

광증폭기 응용을 위한 Er 첨가 실리카 유리 박막의 제조

김재선 · 신동욱 · 정선태* · 송영휘*

한양대학교 세라믹공학과

*삼성전자 광소재 사업팀

The fabrication of Er-doped silica film for optical amplifier

Jae Sun Kim, Dong Wook Shin, Sun Tae Jung* and Young Hwi Song*

Hanyang university, Dept. of Ceramic Engineering

*Samsung Electronics

(2001년 1월 4일 받음, 2001년 3월 31일 최종수정본 받음)

초 록 집적형 광증폭기는 대량생산이 용이하고, 단일 칩에 다기능의 광소자를 집적할 수 있다는 장점 때문에 활발히 연구되어 왔다. 본 연구에서는 수동형 집적광소자의 제작에 사용되는 화염가수분해증착법(FHD)을 이용하여 실리콘(Si)/실리카(SiO₂) 광도파관을 제작하고, 이 박막에 Solution Doping 법을 이용하여 Er³⁺를 첨가하여 광증폭 매질을 제작하는 연구를 수행하였다.

Abstract There have been many investigations and researches on PLC type of optical amplifiers because they are convenient for mass production and also can integrate multi-functional devices into a single chip. In this research, the fabrication of optical waveguide made of Si/SiO₂ by FHD(Flame Hydrolysis Deposition) for passive integrated optical devices and 1.5 μ m optical amplifier by Solution Doping method, which is one of the method doping Er³⁺ into the thin film, are mainly discussed.

Key words : FHD, Waveguide, Optical Amplifier, Solution Doping

1. 서 론

통신분야에서 광통신은 넓은 bandwidth를 사용하기 때문에 전자기기의 한계를 뛰어 넘는 엄청난 양의 데이터를 빠른 속도로 처리할 수 있게 해준다. 이러한 광통신망을 구성하기 위해서는 광신호의 증폭과 함께 도파, 분기, 합성하는 기능이 필수적으로 요구되며, 현재 이러한 기능은 섬유를 서로 녹여 연결하는 용착접속법에 의해 빛이 도파되는 경로를 유도하여 이루어지고 있다. 이러한 광섬유는 실리카(SiO₂)의 열적 안정성, 낮은 도파손실, 낮은 광분산 등의 장점으로 인해 사용되어지고 있으나 소자의 기능이 복잡해질수록 소자 제작의 어려움과, 부피의 증가, 그로 인한 높은 광손실과 소자의 생산비용이 높아진다는 단점을 가지게 된다. 따라서 이러한 단점을 보완하고자 대량생산이 가능하며, 저가적으로 소자를 만들어 내기 위해 만든 기술이 반도체의 집적기술을 이용한 평면광회로(Planar Lightwave Circuit:PLC) 제조 기술이며, 광증폭기에서도 이미 실용화되어 있는 EDFA(Er-Doped Fiber Amplifier)를 대체할 집적형 광증폭기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 연구 초기에는 주로 Nd³⁺ 첨가 광도파로의 제작에 대한 연구가 주를 이루었으나,¹⁾ 1.5 μ m 대역이 광통신이 주를 이룬 현재는 Er³⁺의 첨가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{2~5)} 이런 집적형 광증폭기는 기존의 반도체 공정을 그대로 응용하여 소형화함으로써 다른 광소자, 즉 광분배기, 스위치,

광결합기, 파장분할기 등을 하나의 실리콘(Si) 기판 위에 집적시킬 수 있는 중요한 장점이 있다. 실제 실리카 박막에 8000ppm의 Er³⁺가 첨가된 4.5cm의 다중모드 도파로를 제작하여 980nm Ti:sapphire laser 펌핑으로 49mW의 threshold를 측정된 결과도 있으며²⁾, Kitagawa는 0.5wt %의 Er³⁺을 첨가하여 평면형 광증폭기를 제작함으로써 0.65dB/cm의 이득을 얻기도 하였다.³⁾ 또한 Hattori 등은 980nm/1550nm의 multiplexer를 광증폭 도파로와 같이 집적함으로써 다기능의 소자제작이 가능함을 증명하였다.⁶⁾

광증폭용 평면 도파로의 제작 방법은 회토류 원소가 첨가된 유리기판에 이온교환법을 이용하여 도파로를 형성하거나⁷⁾, 회토류가 첨가된 타겟을 이용하여 스퍼터링법으로 박막을 증착하는 방법⁸⁾, 그리고 이온주입법으로 회토류를 직접 박막에 주입하는 방법이 있다.⁹⁾ 또한 EDFA를 제조하는 공정과 유사하게 화염가수분해증착법(Flame Hydrolysis Deposition:FHD)법에 의해 제조된 다공성 실리카에 회토류 원소 수용액을 이용하여 첨가하는 Solution Doping법¹⁰⁾, FHD공정에서 회토류 원소를 여타의 원료와 함께 첨가하는 Aerosol Doping법이 사용된다.¹¹⁾ 이와 같은 방법 중, Solution Doping법과 Aerosol Doping법이 여타의 방법에 비하여 균일한 박막 제작이 가능하고 조성과 굴절률의 조절이 자유로우며 실리콘 기판을 이용하므로 반도체 공정에서 축적된 각종 기술들을 이용할 수 있는 등, 장점이 월등히 많으므로 현재는 주류를 이루고 있다.

