

論文 95-32A-11-6

다층 및 불균일 SiON 박막을 이용한 공간섭필터의 설계 및 제작

(Design and Fabrication Optical Interference Filters using Multiple and Inhomogeneous Dielectric Layers)

林 聖 奎 *

(Sungkyoo Lim)

요 약

플라즈마 화학기상증착법(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition : PECVD)을 이용하여 굴절률이 1.46-2.05의 값을 갖는 SiO₂, Si₃N₄ 및 이들의 합성으로 구성된 silicon oxynitride(SiON) 박막을 제작하였다. SiON 박막 제작 시에 SiH₄, N₂, 및 N₂O 가스를 이용하였으며 각 가스의 유량을 PAL-68000 컴퓨터를 이용하여 실시간 조절함으로써 층마다 굴절율이 다른 다층박막 및 박막의 굴절율이 박막의 두께에 따라 연속적으로 변하는 불균일 박막을 제작하였다. 다층박막을 이용하여 평판 디스플레이용 광반사 방지막(AR coating)을 제작하였으며 또한 전계발광 평판디스플레이의 단위소자인 박막 전계발광(TFEL) 소자의 부도체막을 다층박막으로 설계한 후 제작하였다.

Abstract

Homogeneous, compositionally graded, and superlattice-like silicon oxynitride(SiON) dielectric layers, with the refractive index varying from 1.46 to 2.05 as a function of film thickness, were grown by computer-controlled plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) using silane, nitrogen, and nitrous oxide reactant gases. An antireflection(AR) coating and thin-film electroluminescent(TFEL) devices with multiple dielectrics were designed and fabricated using real time control of reactant gases of the PECVD system.

1. 서 론

평판디스플레이(Flat Panel Display : FPD)의 제작시에 광반사 방지(Antireflection : AR) 막을 디스플레이 표면에 성장시키면 외부로부터 디스플레이 표면에 입사된 광의 반사율을 줄여주어 디스플레이의 contrast를 향상시킬 수 있어 고급 평판디스플레이를 만들 수 있다. 이러한 AR막은 서로 다른 굴절율을 갖는 다층박막을 적당한 두께로 성장시켜 구현한다^[1,2]. 이러한 다층박막을 성장시키기 위하여서는 하나의 박막층마다 굴절율이 다른 물질을 이용하여 sputtering

등의 물리적인 증착(Physical Vapor Deposition : PVD)을 하는 것이 보통이다^[3,4]. 그러나 이와 같은 PVD방법을 이용하면 많은 시간이 걸리고 박막의 수에 해당하는 만큼의 기본 재료가 필요하다.

이상적인 AR막은 이론적으로 계산한 결과 막의 굴절율이 한 매질로부터 다른 매질까지 연속적으로 변하는 불균일 박막이어야 한다^[5-7]. 박막의 두께에 따라 굴절율이 연속적으로 변하는 불균일 박막은 오래 전부터 제안되어 왔다. 이러한 불균일 박막을 사용하여 공간섭필터를 제작하면 균일한 다층 구조의 공간섭필터에서 발생하는 문제점을 보완할 수 있으며 해석적 방법에 의한 공간섭필터의 합성은 이미 여러 차례 시도된 바 있다^[8,9]. 그러나 불균일 박막은 제작하기가 매우 어려우며 최근에는 박막 공정 과정을 computer를

* 正會員, 檀國大學校 電子工學科

(Department of Elec. Eng., Dankook Univ.)

接受日字: 1995年4月29日, 수정완료일: 1995年11月3日

이용하여 제어하는 기술이 발달하여 불균일 박막의 제조가 가능하게 되었다¹⁰⁻¹²⁾. 그러나 실존하는 박막 재료의 굴절율은 매우 제한되어 있고 이들을 이용하여 불균일 박막을 제작하기가 매우 어렵다.

본 논문에서는 굴절율이 1.46 - 2.05 사이에서 연속적으로 변화하거나 또는 초격자형태로 변화하는 유전 박막을 성장시켜 보았고 Auger Electron Spectroscopy(AES)를 이용하여 박막조성물질의 구성 성분을 조사하였다. 또한 다층 구조의 AR막을 설계하고 PECVD를 이용하여 성장시켰으며 평판디스플레이에 사용되는 박막전계발광(thin-film electroluminescent : TFEL) 소자의 유전체막을 단층 구조가 아닌 다층으로 설계하고 PECVD를 이용하여 성장시켜 보았다. 이러한 다층 및 불균일 박막을 성장시키는 데 SiH₄, N₂, 및 N₂O 가스를 사용하였으며 PECVD 내부로 유입되는 각 가스의 유량은 매 순간마다 컴퓨터를 이용하여 실시간으로 조절하였다.

