

스퍼터된 바나듐 산화막의 구조적, 광학적 특성에 미치는 기판 온도의 효과

12-6-4

Effect of Substrate Temperature on the Structural and Optical Properties of Sputtered Vanadium Pentoxide Thin Films

최복길*, 최창규**, 권광호***, 김성진¹, 이동희²

(Bok-Gil Choi*, Chang-Kyu Choi**, Kwang-Ho Kwon***, Sung-Jin Kim¹, Dong-Hee Rhie²)

Abstract

Thin films of vanadium pentoxide(V_2O_5) have been deposited by r.f. magnetron sputtering from V_2O_5 target in gas mixture of argon and oxygen. Crystal structure, surface morphology, surface composition and optical properties of films prepared under different substrate temperatures are characterized through XRD, SEM, AES, XPS and optical absorption measurements. The films prepared below 100°C are amorphous, and those prepared above 200°C are polycrystalline. Thermally Induced oxidation of films into higher oxide has been observed with increasing substrate temperature. Vanadium pentoxide films show two optical absorption bands indicating the presence of allowed direct and indirect transitions. The increase in direct and indirect band gaps with increasing substrate temperature is attributed to the partial filling of oxygen vacancies.

Key Words(중요어) : Thin films(박막), Vanadium pentoxide(바나듐 산화막), R.F. magnetron sputtering(R.F. 마그네트론 스퍼터링), Optical band gap(광학적 밴드 갭)

1. 서 론

열 영상 시스템은 야간 전투에서 전투력 향상과 탐지 및 감시 등의 군사적 목적으로 오랫동안 연구되어 왔으며 산업 공정 감시 장치, 비파괴 시험, 예방 보수 유지 및 안전 시스템과 같은 민수용 분야에서도 현재 꾸준한 성장이 이루어지고 있다^[1].

오늘날 실용화되고 있는 열 영상 시스템에는 광자 검출 기구를 열 감지 수단으로 하는 MCT(mercury cadmium telluride) 2차원 어레이 소자가 주류를

이루고 있으며 화소를 각각 정보 관독 회로가 제작된 실리콘 기판에 bump-bond하는 hybrid 형이며 감도와 응답 속도는 우수하나 극저온 장치가 필요하다^[2].

최근 산업 자동화, 보안 및 안전 시스템 분야에서 저가격의 열 영상이 요구됨에 따라 비냉각 방식 열 검출형 초점면 배열 소자(focal-plane-array : FPA)의 개발에 많은 관심이 모아지고 있다^[3]. 열 검출기는 역사적으로 응답 속도가 낮은 것으로 인식되었으나 현대 IC 제조 기술의 발달은 비디오 카메라에 대응하는 응답 시간을 갖는 어레이 형태의 열 검출기의 제작이 가능하게 하였다. PZT(lead zirconium titanate)와 BST(barium strontium titanate)와 같은 강유전체를 열 감지 물질로 사용하는 초전 검출기(pyroelectric detector)^[4]는 입사 적외선을 변조시키기 위해 방사 초퍼(radiation chopper)가 필요하나, 저항 온도계(bolometer)는 감지막의 제조가 용이하고 초퍼가 필요하지 않으며 상온 동작이 가능하기 때문에 열 검출형 FPA 적외선 영상 시스템

* : 공주대학교 전기공학과
(충남 공주시 신관동 182, Fax : 0416-856-7958)

** : 서울산업대학교 전기공학과

*** : 한서대학교 전자공학과

¹ : 경남대학교 전자공학과

² : 수원대학교 전기공학과

1999년 3월 2일 접수, 1999년 5월 27일 심사완료

의 제작에 유망한 감지 기구로 관심이 모아지고 있다. 또한 센서의 제작에 기존의 모놀리식(monolithic) VLSI 반도체 제조 기술의 사용이 가능하므로 극세은 냉각 방식과 혼성 집적회로 기술을 사용하는 다른 형태의 적외선 센서에 비해 제조 공정이 간단해 진다^{8,9}.