본 연구에서는 실리콘(Si)/실리카(SiO₂) 광도파관을 제작하고 이 박막에 Er³⁺를 첨가하여 광증폭 매질을 제작하고 광증폭 특성을 조사하여 집적형 광증폭기 제작에 응용하고자 한다. 일반적으로 광결합기, 광분배기, 파장분할기 등의 수동형 집적소자를 제작하는 데 사용되는 공정은 일반적으로 FHD법이 사용된다. 이 공정은 실리콘의 원료인 SiCl₄를 기상화시켜 산소와 수소의 혼합물에 의해 생성되는 고온의 화염에 공급함으로써 고온 수화반응(Hydrolysis)과 산화반응(Oxidation)을 통해 실리카(SiO₂)를 형성하는 방법이다. 이러한 공정을 거쳐 제조된 실리카 박막에 Er³⁺를 첨가하는 방법은 상대적으로 쉽고 빠르게 개발이 가능한 Solution Doping법을 시도하였다. Solution Doping법은 다른 Doping방법과 광증폭 특성이 큰 차이가 없는 반면 상대적으로 용이하고 저렴한 공정이어서 실제로 광섬유 증폭기용 광섬유를 제작하는 공정으로 사용되고 있다.¹²⁾

2. 실험 및 분석방법

2-1. Er 첨가 실리카 박막의 제조

실험에 사용한 시편은 FHD법으로 증착한 실리카 다공성 입자(soot)로 Ge, B, P를 첨가한 core조성으로써 실리콘 기판위에 undercladding 층이 있는 경우와 없는 경우로 각각 나누어 증착한 것이다. 증착된 시편의 보관은 대기중의 오염물과 수분의 흡착을 막기 위해 진공데시게이터에서 보관하였다. 실리카 soot의 제조공정은 반응물질들을 bubbling하여 Ar가스로 운반하였으며, 각 유량을 MFC(Mass Flow Controller)로 조절함으로써 각 첨가물의 농도를 조절하여 산,수소 torch까지 전달하여 실리콘 기판위에 증착하였다. BCl₃같은 경우는 상온에서 기체이므로 bubbling 장치를 거치지 않는다.

실리콘 기판위에 증착된 실리카 soot는 고온의 열처리에 의해 치밀한 광도파막이 만들어진다. 실제 광섬유 제조공정에 있어 광섬유 모재용 soot의 경우 약 1500℃에서 소결이 이루어지나¹³⁾, FHD법에 의해 증착된 실리카 soot의 경우 상대적으로 평형 증기압이 높은 첨가물인 B₂O₃, P₂O₅의 첨가로 인해 1300℃ 이하의 소결온도에서도 고밀도의 광도파막을 제조할 수 있다.¹⁴⁾ 소결의 양상은 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받는다. 소결로 내의 온도분포 및 분위기 그리고 시편을 넣는 카세트의 재료와 디자인이 주요요인이다. 또한 시편을 담는 카세트는 우선 heat shield의 역할을 하므로 카세트의 재료에 따른 열복사 정도(emissivity)가 다르므로 시편이 느끼는 실질적인 온도를 결정하는데 매우 중요한 역할을 한다. 카세트의 개방성 여부는 첨가물(B₂O₃, P₂O₅)의 증발에 의한 시편 주위의 기상농도의 차이를 제공하므로 소결온도에 영향을 미치게 된다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 카세트의 디자인으로 석영유리판 2개를 3개의 다리로 지지하고 실리콘 기판을 삽입하여 그 위에 시편을 놓아 소결공정에 사용하였다. 이와 같은 개방형 카세트의 경우 폐쇄형 카세트의 경우보다 시편 주위의 기상농도가 작으므로 높은 소결온도를 요구한다. 그러나 상대적으로 증기압이 높은 성분의 증발 후 재흡착 확률이 낮으므로 양호한

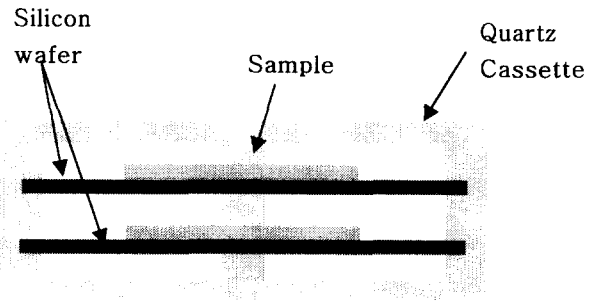


Fig. 1. Sample cassette used in the experiments.

박막을 얻는데 유리한 것으로 파악되었다.

소결공정은 앞에서 언급한 것을 바탕으로 1300℃ - 1330℃ 정도의 소결온도 범위에서 최적의 소결조건을 선정하고자 하였으며, 소결공정의 승온과정은 200℃와 450℃에서 2-3시간동안 유지함으로써 시편의 표면에 흡착된 불순물 및 흡착수를 완전히 제거하고, 소결온도인 1330℃에서 30분간 유지하여 결정화를 최소화할 수 있는 조건을 찾았다. Er³⁺의 첨가는 solution doping 방법을 사용하였다.

Solution doping 방법은 기존의 EDFA(Er³⁺-Doped Fiber Amplifier)를 제조할 때 사용하는 solution doping법을 그대로 응용한 것으로 에탄올에 ErCl₃·6H₂O 분말을 녹여 Er용액을 제조하고 증착된 시편을 담겨 Er³⁺를 첨가하는 방법이다. 본 실험에서는 Er³⁺ 용액의 농도를 각각 0.08wt%, 0.1wt%, 0.2wt%, 0.5wt%를 사용하였으며 시편을 위와 같이 만든 용액에 24시간동안 담근 후, 24시간동안 건조하였다. 함침시간을 24시간동안 한 것은 용액이 다공성입자 사이를 충분히 확산할 수 있도록 하기 위함이며, 실리카 박막 내에 Er³⁺의 첨가량은 용액의 농도를 통해 조절하였다.