II. 공간섭 필터의 설계

광파가 단층, 다층, 및 불균일 부도체 박막에 입사되면 입사된 파는 박막 및 기판사이의 계면에서 반사된 반사파와 간섭현상을 일으키며 그 결과 입사된 파의 반사, 흡수 및 투과현상이 나타난다. 이때 투과되거나 반사된 광파의 에너지는 파장에 따라 달라지게 된다. 박막의 수, 굴절율 및 두께를 적당히 설계하면 서로 다른 반사, 또는 투과 특성을 갖는 박막을 얻을 수 있다. 이렇게 특별하게 설계된 박막을 광필터라고 한다. 여러 종류의 광필터의 스펙트럼 특성을 그림 1에 나타내었다.¹⁴⁾

이러한 광필터의 세가지 요소로서 광필터의 분석, 설계 및 제작을 들 수 있다. 이 중에서 광필터의 분석은 각 박막층의 두께, 굴절율 등의 광상수(optical constants)를 알면 각 층의 특성 매트릭스(characteristic matrix)를 이용하여 쉽게 할 수 있다^{13,15)}. 그러나 광필터의 설계는 원하는 스펙트럼 특성을 얻을 수 있도록 박막의 층수, 각 층의 굴절율 및 두께를 구해야 하는 매우 복잡한 일이다. 그러나 최근에는 컴퓨터의 발달로 인하여 매우 복잡한 광필터를 합성하는 프로그램들이 개발되었다. 본 논문에서는 전송선로 이론을 이용하여 유전체 박막을 나타내었으며 이

를 이용하여 다층박막을 이용한 광필터를 분석, 설계하였다.

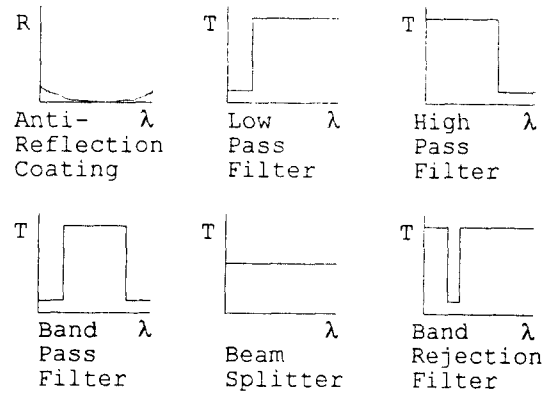


그림 1. 여러 가지 광필터의 특성
Fig. 1. Characteristics of various optical filters.

유리기판 위에 다층의 유전박막을 성장시켰을 때 이를 광원과 부하를 포함한 전송선로 등가회로를 이용하여 나타내면 그림 2와 같다. 여기에서 V 는 입사광, l_1, l_2, \dots, l_n 은 각 박막의 두께, Z_1, Z_2, \dots, Z_n 은 각 박막의 특성 임피던스, Z_0 는 광원의 임피던스, Z_s 는 기판인 유리의 임피던스를 나타낸다.

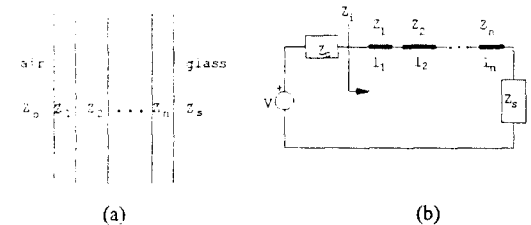


그림 2. (a) 다층 유전막의 구조 및 (b) 전송선로 등가회로

Fig. 2. (a) Multiple dielectric layer and (b) its transmission line equivalent circuit.

