\epsilon_{M_{11}}}{\epsilon_{S_{22}}}\right) + M_{11}A(S)_{R(SW)}}$$

[0044]

[0045] 여기서 $RP_S(X)$ 는 고순도 SWCNT에 대한 SWCNT가 포함된 미지시료의 상대적인 순도(Relative Purity)이고, $S_{22}A(S)_X$ 는 미지시료를 스펙트럼 분석곡선을 통해 구한 S₂₂피크(S22)의 제1 면적(406)이며, $M_{11}A(S)_X$ 는 미지시료를 스펙트럼 분석곡선을 통해 구한 M₁₁피크(M11)의 제2 면적(407)이다. 또한, $S_{22}A(S)_{R(SW)}$ 는 고순도 SWCNT를

포함하는 기준시료를 스펙트럼 분석곡선을 통해 구한 S_{22} 피크(S_{22})의 제1 면적이고, $M_{11}A(S)_{R(S)_{22}}$ 은 고순도 SWCNT를 포함하는 기준시료를 스펙트럼 분석곡선을 통해 구한 M_{11} 피크(M_{11})의 제2 면적이다. $\epsilon_{S_{22}}$ 는 S_{22} 피크(S_{22})의 물흡광계수이며, $\epsilon_{M_{11}}$ 는 M_{11} 피크(M_{11})의 물흡광계수를 나타낸다.

[0046] 수학적 2에서처럼 본 발명에 따른 순도 평가 방법은 S_{22} 피크(S_{22})의 제1 면적(406)에 S_{22} 피크(S_{22})의 물흡광계수에 대한 M_{11} 피크(M_{11})의 물흡광계수 비율을 곱한 값과 M_{11} 피크(M_{11})의 제2 면적(407)과의 합을 기 설정된 고순도 SWCNT의 기준값과의 비율을 계산하여 순도를 평가한다.

[0047] 여기서 고순도 SWCNT의 기준값은 기 정의된 고순도 SWCNT를 포함하는 기준시료를 제1 단계(S_{301}) 내지 제3 단계(S_{303})를 수행하여 계산된 제1 면적과 제2 면적 중 제1 면적에 S_{22} 피크(S_{22})의 물흡광계수에 대한 M_{11} 피크(M_{11})의 물흡광계수 비율을 곱한 값과 제2 면적과의 합을 나타낸다.

[0048] 따라서 S_{22} 피크(S_{22})의 제1 면적(406) 및 M_{11} 피크(M_{11})의 제2 면적(407)과, S_{22} 피크(S_{22})의 물흡광계수에 대한 M_{11} 피크(M_{11})의 물흡광계수 비율을 이용하여 SWCNT의 순도를 평가하기 때문에 SWCNT에 포함된 탄소불순물의 종류 뿐 아니라 반도체성 SWCNT와 금속성 SWCNT의 비율이 변화되어도 시료에 포함된 SWCNT의 순도를 종래의 면적비율 법에 비해 정확하게 평가할 수 있다.

[0049] 상술한 바와 같이 본 발명의 UV-VIS-Near IR 분광법을 이용한 SWCNT의 순도평가 방법은 SWCNT를 포함하는 미지 시료의 스펙트럼 분석곡선 중 반도체성 SWCNT의 피크인 S_{22} 피크(S_{22})와 금속성 SWCNT의 피크인 M_{11} 피크(M_{11})에 해당하는 흡수면적에 각각 제1 기준선(404)과 제2 기준선(405)을 설정하고, 설정된 제1 기준선(404) 및 제2 기준선(405) 상부 면적인 제1 면적(406)과 제2 면적(407)을 기 설정된 고순도의 SWCNT의 기준값과 비교 평가하여 순도를 평가하는 방법으로써 합성과 정제 공정을 통해 고품질의 SWCNT를 제조할 수 있고, 나아가 응용 분야에서 제품의 성능을 향상시키는데 적용될 수 있다.

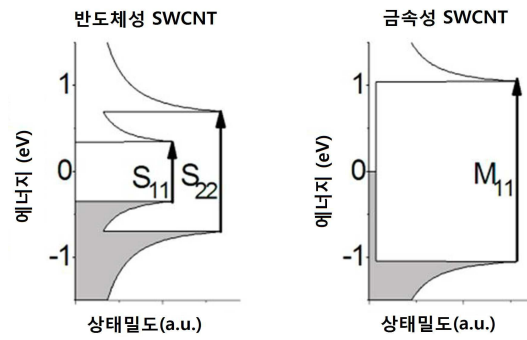
[0050] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시 예들은 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시 예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

부호의 설명

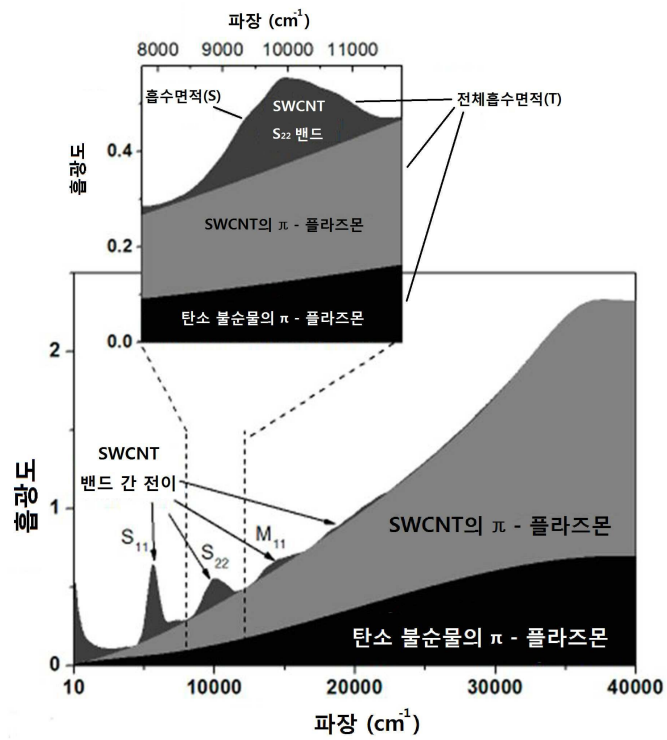
[0051] 401, 402, 403 : 최저점 404 : 제1 기준선
405 : 제2 기준선 406 : 제1 면적
407 : 제2 면적
 S_{22} : 반도체성 SWCNT의 피크인 S_{22} 피크
 M_{11} : 금속성 SWCNT의 피크인 M_{11} 피크

도면

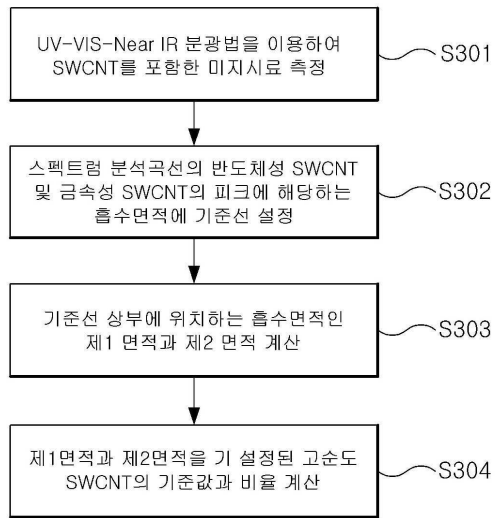
도면1



도면2



도면3



도면4