다양한 서미스터(thermistor) 물질 중에서 Mn, Fe, Co, Cu 및 V와 같은 d 궤도가 부분적으로 채워진 전이 금속 산화물은 전기적, 열적 특성의 조절이 용이하기 때문에 열 검출 센서의 제작을 위해 많이 사용되어 왔다^{10,11}. 비냉각 방식 서미스터 저항 온도계 적외선 센서를 제조하기 위한 열 검출 물질로는 낮은 용점과 열처리 온도를 갖는 전이 금속 산화물 중에서 넓은 온도 범위에서 우수한 열적 감도를 보이는 바나듐 산화막이 가장 적합한 것으로 보여진다. 그런데 바나듐 산화물에 대한 연구는 지금까지 VO₂와 V₂O₅에 주로 집중되었고 반도체-금속간 전이에 관심이 모아졌다¹⁰⁻¹¹. 이들 산화물은 주로 전이 온도에서 임계 저항 온도 계수(CTR)를 갖는 서미스터의 제조에 사용되었고 넓은 온도 범위에서 우수한 열적 감도를 요구하는 방식 에너지 검출이나 온도 측정을 위해서는 사용되지 않았다.

본 연구는 비냉각 방식 서미스터 저항 온도계 적외선 센서를 제조하기 위해 실리콘 및 유리 기판 위에 RF 마그네트론 스피터링 시스템을 이용하여 V₂O₅ 타깃으로부터 10%의 산소 분압비로 퇴적시킨 V₂O₅ 박막의 기판 온도에 따른 구조적, 광학적 특성의 변화를 측정하고 평가하였다.

2. 연구방법

타깃을 제조하기 위해 순도 99.9% V₂O₅ 분말(CERAC Inc.)을 사용하였다. 용기에 V₂O₅ 분말을 물과 혼합하여 넣고 지르코니아 볼을 사용하여 12시간 동안 ball-milling하여 분쇄한 다음 100℃에서 24시간 동안 건조시켰다. 유발을 이용하여 건조된 V₂O₅ 덩어리를 분쇄하여 고운 가루로 만든 다음 시브(#170)를 통해 입도를 균일하게 하였다. V₂O₅ 분말을 평판하여 강철제 성형틀(steel mold)에 넣고 press를 이용하여 700kg/cm²의 압력으로 압축 성형하여 disc 형 V₂O₅ 타깃을 제작한 다음 전기로를 사용하여 650℃에서 2시간 동안 소결하였다. 퇴적막의 XRD, AES, XPS 특성을 조사하기 위해 저항률이 5-20Ω-cm인 (100) P형 단결정 실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용하고 광학적 특성을 조사하기 위해 유리 기판(Corning #1)을 사용하였다. RF 마그네트론

스피터링 시스템(A-Tech System)을 사용하여 바나듐 산화막을 퇴적시키기 위해 3×10⁻⁴Torr 이하까지 초기 진공 상태를 만든 다음 Ar 가스를 50sccm 유속으로 반응실 내로 주입시키면서 가스압이 약 3×10⁻⁴Torr가 되도록 하고 RF 전력을 공급하여 플라즈마를 발생시켰다. 다양한 기판 온도(room to 400℃) 하에서 10%의 산소 분압비(P(O₂)/[P(O₂)+P(Ar)])와 4.3W/cm² 인가 RF 전력의 조건으로 두께 30-150nm의 바나듐 산화막을 금속 마스크를 통하여 퇴적시켰다.

퇴적된 바나듐 산화막의 두께는 α -step을 사용하여 단차로부터 측정하고 성장률은 박막의 두께를 퇴적 시간으로 나누어 구하였다. 퇴적 조건에 따른 바나듐 산화막의 표면 조직 변화를 관찰하기 위해 SEM(JEOL JSM-6330F)을 관찰하였다. 결정학적 구조 변화를 관찰하기 위해 X-ray diffractometer(Mac/Science Co. M18XHF22)를 사용하여 회절 패턴을 분석하였으며 회절 패턴은 40KV, 200mA, Cu K α (1.54050Å) 방사로부터 얻었다. 산화 상태와 표면 화학 조성의 변화를 관찰하기 위해 Auger electron spectroscopy(PERKIN-ELMER ϕ 660) 분석을 수행하였으며 Auger 스펙트럼은 2V 침투치 변조 신호를 사용하여 dN(E)/dE 모드로 얻었다. 시료의 표면 조성과 화학적 결합 상태를 X-ray photoelectron spectroscopy(ESCALAB 22R)를 사용하여 분석하였다. 에너지 원으로는 250W의 Mg K α (1253.6eV) 방사를 사용하였으며, 시료의 표면 조성 분석을 위한 wide scan 분석은 pass energy를 100eV로, 검출된 원소의 화학적 결합 상태 분석을 위한 narrow scan 분석은 pass energy를 20eV로 수행하였다. 광학적 특성의 변화를 관찰하기 위해 UV-VIS-NIR Spectrophotometer(Shimadzu UV 3100S)를 이용하여 300nm에서 2500nm의 파장 범위에서 광투과 및 반사 스펙트럼을 측정하였다. 모든 분석과 측정은 상온에서 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 바나듐 산화막의 구조적 특성

