

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 (43) 공개일자	10-2010-0128977 2010년12월08일
(51)	Int. Cl.	(71)	출원인
	<i>B82B 3/00</i> (2006.01)		경희대학교 산학협력단
(21)	출원번호		10-2009-0047686
(22)	출원일자	(72)	발명자
	심사청구일자		최석호
			경기도 수원시 영통구 영통동 989-2 현대아파트
			726-1103
			김성
			서울특별시 동작구 노량진2동 24-16
			김창오
		(74)	대리인
			이덕록

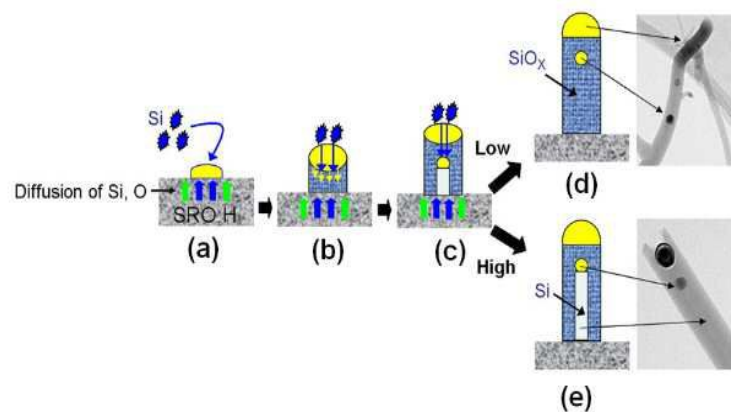
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) Si 과잉 산화막을 이용한 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 Si 웨이퍼 상에 SRO 박막을 제작하고, 상기 SRO 박막 위에 Ni 박막을 증착시킨 후, 상기 Ni이 증착된 SRO 박막에 Si 분말을 공급하고, N₂ 개스를 흘리면서 열처리 하여 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선을 형성시키는 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 방법은 Si 과잉 산화막의 Si 조성을 조절하여 나노선의 두께 및 조성의 변화시킴으로써 Si 나노선 제작 후 후속 공정 없이 이중 구조를 형성시켜 공정을 간소화 시킬 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

Si 웨이퍼 상에 SRO 박막을 제작하는 단계;

상기 SRO 박막 위에 Ni 박막을 증착시키는 단계;

상기 Ni이 증착된 SRO 박막을 석영관 안에 넣고, Si 분말을 공급하는 단계; 및

상기 석영관에 N₂ 개스를 흘리면서 열처리 하여 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선을 형성시키는 단계

로 이루어진 Si 과잉 산화막을 이용한 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 Si 웨이퍼 상에 Si 과잉 산화막(Si-rich oxide: SRO)의 제작에 PECVD(Plasma-enhanced chemical vapor deposition) 방법을 이용하는 것을 특징으로 하는 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 SRO 박막 위에 Ni 박막의 증착에 스퍼터링법을 이용하는 것을 특징으로 하는 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선 제조 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 Si 분말의 공급을 Ni이 증착된 SRO 박막에 이격시켜 0.5 내지 5g의 양으로 위치시키는 것을 특징으로 하는 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선 제조 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 Si 분말 농도는 41 내지 43 at.%인 것을 특징으로 하는 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선 제조 방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 Si 과잉 산화막을 이용한 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선 제조 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 Si 웨이퍼 상에 SRO 박막을 제작하고, 상기 SRO 박막 위에 Ni 박막을 증착시킨 후, 상기 Ni이 증착된 SRO 박막을 Si 분말을 공급하고, N₂ 가스를 흘리면서 열처리 하여 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선을 형성시키는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 들어 반도체 나노선에서 발견한 새로운 물리적 특성들을 바탕으로 미래의 나노 크기 소자 개발의 잠재적 가능성이 커지고 있으며, 그에 따라 나노선 성장기술 개발에 대한 관심이 커지고 있다. 특히 실리콘을 기반으로 하는 나노선들은 구조, 차원, 화학적 조성, 도핑 등을 조절하기 쉽기 때문에, 차세대 집적소자로서 매우 매력적인 물질이다.

[0003] 동축으로 이중구조를 가지는 나노선들은 이중구조의 나노결정 등에서 볼 수 있듯이 발광 효율이 향상되고, 플래쉬 메모리의 응용 가능성이 제안되는 등 다양한 분야에 응용이 가능할 것으로 기대되고 있다.

[0004] 도 1에 도시한 바와 같이, 종래 Si/SiO_x 코어/셸 나노선은 간단한 공정절차 및 도핑에 의해 트랜지스터로 제작될 수 있으며(Nature 420, 59; 2002)(도 1 A 참조), 높은 용량과 높은 전류의 전지 전극을 갖는다(Nanoletters

9, 491; 2009)(도 1 B 참조).