Solution doping 방법을 사용할 때 사전처리 없이 증착된 실리카 다공성입자를 용액에 담그게 되면 다공성입자가 물리적으로 용해되어지는 현상을 보인다. 따라서 실리카 soot를 특정온도에서 열처리함으로써 적절한 응집력을 부여해야 한다. 그 열처리 공정을 Pre-sintering이라 하고, 800℃ - 1000℃의 범위에서 30분간 열처리하였다. Pre-sintering의 적절한 온도 결정은 SEM 이미지를 통하여 입자간의 고체 가교의 형성 정도를 시각적으로 확인하여 결정하였다.

2-2. 결정상 확인

제조된 Er³⁺ 첨가 실리카 박막의 결정화 유무와 소결양상을 알아보기 위하여 우선 광학현미경(OLYMPUS BX60)으로 실리카 박막의 표면상태를 시각적으로 확인하였으며, XRD분석을 통해 결정화의 정도를 판단하였다. FHD에 의해 증착된 실리카 soot의 소결과정에서 생기는 주된 결정상은 cristobalite이다.¹⁵⁾ 이러한 결정상은 실리카의 비정질상과 열팽창률이 다르므로 결정상이 발생되었을 경우 시편의 표면에 균열이 생성된다. XRD 측정전압은 30kV, 전류는 100mA, 측정범위는 10° - 60°, scan 속도는 2°/min, step size는 0.056°로 하였다. XRD를 통해 검출할 수 있는 결정상의 양은 약 1wt% 이상이며, 만약 XRD

를 통해 결정상 peak를 검출하지 못했다는 것은 박막내의 결정상의 양이 1wt% 이하라고 결론지을 수 있다.

2-3. 박막의 조성분석

본 연구에서 제조된 Er^{3+} 첨가 실리카 박막 내의 Er^{3+} 의 농도를 측정하기 위하여 RBS (Rutherford Back-scattering Spectrometry) 정량 분석하였다. 본 측정에서 사용된 RBS의 이온빔은 He 이온이며, Tandem방식의 Pelltro (NEC 6SDH2)로 가속하여 시편을 측정하였다. 가속전압은 2MeV이며, He 이온의 전하량(charge)은 $20\mu C$, 입사각도는 0° , 산란되는 각도인 ϕ 는 10° 으로 하여 RBS 실험데이터를 얻었다. 측정된 실험치는 시뮬레이션 결과와 비교함으로써 Si, Ge, O, Er 이온의 농도를 분석하였다. 소결된 시편의 경우 박막 내에 포함된 B, P의 농도는 아주 작으므로 정량 측정을 할 수 없었다. 따라서 B, P의 농도는 ICP-AES 분석결과를 바탕으로 하여 1.14wt%, 0.29wt%로 RBS의 peak가 변화되지 않는 범위내에서 고정하였다.

본 연구에서 박막의 정량분석 목적은 용액의 농도에 따라 박막에 첨가되는 Er^{3+} 의 농도를 분석하는 것이었으며 Er^{3+} 의 경우는 원자가 아주 크고 무거운 peak이 높은 에너지 영역에서 정확히 분리되므로 RBS분석을 통해서 0.08wt%의 농도까지 측정 가능하였다.

2-4. Er 첨가 실리카 박막의 두께 및 굴절률 측정

본 실험에서 제조된 실리카 박막의 두께 및 굴절률의 측정은 집광광학소자의 다양한 실험에 사용되는 prism cou-

pler법을 사용하여 측정하였다. 사용된 prism coupler는 METRICON MODEL 2010 Prism Coupler이며, 파장은 632nm와 1550nm를 사용하였고 프리즘의 굴절률 632nm에서 1.9648, 1550nm에서 1.9345였다.

2-5. 형광측정

각기 다른 농도의 Er를 첨가하여 제조한 시편의 형광의 파장과 세기를 비교하고자 형광스펙트럼을 측정하였다. Ti-sapphire tunable laser (CW, 980nm, 460mW)로 펌핑하여 Er^{3+} 를 기저준위에서 ${}^4I_{11/2}$ 준위까지 펌핑시켰으며 ${}^4I_{13/2}$ 준위에서 기저준위까지 천이하여 나오는 형광을 1/4m monochromator (Oriel사)로 파장을 선택하였고, 이 monochromator를 통과하는 형광을 InGaAs (Hamamatsu사) PIN detector로 측정하였다. 또한 검지기에 감지된 신호를 증폭시키기 위하여 Lock-in-amplifier (Oriel사)를 사용하였다.

3. 결과 및 논의

3-1. Pre-sintering 조건의 결정

Solution doping 공정시 앞에서 언급한 것과 같이 사전 처리가 없는 경우 물리적으로 용해되어지는 현상을 보이게 되므로 특정온도에서 열처리함으로써 응집력을 부여하여야 한다. Fig. 2는 pre-sintering 공정을 거친 시편의 SEM 이미지이다. 여기서 $800^\circ C$ - $900^\circ C$ 까지는 시편의 고체 교의 형성 정도의 차이는 없었으나 $1000^\circ C$ 에서는 이미 치밀화 과정이 일어나고 있는 것을 알 수 있다. Pre-sinter-