V₂O₅ 결정은 상온 비저항이 3000Ω-cm인 반도체로 격자 상수 a=11.519Å, b=3.564Å, c=4.373Å, d(001)=4.38Å인 orthorhombic 격자 구조를 갖고 산소 원자면과 바나듐-산소 원자면의 교차 연속으로 구성되며 (001)면을 따라 벽개성이 있는 층(layered) 구조를 이룬다¹².

그림 1은 실리콘 기판 위에 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도(27℃~400℃) 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막의 XRD 스펙트럼을 나타낸다. 퇴적막의 외관은 상온에서 0% O₂ 분압비로 퇴적시킨 막의 경우 스퍼터링 과정에서 산소의 부족으로 회색이나 5% O₂ 이상의 분압비에서 황색을 보이며 기판 온도가 증가함에 따라 진한 황색으로 변하였다. 상온과 100℃에서 퇴적시킨 박막은 결정 크기가 작고 장거리 원자 질서가 크게 부족하여 비정질로 관찰되었으나 200℃ 이상에서 퇴적시킨 박막은 다결정으로 나타났다고 (001)과 (002)의 사방정계 V₂O₅ 격자면에서 두 개의 피크가 확인되었다. 결정에서 c 축은 기판에 대해 수직을 이루고 (001)면은 기판에 대해 평행이 된다^[13]. Bragg의 식으로부터 계산한 (001) 면 간격(d)은 기판 온도가 200℃에서 400℃로 증가함에 따라 d=4.51Å에서 d=4.46Å으로 감소하였다.

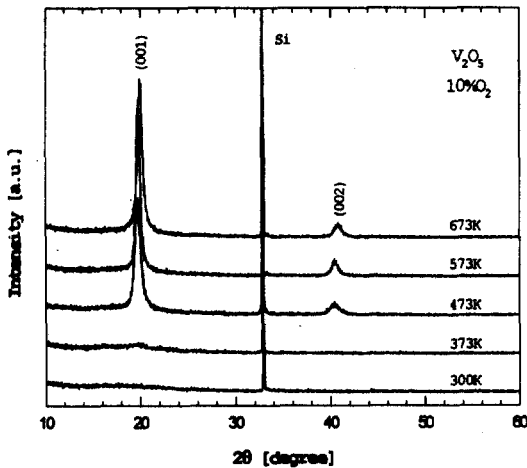


그림 1. 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막의 XRD 스펙트럼
Fig. 1. XRD spectra for vanadium pentoxide thin films prepared at different substrate temperatures under 10% O₂.

그림 2는 실리콘 기판 위에 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도(27℃~300℃) 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막의 SEM 사진이다. 낮은 기판 온도에서는 결정립이 밀집화되고 응집화된 모양으로 관찰되나

200℃ 이상 높은 기판 온도에서는 결정립의 성장으로 결정립의 크기가 증가하고 결정립이 개개로 분리되어 있으면서 가늘고 길게 신장된 막대 모양을 보이게 된다. 이와 같은 SEM과 XRD 관찰 결과로부터 200℃ 이상의 기판 온도에서는 결정립의 성장으로 퇴적막이 장거리 질서를 갖게 됨을 알 수 있다.

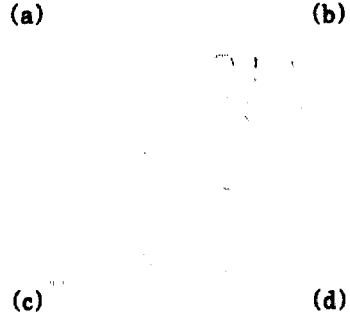


그림 2. 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막의 SEM 사진 : (a) 27℃ : (b) 100℃ : (c) 200℃ : (d) 300℃
Fig. 2. SEM micrographs of vanadium pentoxide thin films deposited under 10% O₂ : (a) at 27℃ : (b) at 100℃ : (c) at 200℃ : (d) at 300℃.