박막이 균일하고 방향성이 없으며 비자성일 경우에 첫번째 박막의 특성임피던스인 Z_1 은 식 (1)과 같이 주어지며 μ 는 막의 비투자율, μ_0 는 자유공간의 투자율을 나타내며 ϵ 은 막의 비유전율, ϵ_0 는 자유공간의 유전율을 나타낸다. 자유공간에서 μ 와 ϵ 의 값은 1이며 물질에 따라 변한다.

$$Z_1 = (\mu\mu_0/\epsilon\epsilon_0)^{1/2} \quad (1)$$

따라서 자유공간의 특성임피던스인 Z_0 는 식 (2)와 같이 표시된다.

$$Z_0 = (\mu_0/\epsilon_0)^{1/2} \quad (2)$$

Z_0 를 이용하여 유전막의 임피던스인 Z_1 을 나타내면 식 (3)과 같이 표시할 수 있다. 여기에서 $n_1 = \epsilon^{1/2}$ 로서 유전체의 굴절율을 나타낸다.

$$Z_1 = Z_0/\epsilon^{1/2} = Z_0/n_1 \quad (3)$$

이상의 다층 유전막의 파장에 대한 반사 및 투과 계수는 초고주파 시뮬레이션 프로그램인 Touchstone을 이용하여 해석할 수 있다. 특히 Touchstone의 최적화 프로그램을 이용하여 원하는 스펙트럼 특성을 갖는 다층 유전막의 각 두께 및 특성 임피던스 값을 구할 수 있으며 식 (2),(3)으로부터 각 유전막막의 굴절율을 구할 수 있다.

1. AR 막

유리기판위에 AR 막을 성장시킬 경우 이상적인 AR 막은 굴절율이 공기의 굴절율($n = 1$)에서 유리기판의 굴절율($n = 1.52$) 까지 연속적으로 변화하는 특성을 가져야 한다. 그러나 최소 굴절율 값이 1.46인 SiON을 이용하여 넓은 스펙트럼 영역에서 이상적인 AR 막을 만들 수 없다. 이상적인 단층 AR 막의 굴절율 n 의 값은 $n = (1 \times 1.52)^{1/2} = 1.23$ 으로서 이러한 특성을 갖는 물질은 없다. 이러한 경우 중심파장 λ 의 $1/4$ 길이인 $\lambda/4$ 두께의 유전막을 고유전율 박막과 저유전율 기판사이에 성장시키고 불균일 박막을 이용하면 좋은 AR 막의 특성을 얻을 수 있다. 일차적으로 AR 막의 두께 및 굴절율을 그림 3과 같이 우선 설계하여 보았다.

그림 3과 같이 Touchstone을 이용하여 굴절율이 연속적으로 변화하는 AR 막의 스펙트럼 응답 특성을 구하기 위하여 굴절율이 연속적으로 변화하는 박막을 그림 4 (a)와 같이 두께가 얇은 14층의 다층박막으로 나누었다. 계산된 스펙트럼 응답 특성을 그림 4 (b)에 나타내었다. 그러나 그림 4 (b)에 나타난 스펙트럼 응답 특성에서 볼 때 가시광선 영역에서의 대역폭이 넓지 못하므로 Touchstone Optimizer를 이용하여 AR 막의 반사 스펙트럼 응답 특성이 최적치를 갖도록 각

유전체 박막의 두께 및 굴절율을 구하였다. 이와같이 계산하여 구한 다층 AR 막의 굴절율 및 반사 스펙트럼 응답 특성을 그림 5에 나타내었다. 그림 4 (b)와 그림 5 (b)를 비교해 보면 그림 5 (b)의 경우에 가시광선 영역에서 반사 스펙트럼 응답 특성의 대역폭이 훨씬 넓어졌음을 알 수 있다.

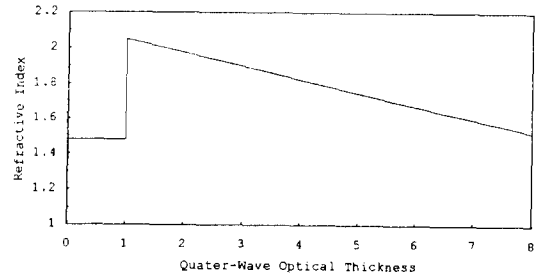
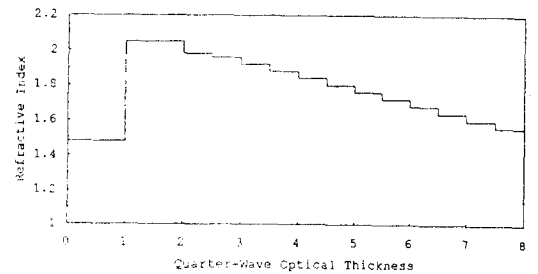
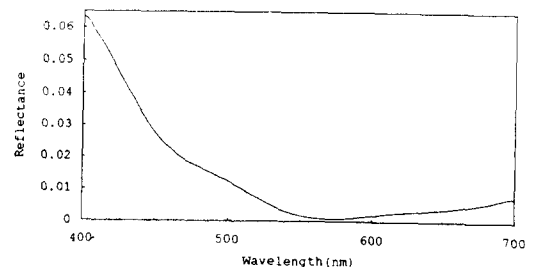