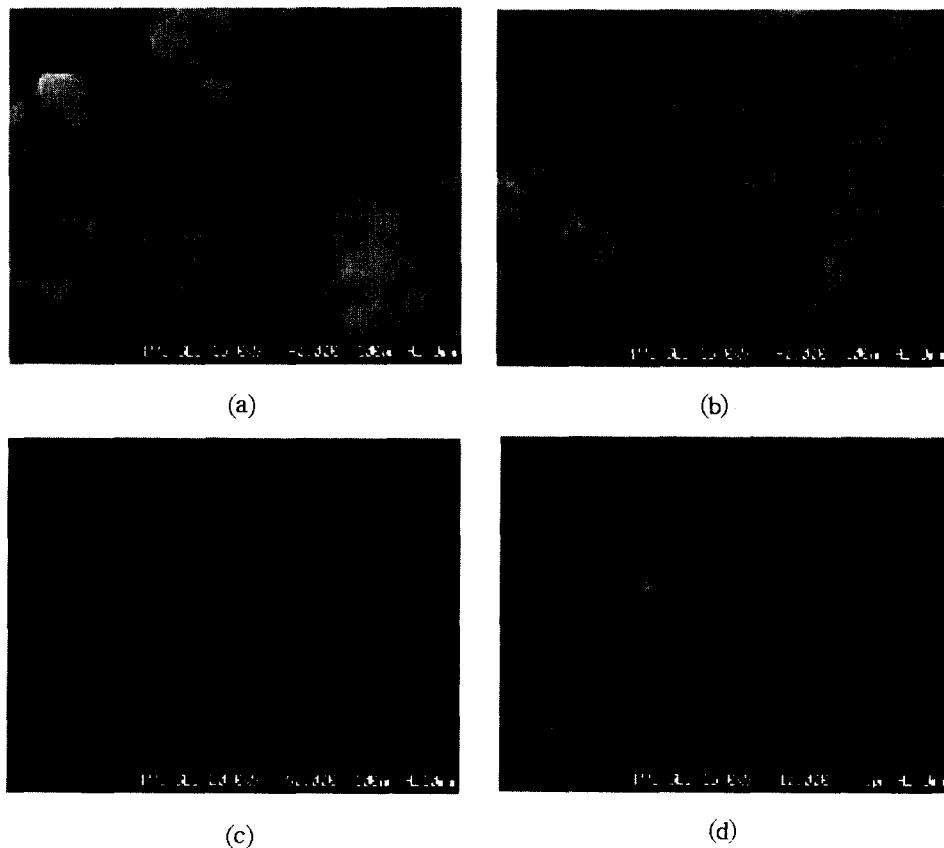


Fig. 2. FE-SEM images of pre-sintered soots. Soots were sintered at (a) $800^\circ C$ (b) $900^\circ C$ (c) $950^\circ C$ (d) $1000^\circ C$ respectively.

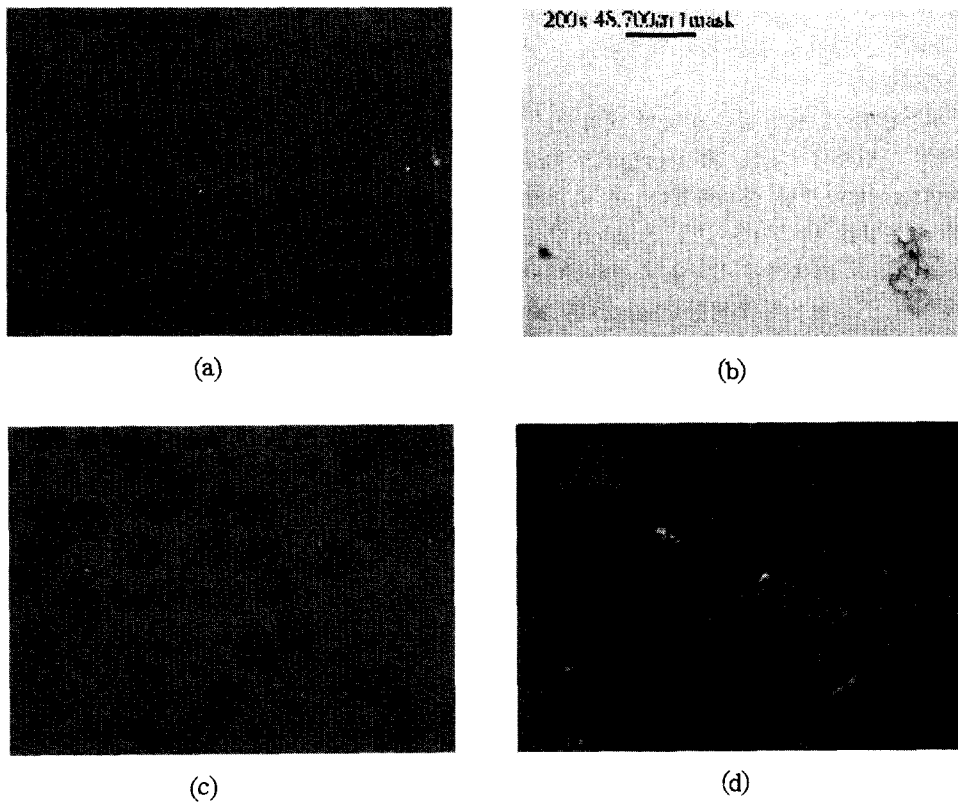


Fig. 3. Optical microscope images of Er-doped silica film sintered at 1200 . (a) 0.1wt% (b) 0.5wt% (c) 1.0wt% (d) 1.5wt% Er³⁺ solution.

ing의 목적은 시편을 용액에 담글 때 실리카 soot가 분해되지 않도록 최소한의 기계적 강도를 부여하는 것이므로 지나친 열처리용액의 입자간의 접촉면적을 감소시켜 효율적이고 균일한 Er³⁺의 첨가를 방해하므로 피해야 한다. 따라서 본 연구에서는 950°C를 적절한 pre-sintering 온도로 결정하였다.