그림 3은 실리콘 기판 위에 상온에서 10%의 산소 분압비로 퇴적시킨 바나듐 산화막의 표면을 30초 동안 Ar 스퍼터링한 후의 Auger 스펙트럼이다. O(513eV), O(494eV), V(475eV), V(437eV)에서 큰 Auger 피크가 관찰되었다. V(L2M23V, 475eV)에 대한 O(KVV, 513eV) 강도비와 Auger 선 변위는 바나듐의 산화 상태에 의존하며 바나듐 내부각 Auger 천이(L2M23M23)에 있어서는 산화 상태가 증가함에 따라 결합 에너지가 증가하는 방향으로 산화수(oxidation number) 당 약 0.6eV의 화학적 변위가 발생한다^[14]. 여기서 O(513eV) : V(475eV) Auger 강도비로부터 기판 온도 변화에

다른 바나듐 산화막 표면의 화학적 조성을 조사하여 표 1에 나타내었다.

기판 온도가 낮은 경우 V_2O_5 와 바나듐의 낮은 산화 상태가 혼재하는 것으로 보여지며 기판 온도가 증가함에 따라 바나듐의 산화량의 증가로 화학량론적 (stoichiometric) V_2O_5 에 가까워짐을 알 수 있다.

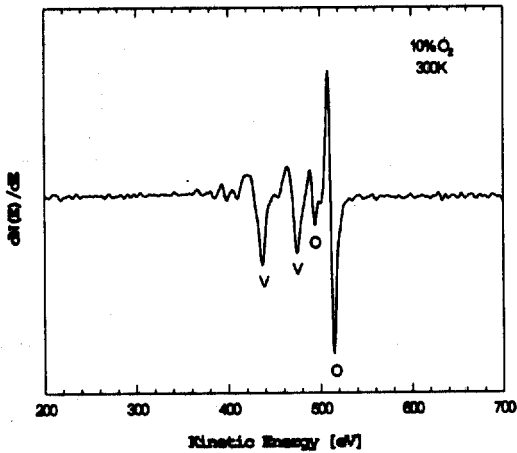


그림 3. 상온에서 10%의 산소 분압비로 퇴적시킨 바나듐 산화막의 Auger 스펙트럼

Fig. 3. AES spectrum of vanadium pentoxide thin films deposited with substrate temperature of 27°C under 10% O_2 .

표 1. 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막의 화학적 조성비

Table 1. Comparison of chemical composition ratio for vanadium pentoxide thin films grown at different substrate temperatures under 10% O_2 .

	Substrate Temperature(°C)				
	27	100	200	300	400
AES					
O:V	2.34	2.38	2.41	2.43	2.45

그림 4는 실리콘 기판 위에 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도(27°C~400°C) 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막에 대한 O(1s), V(2p_{1/2}), V(2p_{3/2})

core level의 XPS 스펙트럼을 나타낸다. 결합 에너지(binding energy : BE)는 285.0eV의 C(1s) core level의 위치를 기준하여 측정하였다. 이들의 core level 결합 에너지와 full width at half-maximum(FWHM)을 표 2에 보여준다. 일반적인

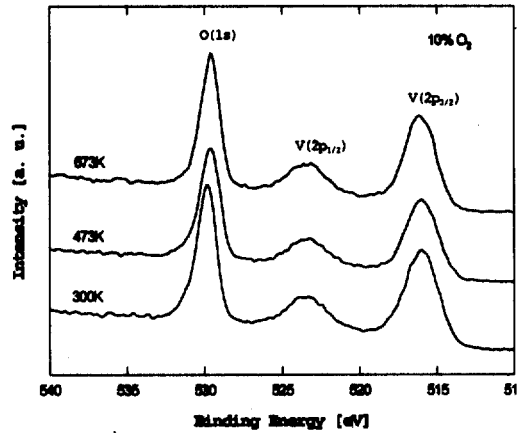


그림 4. 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막에 대한 O(1s), V(2p_{1/2}), V(2p_{3/2}) core level의 XPS 스펙트럼

Fig. 4. XPS spectra of O1s, V2p_{1/2} and V2p_{3/2} core levels of vanadium oxide thin films deposited with different substrate temperatures under 10% O_2 .

표 2. 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막에 대한 V(2p_{3/2})와 O(1s) core level의 결합 에너지와 full width at half-maximum

Table 2. Comparison of binding energy and full width at half-maximum of V(2p_{3/2}) and O(1s) core levels of vanadium pentoxide thin films grown at different substrate temperatures under 10% O_2 .