그림 3. 선형적으로 변화하는 불균일 AR 막의 위치에 따른 굴절율의 변화

Fig. 3. Refractive index profile of a linearly graded AR coating on a glass substrate.



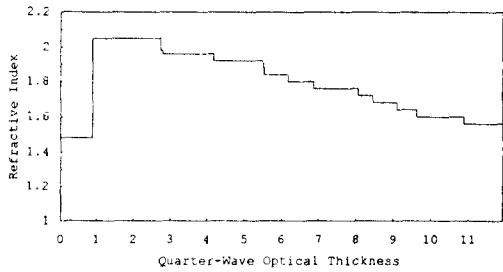
(a)



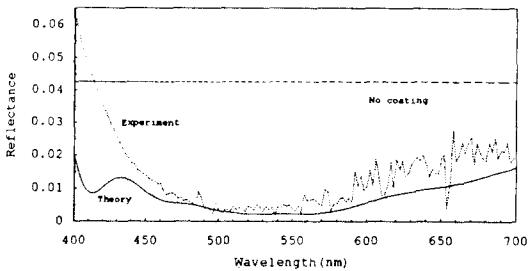
(b)

그림 4. (a) AR 막의 다층화 및 (b) 반사 스펙트럼 응답 특성

Fig. 4. (a) Discretization of the linearly graded AR coating in Fig. 3, and (b) calculated reflectance.



(a)



(b)

그림 5. (a) 최적화된 다층 AR 막의 굴절율 분포 및 (b) 반사 스펙트럼 응답 특성

Fig. 5. (a) Refractive index profile of Optimized multilayer AR coating and (b) Spectral response of calculated and measured. The straight line shows the glass reflectance without coating.

2. 다층 유전박막을 이용한 전계발광소자

박막 전계발광(thin-film electroluminescent : TFEL) 소자는 평판디스플레이의 화소를 구성하는 소자로서 그 구조는 그림 6과 같다. TFEL 소자는 Al electrode / first insulator / phosphor / second insulator / ITO / glass substrate로 구성되어 있다. 그림에서와 같이 금속전극과 ITO사이에 전압을 인가하면 phosphor층에서 빛이 생성되며 생성된 빛은 insulator, ITO, 및 glass substrate를 통하여 투과하게 된다.

TFEL 소자는 다층 박막구조로서 총 두께가 약 1 μ m 정도로서 빛이 TFEL 소자를 통과할 때 간섭 현상을 일으키게 되어 근본적으로 광필터라 할 수 있다. 이때 ITO, 형광체 또는 유전체막의 두께는 전계발광 디스플레이의 양산을 위하여 고정되어 있는 것이 보통이다. 상용 TFEL 소자의 두께 및 굴절율을 그림 7

(a)에 나타내었다. 그리고 이의 투과 스펙트럼의 이론적 특성을 그림 7 (c)에 나타내었다. 그림 7 (c)에서 알 수 있듯이 상용 TFEL소자는 가시광선 영역에서 TFEL 소자의 투과율이 75% - 90% 정도로서 이로 인하여 TFEL 소자의 광출력 효율이 저하된다. 이러한 TFEL 소자의 투과율을 향상시키기 위하여 상용 TFEL 소자 내의 유전체 박막을 다층구조로 설계하여 투과 스펙트럼 응답 특성을 계산하였다. Touchstone Optimizer를 이용하여 구한 다층 유전박막 TFEL 소자의 굴절율 분포 및 투과 스펙트럼 응답 특성을 그림 7 (b) 및 (c)에 나타내었다. 그림 7 (c)에서 알 수 있듯이 다층 유전박막을 이용하면 TFEL 소자의 광 투과율이 현저히 향상됨을 볼 수 있다.