- [0005] 나노선을 제작하는 다양한 방법들이 보고되고 있으나, 그 중 가장 대표적이라고 할 수 있는 고체-액체-고체(SLS; solid-liquid-solid) 방법은 단결정 박막 위에 전이 금속을 증착한 후 고온의 열처리에 의해서 나노선을 제작하는 방법이다.
- [0006] 도 2에 나타난 바와 같이, 종래 SLS 방법에 따라 Si 단결정 기판에 Si 단결정 나노선을 형성시킬 수 있고(Nanotechnology 19; 2008)(도 2A 참조), 비정질 SiO_x 기판을 사용하여 비정질 Si 나노선을 형성시킬 수 있다(J. Vac. Sci. Technol. B 24, 613; 2006)(도 2B 참조).
- [0007] 그러나 상기 SLS 방법으로 형성된 나노선들은 기판과 거의 동일한 구조의 와이어가 형성되며, 형성된 나노선의 두께, 조성, 구조 등의 조절이 거의 불가능하다는 단점을 갖고 있다.
- [0008] 본 발명자들은 상기와 종래 나노선 형성 방법의 문제점을 개선하기 위하여 예의 연구를 거듭한 결과, 니켈 박막이 증착된 Si 과잉 산화막(Si-rich oxide) 박막을 Si 분말 가루와 함께 질소분위기에서 열처리함으로써 후속 공정 없이 1단계의 공정으로 자발형성된(self-assembled) 결정 Si/SiO_x 동축 코어/셸 이중 구조 나노선을 제작함으로써 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0009] 따라서 본 발명의 목적은 본 발명은 공정을 최소화할 수 있는, Si 과잉 산화막을 이용한 Si/SiO_x 코어/셸 이중 구조 나노선 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- [0010] 상기와 같은 본 발명의 목적을 달성하기 위하여 PECVD 방법을 이용하여 다양한 Si 함유량을 가지는 SRO 박막을 제작 후 그 위에 스퍼터링을 이용하여 10 nm Ni 박막을 증착하고, 일정량의 N₂를 흘려주면서 Si 분말가루를 일정거리에 두고 열처리를 하여 SRO기판위에 나노선을 형성한 후, 상기 나노선이 Si/SiO_x 코어/셸 나노선임을 확인함으로써 달성되었다.
- [0011] 본 발명은 Si 웨이퍼 상에 Si 과잉 산화막(Si-rich oxide: SRO)막을 제작하는 단계;
- [0012] 상기 SRO 박막 위에 Ni 박막을 증착시키는 단계;
- [0013] 상기 Ni이 증착된 SRO 박막을 석영관 안에 놓고, Si 분말을 공급하는 단계; 및
- [0014] 상기 석영관에 N₂ 가스를 흘리면서 열처리 하여 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선을 형성시키는 단계
- [0015] 로 이루어진 Si 과잉 산화막을 이용한 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선 제조 방법을 제공한다.
- [0016] 본 발명에 따른 방법에 있어서, 상기 Si 웨이퍼 상에 Si 과잉 산화막(Si-rich oxide: SRO)의 제작은 바람직하게는 PECVD(Plasma-enhanced chemical vapor deposition) 방법을 이용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니며, 당업계에 알려진 다양한 증착 방법을 이용할 수 있다.
- [0017] 본 발명에 따른 방법에 있어서, 상기 SRO 박막 위에 Ni 박막의 증착은 바람직하게는 스퍼터링법을 이용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니며, 당업계에 알려진 다양한 증착 방법을 이용할 수 있다.
- [0018] 본 발명에 따른 방법에 있어서, 상기 Si 분말을 공급은 Si 분말을 Ni이 증착된 SRO 박막에 이격시켜 0.5 내지 5g의 양으로 위치시키는 것이 바람직하다.
- [0019] 본 발명의 방법에 있어서, 상기 SRO 박막의 Si 농도는 41 내지 43 at.%인 것이 바람직하다. Si 농도가 41 at.% 미만인 경우에는 단구조를 가진 SiO_x 나노선만이 형성되며, 나노선의 평균 직경은 Si의 농도가 증가함에 따라

두꺼워진다.

- [0020] 본 발명의 방법에 따른 나노선의 생성 메커니즘은 다음과 같다.
- [0021] (a) 도 3의 (a)에서와 같이 높은 기판 온도에서 Ni 비말(droplet)의 형성과 함께 Ni 비말 근처로 SRO:H로부터 Si와 O가 확산(diffusion)되며, 이와 함께 또 다른 소스인 Si 분말가루로부터 온 Si 증기가 Ni 비말 표면에 흡착될 것이다.
- [0022] (b) 도 3의 (b)에서와 같이, 나노선의 성장과 함께 Ni 촉매 또한 나노선 안쪽으로 확산되고, 이와 함께 Si 분말 가루로부터 온 Si 증기 또한 Ni 촉매 안쪽으로 확산 되어 과포화(supersaturation)된 후에 촉매 반대면에서 나노선 형성에 기여를 하게 될 것이다.
- [0023] (c) 도 3의 (c)에서와 같이, 나노선 안쪽으로 확산된 Ni은 다시 나노선 안에서 새로운 Ni 비말을 만들며, Si 분말가루와 SRO에서 공급된 Si에 의하여 껍질 나노선 형성과 유사한 메커니즘으로 중심 나노선 형성에 기여를 하게 될 것이다. 그러나 낮은 실리콘 함유량을 갖는 SRO로부터 형성된 나노선은 단구조의 SiO_x 나노선인데, 이는 이전의 CVD를 이용한 SiO_x 나노선 성장에서도 보고되었듯이[APL 90, 263109 (2007)] 중심에 얇은 Si 나노선이 형성된 후 다시 산화되기 때문이다.
- [0024] (d) 따라서 도 3의 (d)에서와 같이 Si 양이 적을 때는 나노선 안에 또 다른 Ni 나노입자가 존재하지만 전체적으로 단구조의 SiO_x 나노선만 형성되었음을 TEM을 통해서 확인 할 수 있다.
- [0025] (e) Si 양이 더 큰 SRO 박막으로부터 형성된 나노선들은 동일한 Si 분말가루의 양임에도 불구하고 Si 중심 나노선이 형성된다. 이는 높은 Si 함유량을 가지는 SRO 박막으로부터 더 많은 과잉 Si가 Ni 비말로 확산되기 때문에 낮은 Si 함유량의 SRO 박막보다 더 두꺼운 Si 중심 나노선이 형성된다. 따라서 재산화 작용 후에도 도 3의 (e)에서와 같이, Si 코어 나노선은 완벽한 단결정 구조를 나타내며, TEM에 보여지는 것처럼 각기 다른 두 개의 Ni 나노입자가 나노선의 끝에 있는 Si/SiO_x 중심/껍질 나노선이 형성된다. 실리콘 함유량 41 at.%에서는 부분적으로 중심/껍질 구조가 나타나기 시작하며, 실리콘 함유량이 43 at.%에서는 모든 나노선들이 Si/SiO_x 중심/껍질 구조를 가지게 된다. 또한 SRO 박막의 Si 함유량이 증가함으로써 전체의 나노선의 두께가 두꺼워짐과 함께 단결정 Si 중심 나노선이 형성됨으로써, 나노선의 직진성은 높아지는 것으로 판단된다.
- [0026] 상기와 같은 메커니즘에 따라, 본 발명에서는 나노선을 제작하기 위하여 PECVD를 이용하여 다양한 Si 함유량을 가지는 SRO 박막을 제작 후 그 위에 스퍼터링을 이용하여 10 nm Ni 박막을 증착하였다. 일정량의 N₂를 흘려주면서 Si 분말가루를 일정거리에 두고 10 nm Ni /SRO 박막을 1100 °C에서 1시간 동안 열처리를 하여 SRO기판위에 나노선을 형성하였다.
- [0027] 도 4에 나타낸 바와 같이, Si 함유량이 39 at. %이하에서는 단구조 SiO_x 나노선만이 형성되었다. 그러나, Si 함유량이 41 at. %에서는 Si/SiO_x 중심/껍질 이중 나노선이 부분적으로 형성되기 시작하여, 43 at. %에서는 생성된 모든 나노선들이 Si/SiO_x 중심/껍질 구조를 가진다.
- [0028] Si/SiO_x 중심/껍질 나노선의 형성은 Si 분말에서 비롯된 Si 증기가 공급되는 가운데 SRO 박막으로 부터 과잉 Si이 촉매로 사용된 Ni 근처로 확산되어 Si 중심을 형성하게 되는 변형된 VLS (vapor-liquid-solid) 메커니즘으로 설명할 수 있다.
- [0029] 상기한 바와 같이, 본 발명에서는 종래 SLS 방법에서 주로 사용되는 Au, Al이 Si 또는 SiO₂보다 녹는점이 매우 낮아서 나노선 형성과 함께 나노선 안으로 금속 원자의 확산이 잘 일어나 큰 결점으로 작용하는 점을 개선하기 위하여 녹는점이 거의 유사한 Ni을 촉매로 사용하여 나노선 안으로 확산을 최소화시켰으며, 기판의 조성을 변화 시킴으로써 나노선의 조성을 변화시키기 위하여 PECVD를 이용한 다양한 Si 과잉 산화막 (SRO) 제작하였고, 기판에서 공급되는 제한된 양의 Si 소스와 함께 다른 보조 Si 소스(source)로써 Si 분말가루 사용하여 두께 및 조성의 변화시켰고, Si 나노선 제작 후 산화처리 같은 후속 공정 없이 이중 구조를 형성시켜 공정을 간소화하였다.
- [0030] 또한 본 발명의 방법은 Si 과잉 산화막의 Si 조성을 조절함으로써 다양한 구조의 나노선 제작이 가능하다. 이렇게 제작된 Si/SiO_x 이중구조 나노선은 기존산업의 실리콘 응용기술들을 이용하여 광전자, 메모리, 태양전지 등 다양한 응용분야에 응용이 가능할 것으로 기대된다.