3-2. Er 첨가 시편의 첨가농도에 따른 소결양상

FHD에 의해 증착된 시편의 소결양상은 실리카를 기반으로 하는 광도파로의 광학적 성질을 결정하는 중요한 역할을 한다. 이러한 소결양상은 소결온도, 승온속도, 그리고 소결로 내의 분위기에 영향을 받으며, 또한 대기 중의 먼지, 수증기와 산소 뿐만 아니라 증착된 시편의 hydroxyl의 함량, 소결과정 중에서 발생하는 반응생성물의 재흡착 등은 박막 표면에 결함을 야기시키고, 결정화에 영향을 미친다. Er³⁺ 첨가 시편의 소결양상은 Er³⁺을 첨가하기 전의 소결시편에 비하여 결정화의 경향이 커진다. 이러한 이유는 Er³⁺을 첨가하는 solution doping 공정시 Er³⁺ 용액 내의 물성분과, 기타 오염물의 표면흡착으로 인한 것으로 생각된다. 또한 첨가된 Er³⁺의 농도가 높을 경우 실리카 soot 사이로 충분히 확산되지 못한 잉여의 Er이 표면에 물리적으로 흡착하여 소결과정 중에 결정상의 핵형성 자리(nucleation site) 역할을 하므로 Er³⁺용액의 농도 또한 소결양상에 중요한 요인일 것으로 사료된다.

Er³⁺용액의 농도에 따른 소결양상을 알아보려고 하기 다른 농도의 Er³⁺용액을 사용하여 solution doping을 하고,

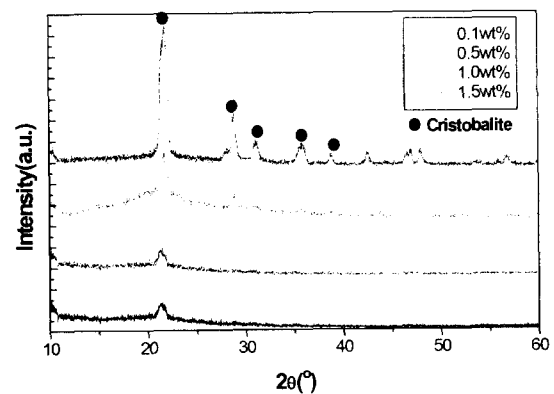


Fig. 4. XRD patterns of Er-doped silica film sintered at 1200°C. (a) 0.1wt% (b) 0.5wt% (c) 1.0wt% (d) 1.5wt% Er³⁺ solution.

패쇄형 카세트를 사용하여 1200°C에서 소결공정을 행하였다. Fig. 3의 광학현미경 이미지와, Fig. 4의 XRD 분석 결과는 Er³⁺용액의 농도가 증가할수록 결정화 현상이 뚜렷하게 나타나는 것을 보이고 있으며, Er³⁺용액이 1.0wt% 이상의 농도의 경우 박막의 결정화로 인하여 표면에 균열이 생성되는 것을 시각적으로 확인할 수 있었으며, XRD 분석 결과에서도 결정상(cristobalite) 피크가 뚜렷이 나타나는 것을 알 수 있었다.

본 실험에서 패쇄형 카세트의 경우 앞에서 설명한 것과 같이 상대적으로 증기압이 높은 첨가물(B, P)의 증발 후 재흡착의 영향으로 인하여 양호한 박막을 얻기 어려우므로 개방형 카세트를 사용하여 1330°C에서 소결공정을 행하였

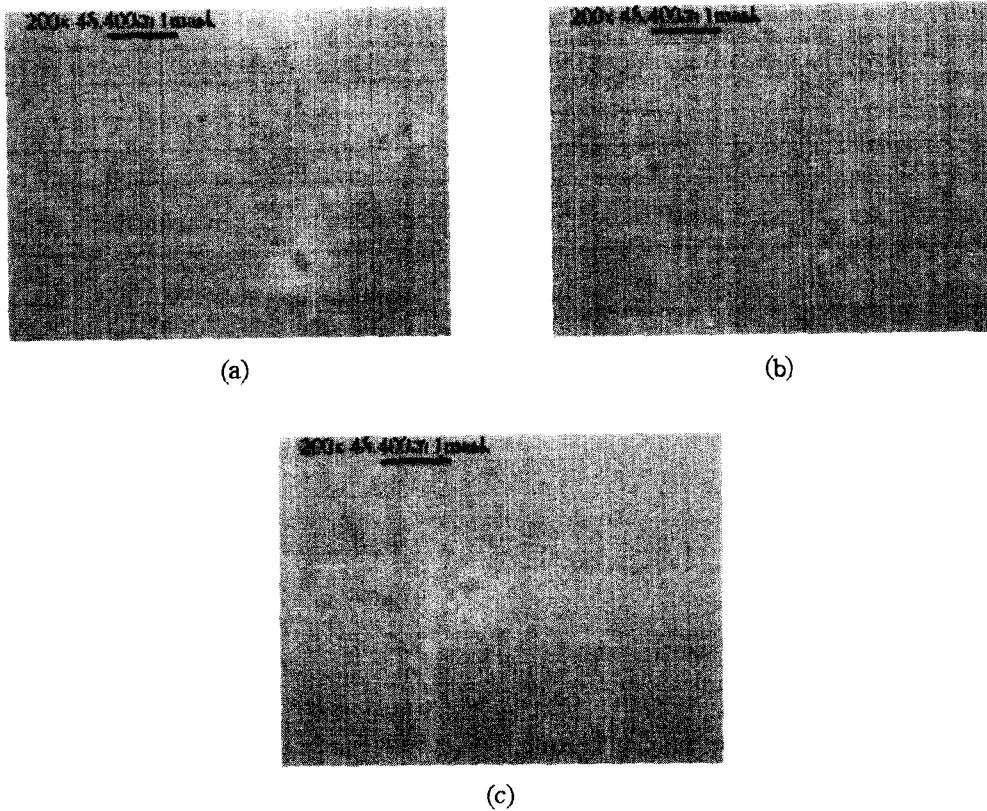


Fig. 5. Optical microscope images of Er-doped silica film sintered with open cassette. (a) 0.08wt% (b) 0.1wt% (c) 0.2wt% Er³⁺ solution.