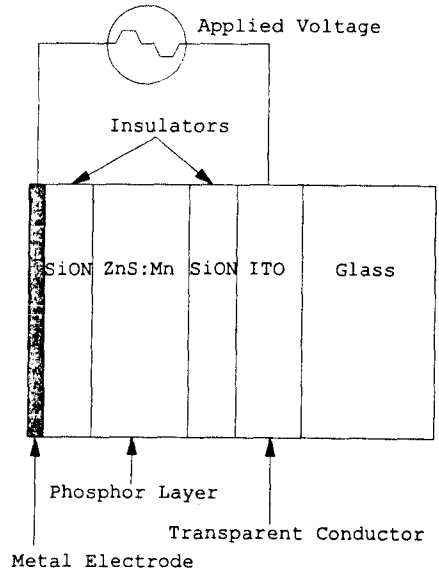
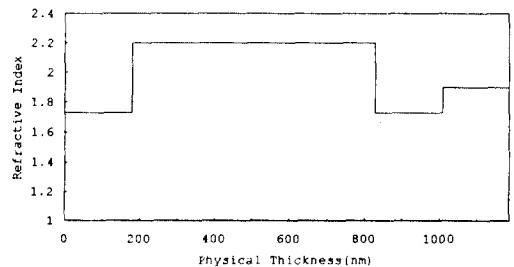
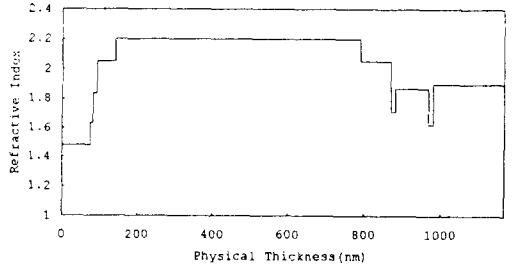


그림 6. 박막 전계발광소자의 구조

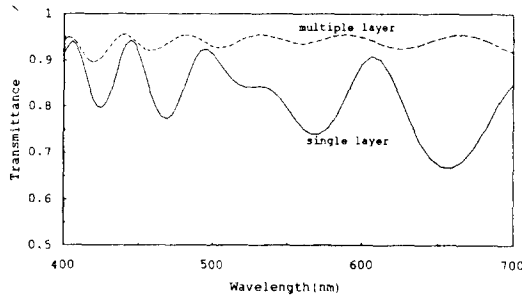
Fig. 6. Structure of a conventional TFEL device.



(a)



(b)



(c)

그림 7. (a) 단층 유전박막을 이용한 TFEL 소자의 굴절율 분포, (b) 다층 유전박막을 이용하여 설계한 TFEL 소자의 굴절율 분포 및 (c) 이들의 투과 스펙트럼 응답 특성

Fig. 7. TFEL device refractive index profiles for (a) a conventional single-layer dielectric structure, (b) an optimized multiple dielectric structure, and (c) the characteristics of calculated transmission spectra.

III. PECVD를 이용한 박막 유전체의 제작

Corning-7059 유리기판 위에 PECVD를 이용하여 다층 및 불균일 SiON 박막을 제조하였다. PECVD의 동작 주파수는 13.56 MHz, 유리기판의 온도는 300 °C, PECVD chamber 압력은 500 mTorr, 전력밀도는 165 mW/cm²의 값으로 공정 조건을 조절하였다. 다층 및 불균일 SiON 박막을 성장시키는데 사용한 기체는 Helium(He)으로 희석한 2%의 SiH₄, N₂ 및 He으로 희석한 5%의 N₂O이었다. He으로 희석한 반응기체를 이용하여 PECVD로 성장한 SiON 박막의 성능은 대단히 양호한 것으로 발표된 바 있다. 각각의

기체는 mass flow controller(MFC)를 통하여 일정한 flow rate로 PECVD chamber에 주입된다.

N₂O 기체는 N₂에 비하여 상당히 급히 반응하므로 적은 양의 flow rate 변화에 의한 굴절율 변화의 폭이 넓다. 이러한 이유로 인하여 SiH₄ 및 N₂의 flow rate는 일정하게 유지시킨 후 PAL-68000 컴퓨터를 이용하여 N₂O 기체의 flow rate만을 실시간으로 조절하였다. MFC의 flow rate는 인가전압에 의하여 조절이 가능하므로 컴퓨터를 이용하여 MFC의 인가전압을 조절함으로써 N₂O 기체의 flow rate를 조절하였다. N₂O 기체의 flow rate를 제외한 공정변수인 rf 전력, PECVD 내부의 압력, 기판온도, SiH₄ 및 N₂의 flow rate 들은 박막공정의 재현성을 향상시키기 위하여 일정한 값으로 유지하였다.