효 과

- [0031] 본 발명에 따른 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선 제조 방법은 유해 가스를 사용하지 않고, Si 파잉 산화막의 Si 조성을 조절하여 나노선의 두께 및 조성을 변화시킴으로써 Si 나노선 제작 후 후속 공정 없이 이중 구조를 형성시켜 공정을 간소화 할 수 있는 효과가 있어, 실리콘 응용 분야에 적용가능한, 매우 유용한 발명인 것이다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0032] 이하에서 본 발명의 바람직한 실시형태를 실시예를 참고로 보다 구체적으로 설명한다. 하지만 본 발명의 범위가 이러한 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0033] 실시예 1: SLS 방법을 이용한 나노선 제작

- [0034] 우선, 전처리 공정으로써, PECVD(Plasma-enhanced chemical vapor deposition) 방법을 이용하여 Si 와이퍼 상에 다양한 Si 함유량 (37 at.% ~ 43 at.%)을 가지는 100 nm의 SRO 박막을 제작하였다(도 5 참조). 이어서, 스퍼터를 이용하여 상기 SRO 박막 위에 10 nm Ni 박막을 증착시켰다. 도 6(a)의 인셋(Inset)은 Ni 박막 증착 후 균일한 표면을 나타내었다.

- [0035] 이어서, 상기 기판을 석영관 내 N₂ 환경 하에서 Si 공급 없이 1,100 °C에서 1h 어닐링 열처리하여, 기판 표면에 나노선을 형성시켰다. 생성된 나노선은 두께가 300~400 nm 이며, 길이는 1μm~3 μm미만으로 매우 짧았다.

- [0036] 상기와 같은 제작 공정에 따라 형성된 나노선에 있어, 도 6에 도시한 바와 같이, Si 함유량이 43 at.%인 SRO 박막에서만 단구조 SiO_x 나노선이 형성되었음을 알 수 있었으며, SRO 박막의 두께가 나노선 형성 후 20% 이상 감소하였다. 이는 기판의 SRO 박막이 나노선 형성을 위한 소스로 작용하였을 뒷받침해주는 것이다. 나노선의 아랫부분, 즉 기판과 나노선이 만나는 부분에 Ni 입자들이 존재한다.

[0037] 실시예 2 : 코어/셸(core/shell) 이중구조 나노선 제작

- [0038] 우선 Ni이 증착된 SRO 박막을 석영관 안의 히팅 존(Heating Zone) B의 중앙에 놓았다. 거리 d의 위치에 Si 분말 0.5 g 내지 5g을 놓고, 일정량의 N₂ 개스를 흘리면서 1,100°C 열처리를 시행하였다(도 7 참조). 나노선의 평균두께가 일정하고, 밀도가 높은 가장 좋은 조건을 찾기 위해, N₂ 분압을 조절하면서, Si 분말가루의 위치를 변화시켜서 거리 d를 조절하였다.

- [0039] 동일한 실험 조건에서 다양한 Si 농도를 갖는 SRO 박막의 열처리에 의하여 나노선을 제작하였다. Si 농도 37%~43 at.%의 모든 시료에서 기판위에 나노선이 형성 되었다. Ni 입자는 나노선의 성장된 부분의 꼭대기에 존재한다.

[0040] 실험예 1 : SEM을 이용한 SRO 박막에서 Si 농도에 따른 나노선 형성 분석

- [0041] 상기 실시예 2에서 제작된 나노선에 대하여 SEM을 이용하여 SRO 박막의 Si 농도에 따른 나노선 형성 여부를 분석하고, 그 결과를 도 8에 나타내었다.

- [0042] 도 8에 나타난 바와 같이, Si 37 at.%에서는 나노선들이 구부러지고 휘어져있으나(a). Si 농도가 증가함에 따라 (b)에서와 같이 Si 43 at.%에서 점점 더 곧게 선 나노선이 형성되었다.

[0043]

[0044] 실험예 2 : TEM을 이용한 SRO 박막에서 Si 농도에 따른 나노선 형성 분석

- [0045] 상기 실시예 2에서 제작된 나노선에 대하여 TEM을 이용하여 SRO 박막의 Si 농도에 따른 나노선 형성 여부를 분석하고, 그 결과를 도 9에 나타내었다.