Substrate Temperature (°C)	V(2p _{3/2})		O(1s)	
	BE(eV)	FWHM(eV)	BE(eV)	FWHM(eV)
27	516.0	2.7	529.8	1.5
200	516.1	2.5	529.7	1.6
400	516.2	2.3	529.6	1.4

로 core level BE와 개별 원자의 관계된 전하 상태 사이에는 상관 관계가 있으며 금속 원자의 정전하가 증가하면 core level BE가 증가한다^[14]. 기판 온도가 증가함에 따라 V(2p_{3/2})의 결합 에너지는 증가하고 O(1s)의 결합 에너지는 감소하고 있으며 V(2p_{3/2})의 FWHM은 감소하였다. 이와 같은 경향으로부터 기판 온도가 증가함에 따라 산화상이 증가하며, V₂O₅에 V₂O₄, V₅O₁₃, V₄O₉, V₃O₇과 같은 바나듐의 낮은 산화 상태가 혼재된 상태에서 V₂O₅ 상에 가까워짐을 알 수 있다.

3.2 바나듐 산화막의 광학적 특성

그림 5는 유리 기판 위에 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도(27℃~400℃) 하에서 피적시킨 바나듐 산화막에 대한 광투과 스펙트럼을 나타낸다.

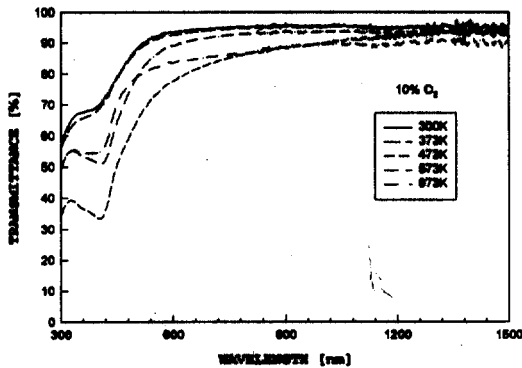


그림 5. 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도 하에서 피적시킨 바나듐 산화막에 대한 광투과 스펙트럼

Fig. 5. Optical transmittance spectra for vanadium pentoxide thin films prepared at different substrate temperatures under 10% O₂.

전반적으로 적외선 영역과 파장 600nm 이상의 가시광 영역에서 거의 90%에 달하는 높은 광투과를 보이고, 400nm와 550nm 사이에서 크게 감소하며 기판 온도가 증가함에 따라 기울기가 증가하였다. 이것은 단결정 V₂O₅의 흡수 단이 550nm 부근에 위치한다는 연구 결과^[15]와 일치한다. 400nm 이하의 파장 범위에서 XRD 분석을 통해 비정질로 나타난 100℃ 이하에서 피적시킨 막의 경우 파장이 감소함에 따라 광투과가 400nm 부근에서 낮은 기울기로 굴절한

후 330nm 부근에서 높은 기울기를 보이며 계속 증가하였다. 그러나 XRD 분석을 통해 다결정으로 나타난 200℃ 이상에서 피적시킨 막의 경우 파장이 감소함에 따라 400nm 부근에서 최소가 되고 광투과가 증가하여 330nm 부근에서 최대가 되며 이 파장 범위에서 기울기는 기판 온도가 증가함에 따라 감소했으며 330nm 이하에서는 다시 광투과가 감소하였다. 이상의 광투과 결과로부터 바나듐 산화막은 300nm에서 330nm 파장 범위와 400nm에서 550nm 파장 범위의 두 개의 광흡수 밴드를 갖고 있으며, 비정질과 다결정 바나듐 산화막 사이에는 330nm와 400nm 파장 범위에서 다결정이 파장이 감소함에 따라 광투과가 증가하는 특성으로부터 구분되고, 기판 온도에 따른 광투과 밴드에서 기울기의 변화는 피적막의 산화 상태의 변화로 직접 및 간접 전이 갭이 변화하기 때문으로 판단된다.