다층 및 불균일 SiON의 박막 두께에 따른 성분별 변화를 확인하기 위하여 Si 기판 위에 균일한 SiN 박막과 굴절율이 선형적으로 변화하는 SiON 박막을 성장시켰다. AES를 이용하여 불균일 SiON 박막의 두께에 따른 성분별 변화를 측정하여 균일한 SiN 박막과 비교하였다. 또한 N₂O 기체의 flow rate를 실시간으로 조절하여 다층 AR 막 및 TFEL 소자용 SiON 박막을 성장시켰다. TFEL 소자는 투명전극이 입혀진 2인치×2인치 크기의 Corning 7059 유리기판을 사용하여 제작하였다. 먼저 SiON 박막을 PECVD로 성장시킨 후에 진공증착기를 이용하여 ZnS:Mn 막을 성장시켰고 그 위에 다시 SiON 막을 다시 PECVD를 이용하여 성장시켰다.

IV. 결과 및 고찰

PECVD를 이용하여 Si 기판위에 성장시킨 균일한 SiN 박막 및 불균일 SiON 박막의 AES 분석 결과를 그림 8, 그림 9, 및 그림 10에 나타내었다. 그림 8의 SiN 박막에서는 Si 및 N의 성분이 두께에 따라 일정함을 알 수 있다. 컴퓨터를 이용하여 N₂O 가스의 flow rate를 매순간 변화시켜 가며 성장시킨 불균일 SiON 박막에서는 그림 9에서와 같이 O, 및 N의 성분이 두께에 따라 거의 선형적으로 변화함을 보여주고 있다. 컴퓨터를 이용한 초격자 구조와 같은 다층박막제작의 가능성을 보여주기 위하여 SiO₂ 8 층과 SiN 7 층을 Si 기판위에 교대로 성장시킨 후 AES를 이용하여 박막의 두께에 따른 성분 분석을 하였다.

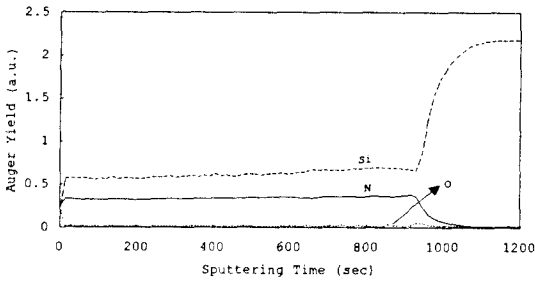


그림 8. 균일한 SiN 박막의 깊이에 따른 AES 분석결과

Fig. 8. Auger depth profile of a homogeneous SiN layer.

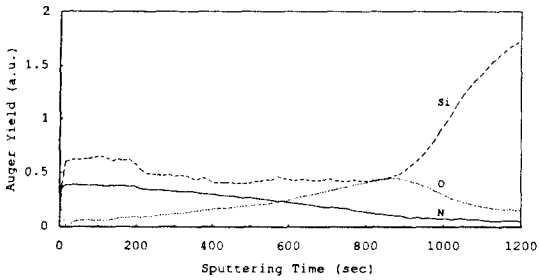


그림 9. 불균일 SiON 박막의 깊이에 따른 AES 분석결과

Fig. 9. Auger depth profile of an inhomogeneous SiON.

그림 10은 컴퓨터를 이용한 서로 다른 성질의 박막 성장을 정확히 조절할 수 있음을 보여주고 있다. 이때 AES 분석 결과를 나타내는 그림에서 O 및 N 성분은 급격히 변하지 않고 서서히 변하는 이유는 AES 실행 시에 박막내의 원자 일부분이 Ar 이온에 의한 sputtering에 의하여 더욱 깊이 들어가기 때문에 의한 것이다.

컴퓨터를 이용하여 반응가스의 flow rate를 실시간으로 조절하여 굴절율이 층마다 다른 14 박막층으로 이루어진 최적화된 AR 막을 PECVD를 이용하여 Corning 7059 유리기판 위에 성장시켰다. 성장된 AR 막의 총 두께는 약 1000 nm 이었다. 측정된 다층 AR 막의 반사 스펙트럼 응답 특성을 그림 5 (b) 나타내었으며 Touchstone으로 계산한 이론치와 잘 일치함을 알 수 있다. PECVD를 이용하여 성장된 SiON 박막의 굴절율은 1.46 - 2.05의 값만을 갖도록 제한되어 있으나 이를 이용하여 반사율이 가시광선 영역에서

0.5% 이하인 AR 막을 성장시킬 수 있었다.