- [0046] 도 9에 나타난 바와 같이, (a)와 (b)에서는 Si 37 at.%와 Si 39 at.%의 SRO 박막에서 단구조를 가진 나노선이 형성되었음을 알 수 있고, (c)에서는 Si 41 at.%의 SRO 박막에서 단구조와 이중구조를 가진 나노선들이 혼합되어 형성되었음을 알 수 있다. 또한 (d)에서와 같이 Si 43 at.%의 SRO 박막에서 형성된 나노선은 거의 모두가 이중 구조를 갖는 나노선이 형성되었음을 알 수 있다.
- [0047] **실험예 3 : SEM 및 TEM을 통해 Si 농도 변화에 따른 나노선의 크기 및 두께를 평가**
- [0048] 상기 SEM 및 TEM을 통해 Si 농도에 따른 나노선의 크기 및 두께를 평가하고, 그 결과를 도 10 및 11에 나타내었다.
- [0049] 모든 나노선의 길이는 수 μm 에서 수 십 μm 이며, 도 10 및 11에 나타난 바와 같이, SRO박막의 Si 함유량이 37 at.%에서 43 at.%로 증가함에 따라 나노선의 굵기가 48 nm에서 157 nm로 증가하였음을 알 수 있다.
- [0050] **실험예 4 : HRTEM을 이용한 Si 농도 변화에 따른 나노선의 결정 분석**
- [0051] 상기 실시예 2에서 제작한 나노선에 대하여 고분해능 전자현미경 (HRTEM)을 이용하여 Si 농도 변화에 따른 나노선의 결정 변화를 관찰하고, 그 결과를 도 12에 나타내었다.
- [0052] 도 12의 (a)와 (b)에 나타난 바와 같이, 단구조를 가지는 나노선들은 비정질이며, (a)의 인세트(inset)의 Si 2p의 XPS에서 보여지는 것처럼 단구조 나노선들은 SiO_x 조성을 나타낸다. 또한 (c)와 (d)에 나타난 바와 같이, 나노선은 껍질(shell)과 중심(core)으로 분리된 동축 이중 구조이며, 중심은 단결정 Si, 껍질은 비정질 SiO_x의 성분을 갖는다.
- [0053] **실험예 5 : HRTEM 및 EELS 맵핑(mapping)을 이용한 Si 43 at.%의 SRO 박막으로부터 형성된 나노선의 구조 및 성분 분석**
- [0054] Si 43 at.%의 SRO 박막으로부터 형성된 나노선의 구조 및 성분 분석을 HRTEM 및 EELS 맵핑(mapping)을 이용하여 수행하였다. 그 결과를 도 13에 나타내었다.
- [0055] 도 13의 (a)에 나타난 바와 같이, 나노선 꼭대기 근처에는 크게 두 개의 Ni 입자를 관찰 할 수 있는데 (b), (c)의 HRTEM 이미지에서 보인 것처럼 단결정이며, (b)에 삽입된 그림에서 보는 바와 같이 FFT(fast-Fourier Transform)에 의하면 $A/B=0.77$ 이다. 이와 함께 (d)의 Ni 원소 맵핑(element mapping)과 FFT 인텍스에 의해서도 두 개의 입자들은 축매로 사용된 Ni 박막으로부터 형성된 단결정 Ni 입자임을 알 수 있다. 또한, (c)에 나타난 것처럼 나노선 중심의 꼭대기에 있는 Ni 입자는 선명하게 중심 나노선과 분리되어 있으며, 중심나노선의 격자공간이 0.304 nm를 가지며, (d)~(f)의 EELS 맵핑과 함께 HRTEM 분석에 의하여 중심나노선은 성장 방향이 [111]인 Si 단결정임을 확인 할 수 있다. 이와 함께 껍질 나노선은 Si 2p XPS 및 EELS 맵핑에 의하여 명확히 SiO_x임을 알 수 있다. 이런 단결정 Si/SiO_x 중심/껍질(core/shell) 나노선의 끝에서 관찰되는 각각의 Ni 입자들은 껍질과 중심의 형성에 기여를 하고 있음을 추정할 수 있다.
- [0056]
- [0057] **실험예 6 : EDX 스펙트럼과 EDX 맵핑을 이용한 Si 43 at.%의 SRO 박막으로부터 형성된 나노선의 구조 및 성분 분석**
- [0058] Si 43 at.%의 SRO 박막으로부터 형성된 나노선의 구조 및 성분 분석을 EDX 스펙트럼과 EDX 맵핑을 이용하여 수행하였다. 그 결과를 도 14에 나타내었다.
- [0059] 도 14에 나타난 바와 같이, EELS 맵핑과 동일한 결과를 EDX에서도 확인 하였으며, XPS, HRTEM, EELS, EDX등의 분석에 의하여 단결정 Si/SiO_x 중심/껍질을 갖는 동축 이중구조 나노선이 형성되었음을 명확히 확인 할 수 있다.
- [0060] **실험예 7 : Si/SiO_x 코어/셸 나노선의 발광 특성 조사**
- [0061] Si/SiO_x 코어/셸 나노선의 발광 특성을 조사하고, 그 결과를 도 15에 나타내었다. Si/SiO_x 중심/껍질 나노선들

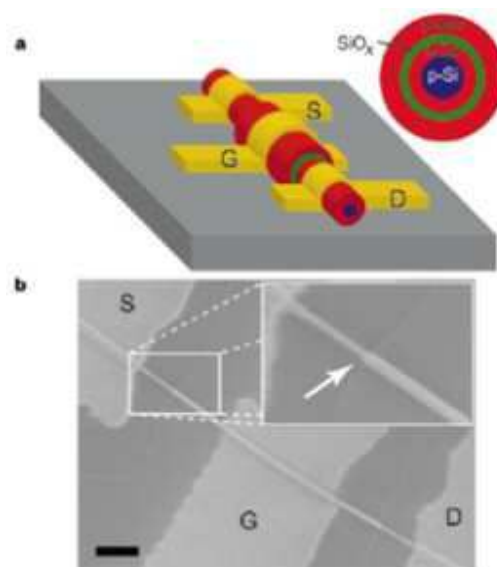
에서는 (41, 43 at. %) 381 nm에서 새로운 광루미네센스 띠가 관찰되었다. 381 nm에서 새롭게 관찰된 광루미네센스 띠는 단결정 Si와 SiO_x의 계면상태에 의한 것으로 판단된다. 인셋(inset)은 웨이퍼에서 분리된 나노선 다발을 보여주고 있다.