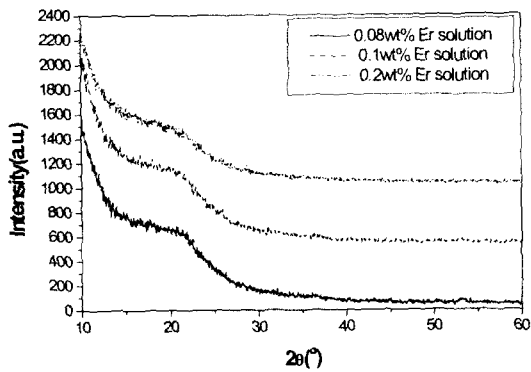


Fig. 6. XRD patterns of Er-doped silica film sintered with open structure.

다. Fig. 5와 Fig. 6의 광학현미경 이미지와 XRD pattern을 통해 알 수 있듯이 Er³⁺ 용액의 농도가 0.2wt%까지는 결정상이 관찰되지 않는 양호한 박막을 제조할 수 있었으며, 광증폭용 도파로로의 응용이 가능함을 확인하였다.

실리카 박막 내에 Er³⁺의 농도는 RBS 정량분석을 통해 측정할 수 있었다. RBS 측정에 있어서 Er, Si, O, Ge의 경우는 우선 원자가 크고 무겁거나, 박막 내의 농도가 아주 높으므로 입사한 He 이온이 충돌할 확률인 stopping cross section이 커서 peak가 뚜렷이 구분되기 때문에 시뮬레이션을 통해 정확한 농도를 구할 수 있었다. 시뮬레이션은 실리카 박막의 표면으로부터 내부로 16개층으로 각

각 나누어서 각 층의 농도를 정해줌으로써 이루어졌으며, B와 P의 경우는 앞에서 설명한 것처럼 ICP-AES로 분석한 결과를 바탕으로 각 층마다 각각 1.14wt%, 0.28wt%로 peak의 변화가 없는 범위 내에서 고정하였다. Si, O, Er의 경우는 fitting시 대체로 각 층간의 농도차가 없었으나 Ge의 경우는 표면의 농도가 내부의 농도보다 작게 나타나는 것을 Fig. 7을 통해 알 수 있었다. 이러한 이유는 시편의 소결과정은 약 1300℃의 고온에서 이루어지므로 표면에 증기압이 높은 GeO₂가 증발하기 때문인 것으로 생각된다. 이와같은 결과로 보아 Ge의 농도차이로 인하여 표면과 내부의 굴절률차가 있을 것으로 추측된다.

시뮬레이션 결과를 산화물 농도로 전환하여 Table 1에 나타내었다. 이 결과로 보아 Er³⁺ 용액의 농도와 실제 실리카 박막 내에 Er³⁺의 농도는 다른 것을 알 수 있으나 Er³⁺ 용액의 농도가 증가함에 따라 박막 내에 첨가된 Er³⁺의 양은 증가한다는 것을 알 수 있었으며, 증가하는 양상이 선형적이라는 것을 Fig. 8에서 알 수 있었다. 즉, solution doping법을 통해 Er³⁺ 용액의 농도를 조절함으로써 박막내의 Er³⁺의 첨가량을 조절할 수 있었다.

3-2. Er 첨가 시편의 굴절률 및 두께

광증폭용 유리의 경우 보통 희토류 이온이 첨가될 경우 그 함량에 따라서 굴절률이 증가하는 것으로 알려져 있으며¹⁶⁾, 본 실험에서도 Fig. 9에서 보는 바와 같이 Er³⁺ 용액의 농도에 따라서 굴절률이 증가하는 양상을 보이고 있다. (a)의 경우는 undercladding 층이 없는 경우이며, (b)의

Table 1. Concentration of elements in Er-doped silica film by RBS analysis.

	0.08wt% Er sol.(wt%)	0.1wt% Er sol.(wt%)	0.2wt% Er sol.(wt%)	0.5wt% Er sol.(wt%)
SiO ₂	88.36	87.50	87.97	87.54
GeO ₂	5.44	5.80	5.43	5.33
P ₂ O ₅	0.94	1.01	0.98	1.04
B ₂ O ₃	5.18	5.57	5.44	5.73
Er ₂ O ₃	0.08	0.12	0.18	0.36

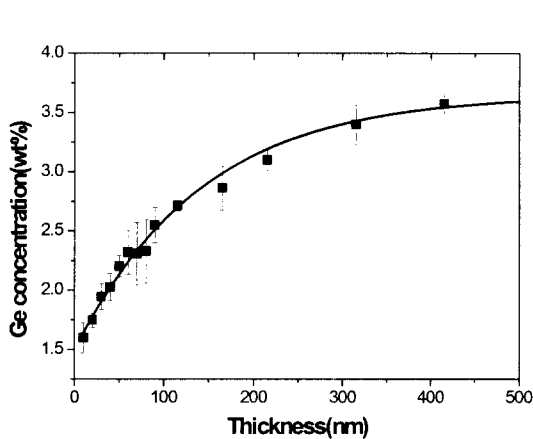


Fig. 7. The variation of Ge concentration in film as a function of distance from the surface.