단층 및 다층 유전박막을 이용한 TFEL 소자를 제작하여 이들의 광 투과 특성을 측정하였다. 측정된 단층 및 다층 박막 TFEL 소자의 투과 스펙트럼 응답 특성을 그림 11에 나타내었다. 단층 박막 TFEL의 경우에는 가시광선 영역에서 80% 이하의 투과율을 나타내고 있으나 다층 박막을 이용한 TFEL 소자의 투과율은 단층 유전박막 TFEL 소자의 경우보다 모든 영역에서 투과율이 향상되었음을 볼 수 있다. 단층 및 다층 유전박막을 이용한 TFEL 소자의 투과 스펙트럼 응답 특성은 이론치에 비하여 짧은 파장 쪽으로 약간 이동되어 있음을 알 수 있다. 이는 유전박막 이외의 ITO층 및 ZnS:Mn 층을 성장할 시에 이들의 두께가 약간 변했기 때문인 것으로 풀이된다. 그러나 전체적인 투과율의 향상에 의하여 TFEL 소자의 광출력이 향상될 수 있음을 알 수 있다.

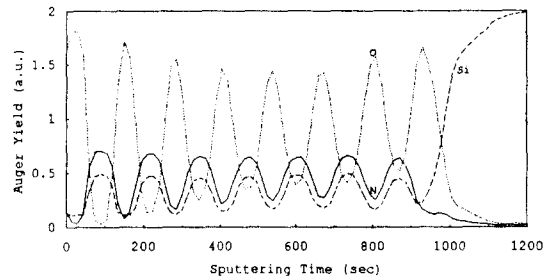


그림 10. 초격자 유전박막의 깊이에 따른 AES 분석결과

Fig. 10. Auger depth profile of a dielectric superlattice-like structure.

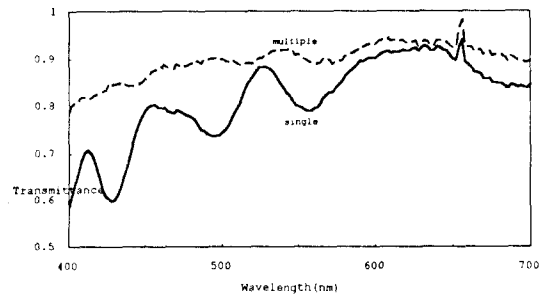


그림 11. 단층 및 다층 유전박막을 이용하여 제작한 TFEL 소자의 투과 스펙트럼 응답 특성

Fig. 11. Transmission spectral response of TFEL devices with single- and multi-layer dielectrics.

V. 결론

본 연구에서는 균일한 다층 유전체 박막 및 성분별로 연속적으로 변화할 수 있는 불균일 SiON 유전체 박막을 PECVD를 이용하여 반응가스의 flow rate를 컴퓨터로 실시간 조절함으로써 성장시킬 수 있음을 보였다. 균일한 SiN 박막, 굴절율이 박막의 두께에 따라 연속적으로 변하는 불균일 SiON 층 및 SiO₂ 와 SiN 층을 초격자와 같이 성장한 박막의 AES 분석 결과를 통하여 컴퓨터를 이용한 반응가스의 flow rate를 실시간 조절하여 각종 SiON 박막을 효과적으로 성장시킬 수 있음을 확인하였다. 이를 실제로 확인하기 위하여 다층구조의 AR 막 및 다층 유전체 박막을 이용한 TFEL 소자를 설계, 제작하여 스펙트럼 응답 특성을 측정하였다. 다층 AR 막의 스펙트럼 응답 특성은 이론치와 잘 일치하였다. 단층 및 다층 유전체 박막을 이용한 TFEL 소자의 경우 스펙트럼 응답 특성은 이론치에 비하여 짧은 파장쪽으로 이동하였으나 이는 TFEL 소자의 ITO 및 ZnS:Mn 층의 두께가 달라졌기 때문이라 생각된다. 그러나 TFEL 소자의 투과 스펙트럼 응답 특성은 전체적으로 향상되어 TFEL 소자의 광출력이 향상될 것을 기대할 수 있다.