도면의 간단한 설명

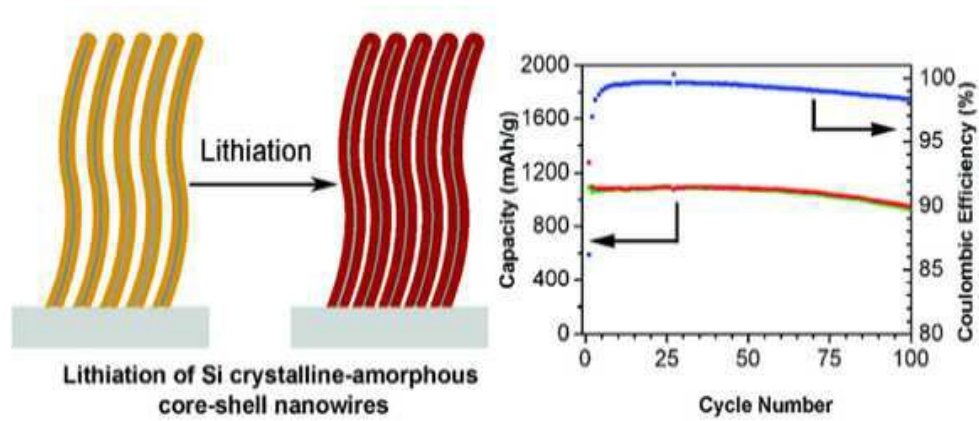
- [0062] 도 1a 및 1b는 종래 Si/SiO_x 코어/셸 나노선의 활용 양태를 나타낸 도이다.
- [0063] 도 2b 및 2b는 종래 SLS 방법으로 형성된 나노선을 나타낸 도이다.
- [0064] 도 3은 본 발명의 방법에 따른 나노선의 형성 메카니즘을 나타낸 도이다.
- [0065] 도 4는 본 발명의 방법에 따른 나노선 형성을 수식으로 나타낸 도이다.
- [0066] 도 5는 SLS법을 이용한 나노선 제작 공정을 나타낸 도이다.
- [0067] 도 6은 SLS법에 따라 제작된 나노선의 SEM 사진이다.
- [0068] 도 7은 본 발명의 방법에 따른 이중구조(코어/셸) 나노선 제작 시스템을 나타낸 도이다.
- [0069] 도 8은 본 발명의 방법에 따라 제작된 나노선의 Si 농도 변화에 따른 SEM 사진이다.
- [0070] 도 9는 본 발명의 방법에 따라 제작된 나노선의 Si 농도 변화에 따른 TEM 사진이다.
- [0071] 도 10은 SEM 및 TEM을 통한 본 발명의 방법에 따라 제작된 나노선의 Si 농도 변화에 따른 두께의 분포를 나타낸 도이다.
- [0072] 도 11은 SEM 및 TEM을 통한 본 발명의 방법에 따라 제작된 나노선의 Si 농도 변화에 따른 두께를 나타낸 도이다.
- [0073] 도 12는 본 발명의 방법에 따라 제작된 나노선의 Si 농도 변화에 따른 HRTEM 사진이다.
- [0074] 도 13은 HRTEM 및 EELS 맵핑을 이용한 43 at.% SRO 박막으로부터 조성된 나노선의 구조 및 성분 분석 결과를 나타낸 도이다.
- [0075] 도 14는 EDX 스펙트럼 및 EDX 맵핑을 이용한 43 at.% SRO 박막으로부터 조성된 나노선의 구조 및 성분 분석 결과를 나타낸 도이다.
- [0076] 도 15는 본 발명에 따른 Si/SiO_x 코어/셸 이중구조 나노선의 발광 특성을 나타낸 도이다. 인셋(inset)은 웨이퍼에서 분리된 나노선 다발을 보여주고 있다.