광흡수 계수 α 는 측정된 투과도(transmittance) T와 반사도(reflectance) R을 사용하여 다음 식으로부터 구할 수 있다^[16].

$$\alpha = 1/d \ln \left(\frac{(1-R)^2}{2T} + \left[\left(\frac{(1-R)^2}{2T} \right)^2 + R^2 \right]^{1/2} \right) \quad (1)$$

여기서 d는 시료의 두께이다. 그림 6은 식(1)을 사용하여 구한 입사광 에너지에 따른 광흡수 계수의 변화를 보여준다. 기판 온도에 관계없이 광 에너지

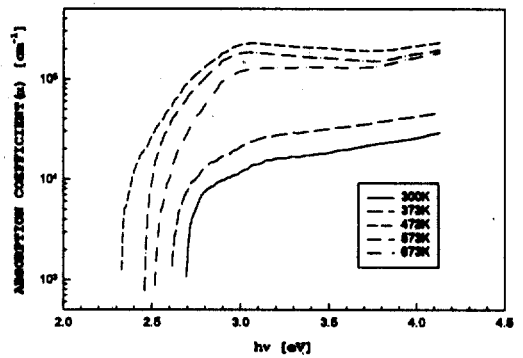


그림 6. 다양한 기판 온도 하에서 피적시킨 바나듐 산화막에 대한 입사광 에너지 hv에 따른 광흡수 계수 α 의 변화

Fig. 6. Absorption coefficient α as a function of the incident photon energy $h\nu$ for vanadium pentoxide thin films prepared at different substrate temperatures.

가 증가함에 따라 약 3eV의 광 에너지까지 광흡수 계수는 급격하게 증가한 다음, 100℃ 이하에서 퇴적시킨 막에서는 완만한 기울기로 증가하나 200℃ 이상에서 퇴적시킨 막에서는 약 3.75eV의 광 에너지까지 감소하거나 포화를 보인 후 다시 완만한 기울기로 증가함을 알 수 있다. 일반적으로 V_2O_5 에서 전도대는 바나듐의 3d 밴드로 이루어지고 가전자대는 산소의 2p 밴드로 이루어진다. 광흡수 계수가 급격하게 증가하는 범위는 전하 천이 영역(charge transfer region)으로서 기초 광흡수 단의 개시와 관계하며 가전자대에서 전도대로 전자의 천이가 발생한다^[17]. 비정질 물질에서 밴드 갭보다 큰 입사광 에너지의 경우 광흡수는 다음의 멱승 법칙을 따른다^[18].

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^n \quad (2)$$

여기서 n은 지수, h는 플랑크 상수, ν 는 입사광의 진동수, B는 상수, E_g 는 물질의 광학적 밴드 갭이다. n은 흡수를 야기하는 전자 천이의 형태를 결정하며 직접 허용(direct allowed), 직접 금지(direct forbidden), 간접 허용(indirect allowed), 간접 금지(indirect forbidden) 천이의 경우 각각 1/2, 3/2, 2, 3의 값을 갖는다. 광 에너지 $h\nu$ 에 대해 $(\alpha h\nu)^{1/n}$ 을 그려 직선이 얻어지면 $(\alpha h\nu)^{1/n} = 0$ 이 되는 점을 외삽하여 광학적 밴드 갭을 구할 수 있다.

전하 천이 영역에 대해 입사광 에너지 $h\nu$ 의 함수로서 $(\alpha h\nu)^{1/2}$ 의 변화 관계를 그림 7에 나타내었다. 직선적인 관계로부터 이 에너지 범위에서 광흡수가 간접 천이에 기인함을 알 수 있으며 기판 온도가 증가함에 따라 표 3에서의와 같이 간접 갭은 증가하였다. 스퍼터된 V_2O_5 막은 XRD 분석 결과로부터 알 수 있듯이 장거리 질서가 부족하여 비정질 혹은 다결정 상태이므로 가전자대 혹은 전도대에 인접하여 금지대내로 확장된 연속 분포의 상태(state)들이 존재하게 된다. 전자의 광학적 천이 과정에 이들 상태가 관여하게 되며 간접 천이에서 운동량이 보존될 필요는 없다^[19]. 바나듐 산화막을 스퍼터링으로 퇴적시킬 때 기판 온도가 낮을수록 퇴적막내에 두 V-O층 사이의 O층에서 산소의 공격자점이 많이 발생하게 되며, 산소 공격자점에 인접한 바나듐 원자의 빈 3d 궤도는 파인 전자를 국제화하여 두 개의 V^{4+} 이온 혹은 한 개의 V^{3+} 이온이 되면서 국부적으로 V_6O_{13} , V_4O_9 , V_3O_7 과 같은 비화학량론적 V_2O_5 구조가 생성된다. 퇴적막내에 산소 공격자점이 많을수록 국제 준위의 농도는 증가하고 밴드 갭은 낮아지며 흡수 단은 긴 파장 쪽으로 이동한다. 기판 온도가 증가하게 되면 산화

량의 증가로 산소 공격자점이 부분적으로 채워지게 되므로 광학적 밴드 갭이 증가하는 것으로 해석된다.