이러한 다층 및 불균일 SiON 박막의 특성을 이용하여, 반사 스펙트럼 응답 특성 및 투과 스펙트럼 특성이 매우 우수한 AR 막 및 TFEL 소자를 구현하였다. 이외에 불균일 박막 광 도파로(optical waveguide), 굴절율이 sine wave 와 같이 변화하는 루게이트(rugate) 대역제거필터^[15] 등의 각종 공간선택필터를 PECVD 를 이용하여 제작할 수 있으리라 생각된다.

참고 문헌

- [1] J.T. Cox, G. Hass, and A. Thelen, "Triple-Layer Antireflection Coatings on Glass for the Visible and Near Infrared," *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 52, No.9, pp. 965-969, 1962.
- [2] I. Lubezky and A. Lubezky, "Practical design of double-layer antireflection coatings for high-index substrates," *Opt. Eng.*, Vol.22, No.6, pp.735-755, 1983.
- [3] H.A. Macleod, in *Thin-Film Optical Filters*, (Macmillan Publishing Co., New York, 1986).
- [4] A. Thelen, in *Design of Optical Interference Coatings*, (McGraw-Hill Inc., 1989).
- [5] R. Jacobsson, "Matching a Multilayer to a High Refractive Index Substrate by Means of an Inhomogeneous Layer," *J. Opt. Soc. Am.* Vol. 54, pp.422-423, 1964.
- [6] R. Jacobsson and J.O. Martensson, "Evaporated Inhomogeneous Thin Films," *Appl. Opt.* Vol.5, pp.29-34, 1966.
- [7] R. Jacobsson, in G. Hass, M. Francombe and R.W. Hoffman(eds.), *Physics in Thin Films, Vol.8*, (Academic Press, New York, 1975).
- [8] J.A.Dobrowolski and D.Lowe, "Optical Thin Film Synthesis Program Based on the Use of Fourier Transforms," *Appl. Opt.* 17, 3039-3050(1978).
- [9] P.G.Verly and J.A.Dobrowolski, "Iterative correction process for optical thin film synthesis with the Fourier transform method," *Appl. Opt.* Vol.29, pp.3672-3684, 1990.
- [10] R.Bertram, M.F.Ouellette, and P.Y.Tse, "Inhomogeneous Optical Coatings : an experimental study of a new approach," *Appl. Opt.* Vol.28, No.14, pp.2935-2939, 1989.
- [11] M.F.Ouellette, R.V.Lang, K.L.Yan, R.W.Bertram, R.S.Owles, and D. Vincent, "Experimental studies of inhomogeneous coatings for optical applications," *J. Vac. Sci. Technol. A* Vol.9, No.3, pp.1188-1192, 1991.
- [12] P.G.Snyder, Y.Xiong, J.A.Woolam, and G.A.Al-Jumaily, "Graded refractive index silicon oxynitride thin film characterized by spectroscopic ellipsometry," *J. Vac. Sci. Technol.A*, Vol.10, No.4, pp.1462-1466, 1992.
- [13] P.H. Berning, in *Physics of Thin Films*, edited by G. Hass, M. Francombe, and R.W. Hoffman, (Academic : New York, 1963).

- [14] P.Yeh, *Optical Waves in Layered Media*, (Wiley, 1988, p.166).
- [15] W.H.Southwell, "Spectral response calculation of rugate filters using coupled-wave theory," *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol.5, No.9, pp.1558-1564, 1988.

— 저 자 소 개 —

林 聖 奎(正會員)

1977年 2月 서울대학교 공과대학 전자공학과 학사. 1979年 2月 서울대학교 대학원 전자공학과 석사. 1993年 6月 Oregon State University 전기 및 Computer 공학과 Ph.D. 1979年 3月~1981年 1月 해군사관학교 전자공학과 교관. 1981年 5月~1982年2月 삼성전자 반도체사업부 주임연구원. 1982年 3月~1995年 현재 단국대학교 전자공학과 전임강사, 조교수, 부교수. 1986年 9月~1987年 1月 University of Arizona 연구교수. 1987年 2月~1987年 8月 Oregon State University 연구교수. 1993年 6月 - 현재 Member of Phi Kappa Phi. 주관심 분야는 Optical Interference Filter, Inhomogeneous Dielectrics, Optical Switches, Electroluminescent Displays, Field Emitter Displays, Phosphors for Flat Panel Displays 등임.