도면

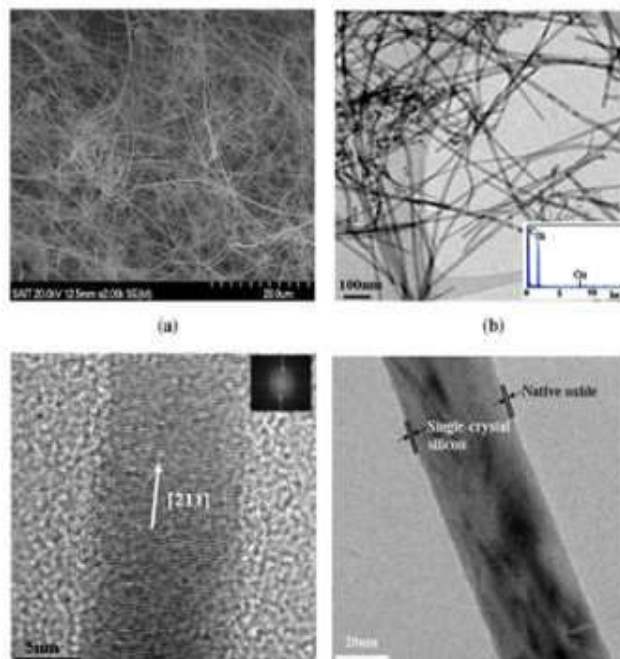
도면1a



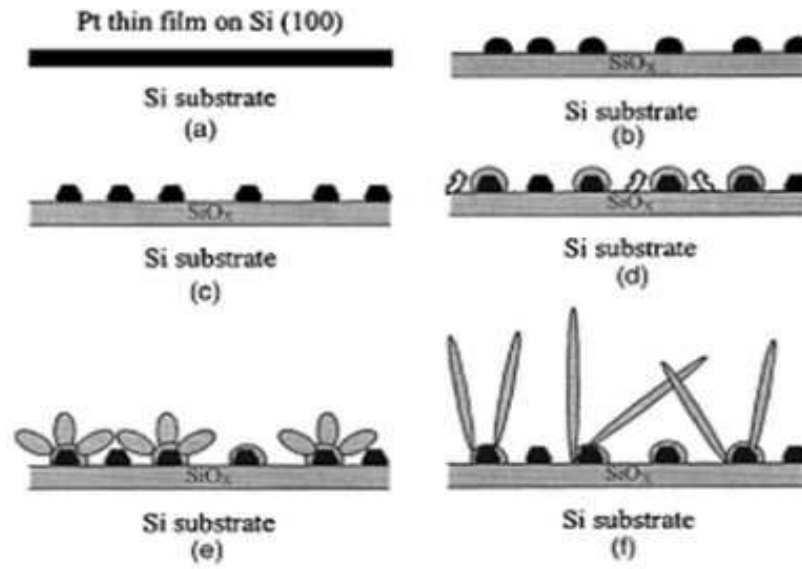
도면1b



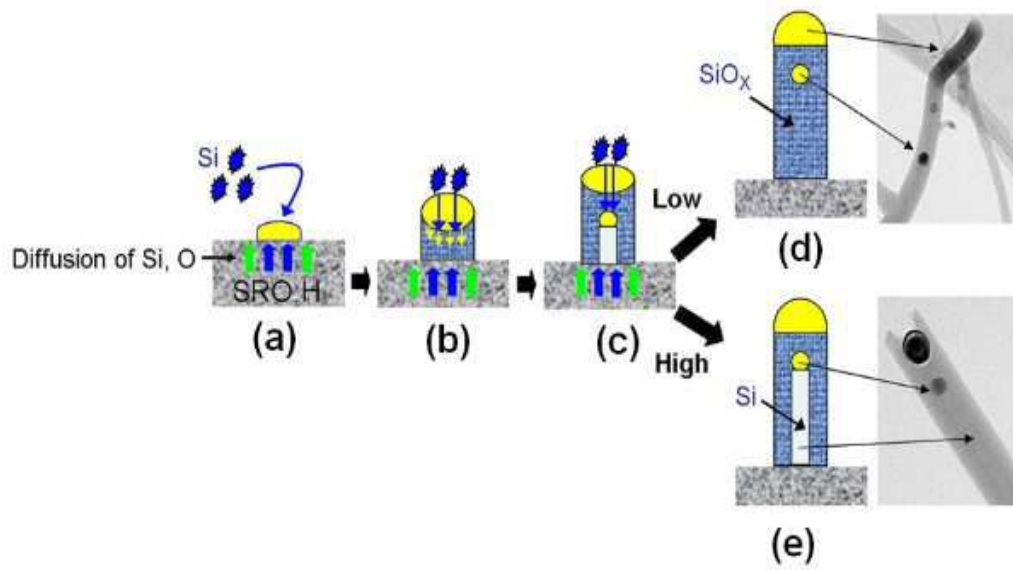
도면2a



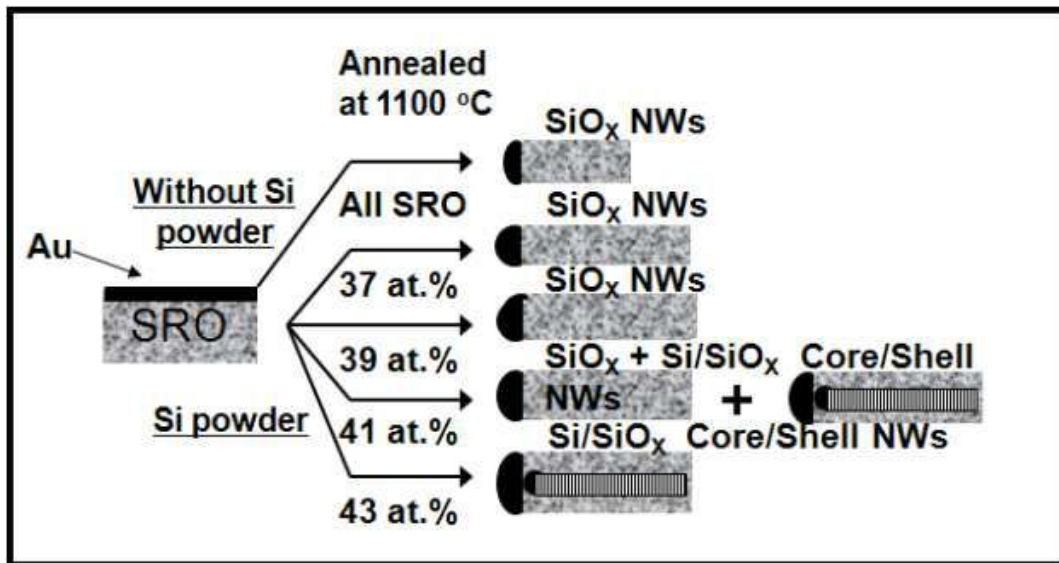
도면2b



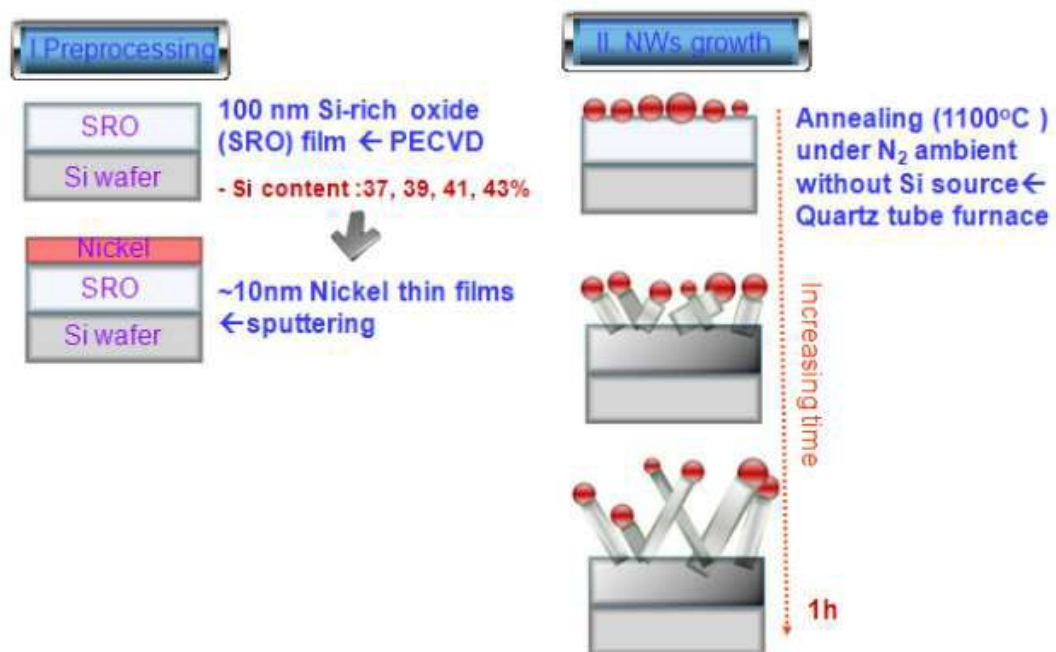