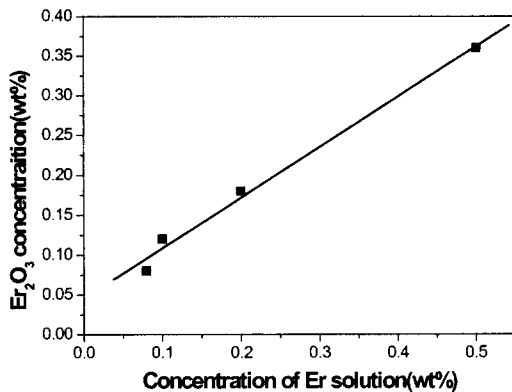


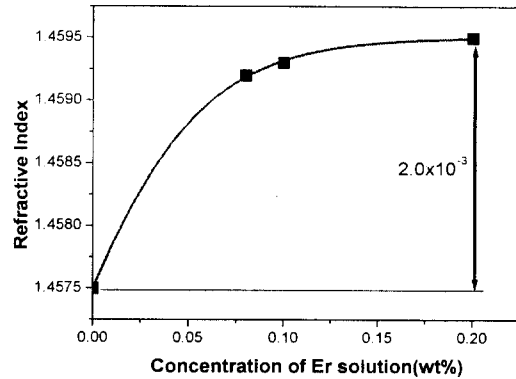
Fig. 8. The changes of Er₂O₃ concentration in silica film at various Er solution.

경우는 undercladding층이 있는 경우이다.

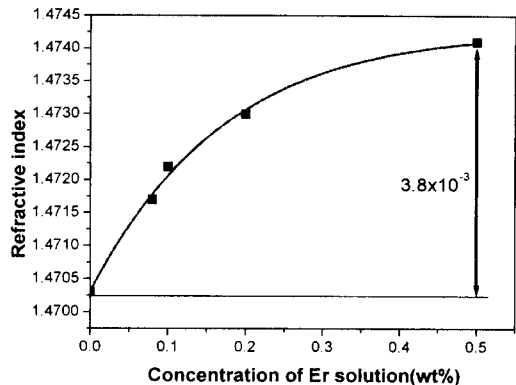
본 실험에서 두 가지 경우 모두 Er의 첨가량에 따라 굴절률이 증가하는 양상을 보이며, 0.5wt%의 Er³⁺ 용액 정도에서는 굴절률의 증가가 포화되는 양상을 보이고 있다. 굴절률이 증가하는 이유는 Er³⁺ 용액의 농도가 증가함에 따라 이온반경이 큰 원소의 첨가로 인한 유리 내의 구조적인 변화가 있기 때문으로 생각된다. 문중하 등은 그러한 구조적인 변화로 인하여 비가교 산소이온의 분극률이 증가한다고 설명하였다.¹⁷⁾ 굴절률의 증가가 포화되는 현상은 좀 더 연구가 필요할 것으로 생각된다.

3-3. 형광스펙트럼

Fig. 10은 본 연구에서 제조된 Er³⁺ 첨가 실리카 박막의 형광스펙트럼을 나타내었다. 형광스펙트럼의 주 피크는 undercladding이 없는 경우 1542nm와 1529nm에서 나타



(a)



(b)

Fig. 9. Refractive index changes with various Er³⁺ concentration (a) without undercladding layer($\lambda = 1550\text{nm}$) (b) with undercladding layer($\lambda = 632\text{nm}$).

나고 있으며, undercladding이 있는 경우 1532nm에서 나타났다. 이를 각각 F2, F1, F6으로 표시하였다. 이러한 표기는 Er³⁺가 SiO₂-Al₂O₃의 기지 재료에 첨가되었을 경우 각각의 stark levels와 그에 따른 형광스펙트럼¹⁸⁾에 비교하여 사용한 것이다. 이 결과로 볼 때 실리카 박막 내에 Er³⁺이 충분히 첨가되어 Er³⁺ 이온으로 존재하여 형광준위를 형성함을 알 수 있었으며, Er³⁺의 첨가 농도에 따라 주 피크의 세기가 증가함을 알 수 있었다.

Fig. 10에서 (a)의 경우는 undercladding층이 없는 경우이며 (b)의 경우는 undercladding층이 있는 경우이다. 같은 조건에서 제조한 Er³⁺첨가 실리카 박막이라도 undercladding층의 유무에 따라서 형광스펙트럼의 주 피크의 위치인 F2와 F6가 약 10nm의 범위에서 조금씩 다른 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 undercladding층이 없는 경우와 있는 경우는 core층 내에 잔류하는 응력의 차이가 발생하며 따라서 기지재료의 구조적 변화와 이로 인한

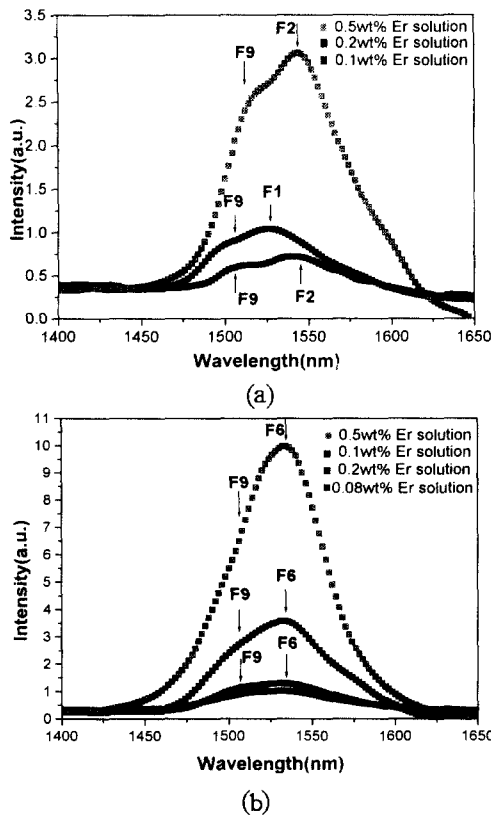


Fig. 10. Fluorescence spectra of Er-doped silica film (a) without undercladding layer (b) with undercladding layer.