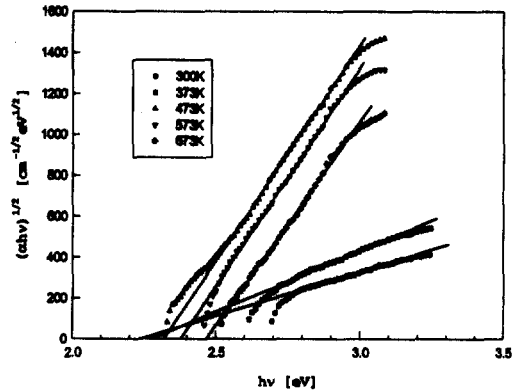


그림 7. 다양한 기판 온도 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막에 대한 입사광 에너지 $h\nu$ 의 함수로서 $(\alpha h\nu)^{1/2}$ 의 변화

Fig. 7. Plots of $(\alpha h\nu)^{1/2}$ as a function of the incident photon energy $h\nu$ for vanadium pentoxide thin films prepared at different substrate temperatures.

표 3. 10%의 산소 분압비로 다양한 기판 온도 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막에 대한 직접 및 간접 광학적 갭 에너지

Table 3. Direct and indirect optical gap energies for vanadium pentoxide thin films grown at different substrate temperatures under 10% O_2 .

Substrate Temperature (°C)	Indirect Gap (eV)	Direct Gap (eV)
27	2.23	3.14
100	2.27	3.21
200	2.32	3.28
300	2.38	3.39
400	2.47	3.47

그림 8은 입사광 에너지 $h\nu$ 에 따른 $(\alpha h\nu)^2$ 의 의존성을 나타낸다. 직선적인 관계로부터 이 에너지 범위에서 광흡수가 직접 천이에 기인함을 알 수 있으며

기판 온도가 증가함에 따라 표 3에서와 같이 직접 갭은 증가하였다. 이와 같은 바나듐 산화막의 퇴적시 기판 온도에 따른 광학적 밴드 갭의 변화는 간접 천이에서의 같이 직접 천이가 바나듐 산화막내에 존재하게 되는 산소 공결자점에 의해 야기된 국부적인 V-O 배위(coordination)의 변화¹⁴⁾와 깊은 관계가 있기 때문에 보여진다.

의 산화 상태의 변화로 직접 및 간접 천이 갭이 변화하기 때문에 판단된다. 전자의 광학적 천이 과정에는 바나듐 산화막의 퇴적 과정에서 생성된 산소 공결자점에 의해 야기된 국제 준위가 관여하며 기판 온도가 증가함에 따라 산소 공결자점이 부분적으로 채워지게 되므로 국제 준위의 농도는 감소하고 직접 및 간접 갭은 증가하게 된다.

참고 문헌

1. C. Lucas, "Infrared detection, some recent developments and future trends", Sensors and Actuators A, Vol. 25~27, pp. 147~154, 1991.
2. R. Aguilera, "Infrared sensors and sensor fusion", Proc. SPIE, Vol. 782, p. 108, 1987.
3. C. M. Hanson et al., "Uncooled thermal imaging moves forward", Lasers & Optronics, pp. 13~18, 1996.
4. R. Vanzetti, *Practical Applications of Infrared Techniques*, John Wiley & Sons, p. 30, 1972.
5. A. Tanaka et al., "Infrared focal plane array incorporating silicon IC process compatible bolometer", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 43, No. 11, pp. 1844~1848, 1996.
6. M. H. Unewisse et al., "Performance of uncooled semiconductor film bolometer infrared detectors", Proc. SPIE, Vol. 2269, pp. 43~52, 1994.
7. K. Singh et al., "Effect of CuO as an impurity on the electrical properties of NiO-Mn₂O₃ NTC thermistor material", J. Mater. Sci. Lett., Vol. 1, pp. 99~102, 1982.
8. W. M. Morris and J. H. Filshie, "Thin film thermistors", J. Phys. E : Sci. Instrum., Vol. 8, pp. 411~414, 1975.
9. G. A. Nyberg and R. A. Buhrman, "Preparation and optical properties of reactively evaporated VO₂ thin films", J. Vac. Sci. Technol., Vol. A2, pp. 301~302, 1984.
10. F. C. Case, "Influence of ion beam parameters on the electrical and optical properties of ion-assisted reactively evaporated vanadium dioxide thin films", J. Vac. Sci.