도면3



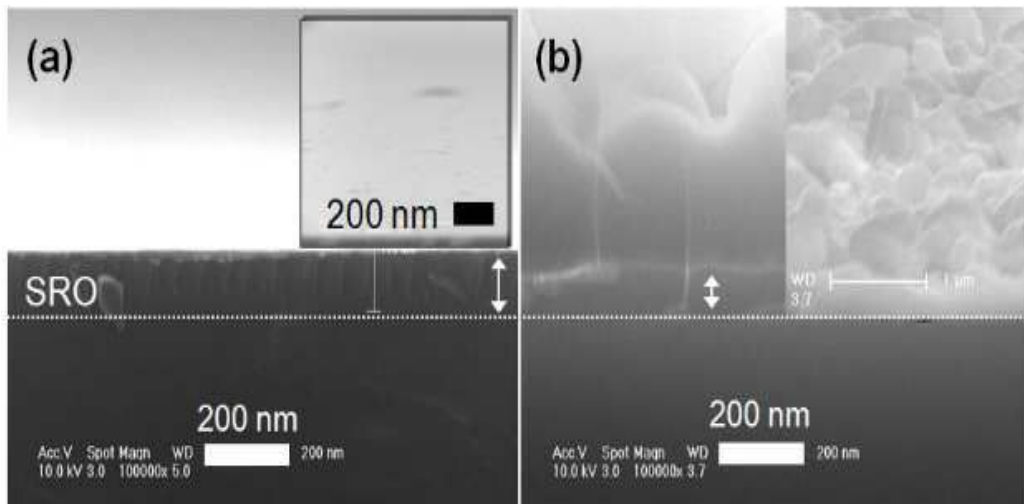
도면4



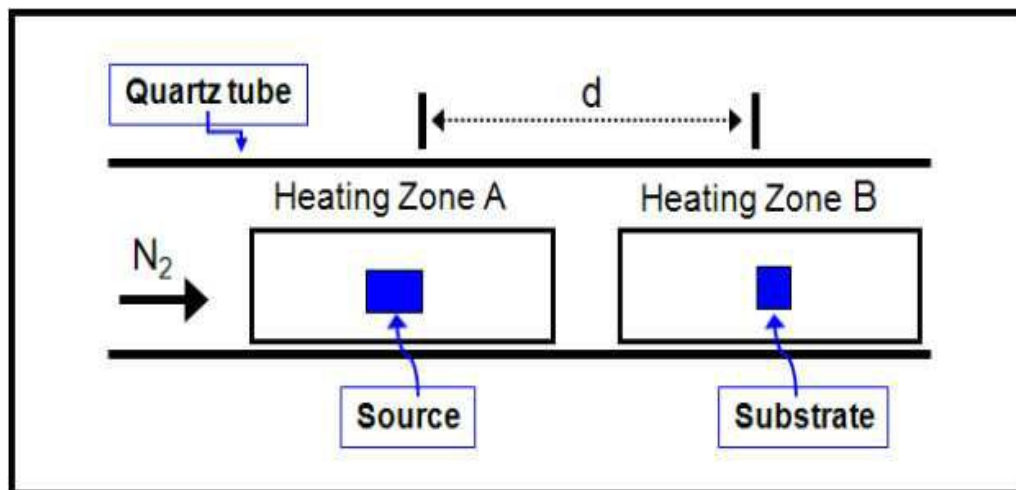
도면5



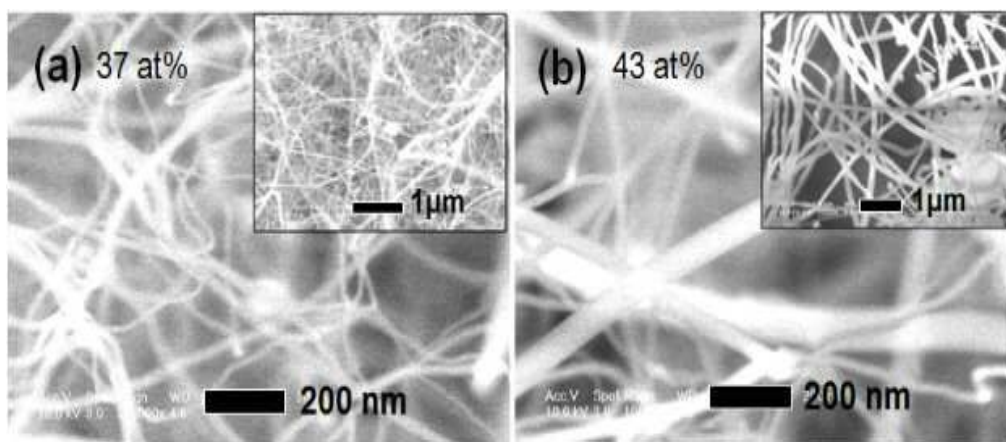
도면6



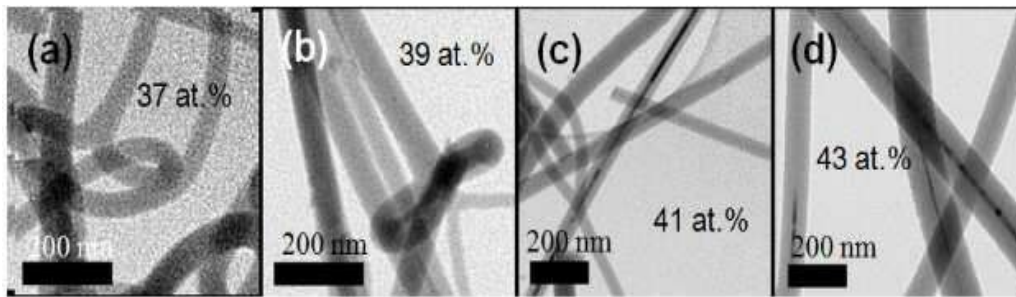
도면7



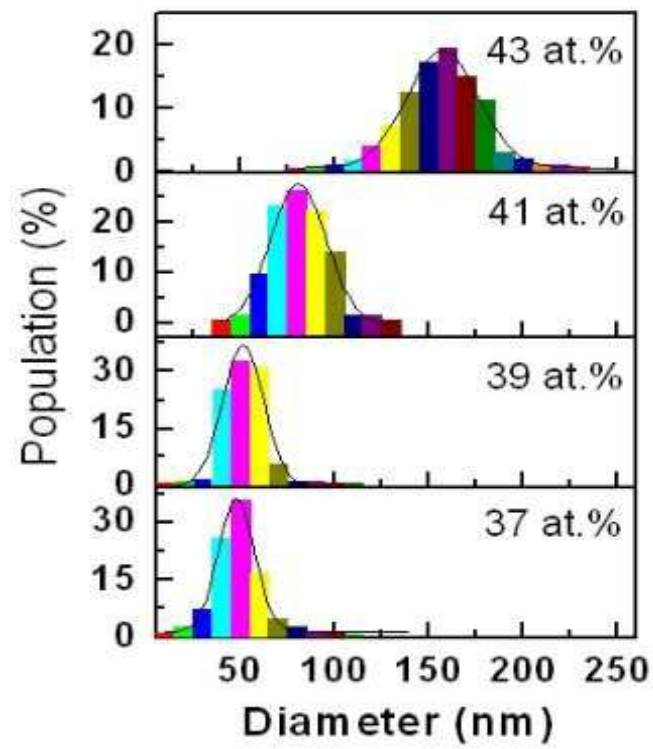