Er³⁺의 stark level의 변화 때문인 것으로 생각된다.

앞에서 비교한 SiO₂-Al₂O₃를 호스트 재료로 한 EDFA의 경우의 형광스펙트럼과 본 연구에서 제조된 시편의 형광스펙트럼과 주 피크의 위치가 다르며 형광 스펙트럼의 형태가 다른 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 기지 재료의 조성의 차이로 인하여 Er³⁺ 주위 기지 재료의 구조가 변하게 되고 그에 따라서 Er³⁺가 형성하는 에너지 준위의 stark levels가 차이를 나타내기 때문으로 설명할 수 있다.¹⁸⁾ 따라서 FHD법은 광섬유에 비하여 각 첨가물의 조성을 비교적 자유롭게 바꿀 수 있으므로 이 조성 변화를 통하여 형광 또는 증폭 특성을 설계할 수 있는 가능성이 높다. 본 연구에서 측정된 형광스펙트럼으로 보아 이와 같은 조성의 기지재료는 광증폭기의 중요한 응용 중의 하나인 이득 평탄화에 응용할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

Er³⁺ 첨가 실리카 박막의 소결공정은 1300°C-1330°C에서 열처리 함으로써 양호한 박막을 얻을 수 있었다. 또한 RBS 정량분석을 통해 실리카 박막에 첨가된 Er³⁺의 농도를 구할 수 있었으며, solution doping법을 통해 Er³⁺용액의 농도를 조절함으로써 실리카 박막 내 Er³⁺의 농도를 제어할 수 있었다.

Prism coupler법을 통해 본 연구에서 제작된 시편의 굴절률을 측정하였으며, 그 결과 Er³⁺의 농도에 따라서 굴절률이 증가함을 확인할 수 있었다. 형광측정을 통해 실리카

박막내의 Er³⁺ 이온은 3가 이온으로 존재하여 ⁴I_{13/2}로부터 ⁴I_{15/2}로의 전이에 의해 나오는 형광을 확인할 수 있었다. 이 형광스펙트럼을 통해 SiO₂-GeO₂-P₂O₅-B₂O₃조성의 실리카 박막에서의 형광형태가 기존의 EDFA의 형광형태와는 다소 다른 것을 알 수 있었으며, 각 stark levels에 따른 형광 크기가 달라 이 기지 재료의 조성을 이용하여 광증폭기를 제작할 경우 이득 평탄화에도 응용할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구에서 형광스펙트럼 측정을 위해 장비사용을 허락하신 포항공대 허종교수님께 감사드리며, 본 연구는 삼성전자의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Y. Hibino, T. Kitagawa, M. Shimuzu, F. Hanawa, and A. Sugita, IEEE photonics Tech. Lett., 1 (11), 349 (1989).
2. T. Kitagawa, K. Hattori, K. Shuto, M. Yasu, M. Kobayashi and M. Horiguchi, Elec. Lett., 28 (19), 1818 (1992).
3. K. Shuto, K. Hattori, T. Kitagawa, Y. Ohmori and M. Horiguchi, Elec. Lett., 29 (22), 139 (1993).
4. T. Kitagawa, K. Hattori, K. Shuto, M. Oguma, J. Temmyo, S. Suzuki and M. Horiguchi, Proc. ECOC '93, Montreaux, Sep. 12-16, 41 (1993).
5. J. Shmulovich, A. Wong, Y.H. Wong, P.C. Becker, A.J. Bruce, and R. Adar, Elec. Lett., 28 (13), 1181 (1992).
6. K.Hattori, T. Kitagawa, M. Oguma, Y. Ohmori, and M. Horiguchi, Conf. of Optical Fiber Comm., OFC '94 Technical Digest, 280 (1994).
7. N.A. Sanford, K.J. Malone, D.R. Larson, and R.K. Hickernell, Opt. Lett., 16 (15), 1168 (1991).
8. J. Shmulovich, A. Wong, Y.H. Wong, P.C. Becker, A.J. Bruce, and R. Adar, Elec. Lett., 28 (13), 1181 (1992).
9. A. Polman, J. of Appl. Phys., 82 (1), 1 (1997).
10. T. Kitagawa, K. Hattori, M. Shimizu, Y. Ohomori, and M. Kobayashi, Elec. Lett., 27 (4), 334 (1991).
11. R. Tumminelli, F. Hakimi, J. Haavisto, Opt. Lett., 16 (14), 1098 (1991).
12. J.E. Townsend, S.B. Poole, D.N. Payne, Elec. Lett., 23 (7), 329 (1987).
13. S. Sudo, T. Edahiro, M. Kawachi, Transactions of the TECE Japan, E62, 731 (1980).
14. G.W. Scherer, T. Garino, J. Am. Cer. Soc., 68 (4), 216 (1985).
15. G. Barbarossa, Ph. D, Planar silica optical device

- technology*, Thesis, Giovanni Barbarossa, MCMXCII (1992)
16. J.E. Shelby, *Rare Elements in glasses*, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland (1994).
17. 문종하, 정형근, 이정우, 박강희, 박현수, 김병훈, J. of the Kor. Cer. Soc., **37** (2), 177 (2000).
18. S. Sudo, *Optical Fiber Amplifiers: Materials, Devices, and Applications*, Artech House, Inc., Norwood, MA (1997).