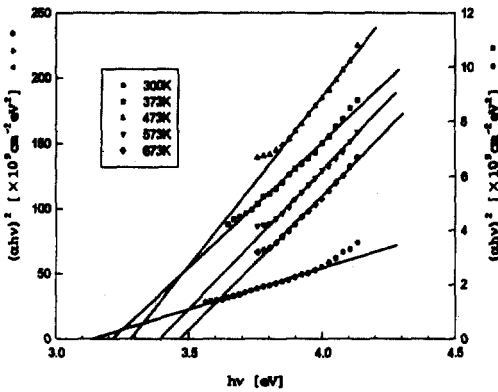


그림 8. 다양한 기판 온도 하에서 퇴적시킨 바나듐 산화막에 대한 입사광 에너지 $h\nu$ 의 함수로서 $(\alpha h\nu)^2$ 의 변화

Fig. 8. Plots of $(\alpha h\nu)^2$ as a function of the incident photon energy $h\nu$ for vanadium pentoxide thin films prepared at different substrate temperatures.

4. 결 론

RF 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 V₂O₅ 타겟으로부터 10% 산소 분압비로 퇴적시킨 V₂O₅ 박막의 기판 온도에 따른 구조적, 광학적 특성의 변화를 측정하고 평가하였다. SEM 관찰과 XRD 분석으로부터 기판 온도 100℃ 이하에서 퇴적시킨 박막은 비정질로 관찰되었으나 200℃ 이상에서 퇴적시킨 박막은 결정형의 성장으로 다결정으로 나타났다. Auger와 XPS 분석을 통해 기판 온도가 낮은 경우 V₂O₅와 바나듐의 낮은 산화 상태가 혼재하는 것으로 보여지며 기판 온도가 증가함에 따라 바나듐의 산화량의 증가로 화학량론적 V₂O₅에 가까워짐을 알 수 있었다. 광투과 결과로부터 바나듐 산화막은 300nm에서 330nm 파장 범위와 400nm에서 550nm 파장 범위의 두 개의 광흡수 밴드를 갖고 있으며 기판 온도에 따른 광흡수 밴드에서 기술기의 변화는 퇴적막

- Technol., Vol. A5, No. 4, pp. 1762~1766, 1987.
11. F. C. Case, "A novel deposition technique for switchable V_2O_5 thin films" J. Vac. Sci. Technol., Vol. A9, No. 3, pp. 461~465, 1991.
 12. S. D. Hansen and C. R. Aita, "Low temperature reactive sputter deposition of vanadium oxide", J. Vac. Sci. Technol., Vol. A3, pp. 660~663, 1985.
 13. A. Z. Moshfegh and A. Ignatiev, "Formation and characterization of thin film vanadium oxides", Thin Solid Films, Vol. 198, pp. 251~268, 1991.
 14. F. J. Szalkowski and G. A. Somorjai, "Auger electron spectroscopy investigations of the surface chemical composition of vanadium, the vanadium oxides, and oxidized vanadium : chemical shift and peak intensity analysis", J. Chem. Phys., Vol. 56, pp. 6097~6103, 1972.
 15. G. A. Sawatzky and D. Post, "X-ray photoelectron and Auger spectroscopy study of some vanadium oxides", Phys. Rev. B, Vol. 20, pp. 1546~1555, 1979.
 16. G. Micocci, A. Serra, A. Tepore and S. Capone, "Properties of vanadium oxide thin films for ethanol sensor", J. Vac. Sci. Technol., Vol. A15, No. 1, pp. 34~38, 1997.
 17. C. R. Aita and M. L. Kao, "Low-temperature oxidation of nonstoichiometric sputter deposited vanadium pentoxide", J. Vac. Sci. Technol., Vol. A5, No. 4, pp. 2714~2717, 1987.
 18. S. Krishnakumar and C. S. Menon, "Optical and electrical properties of vanadium pentoxide thin films", Phys. Stat. Sol., Vol. A153, pp. 439~444, 1996.
 19. C. R. Aita, Y. L. Liu, M. L. Kao and S. D. Hansen, "Optical behavior of sputter-deposited vanadium pentoxide", J. Appl. Phys., Vol. 60, No. 2, pp. 749~753, 1986.