도면8



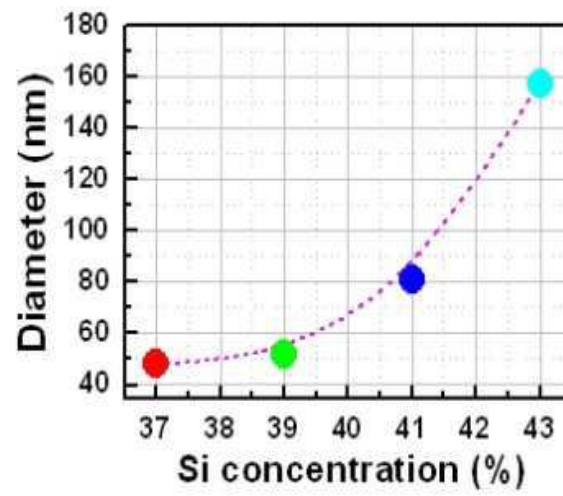
도면9



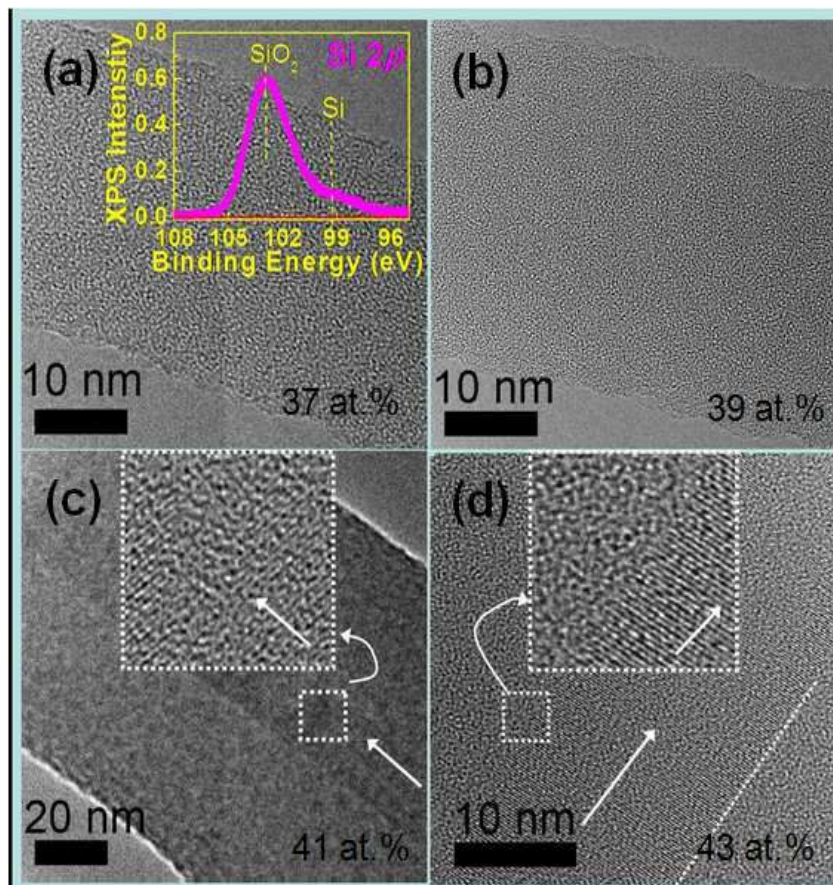
도면10



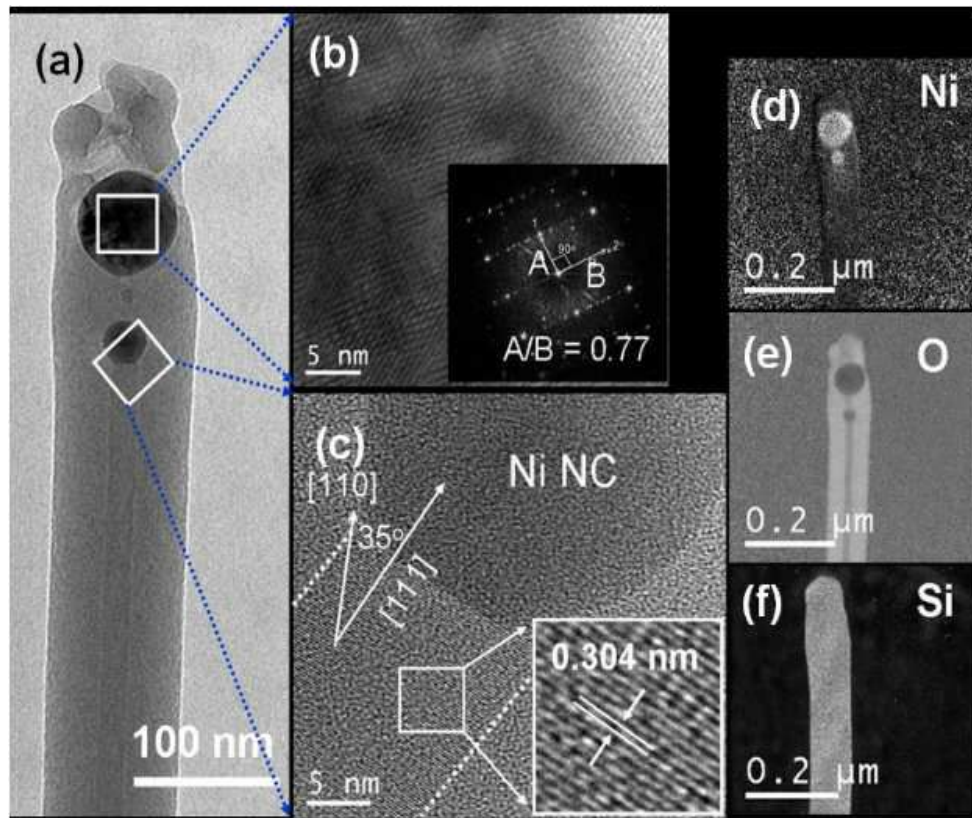
도면11



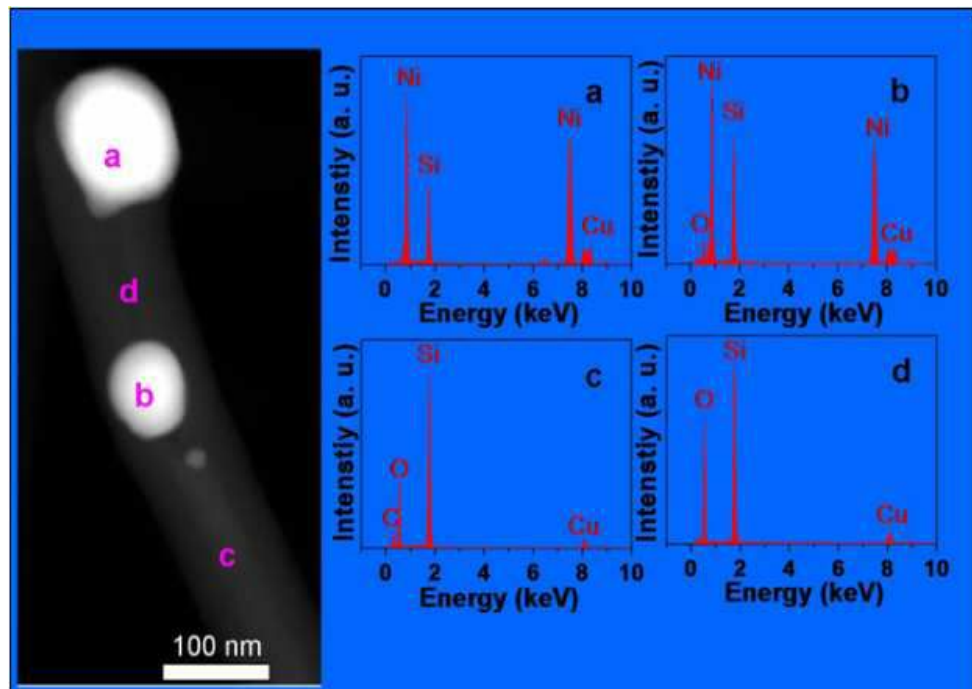
도면12



도면13



도면14



도면15

