

## 비선형 거울층을 가진 비선형 etalon의 광쌍안정 특성

신동섭 · 김덕봉 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

김 선 호

한국과학기술연구원 정보전자연구부

(1998년 11월 21일 받음, 1998년 3월 11일 수정본 받음)

본 논문에서는 비선형거울층(비선형 물질을 포함하고 있는 거울층)을 가진 비선형 etalon이 광쌍안정 특성을 가지며, 선형거울층을 가진 비선형 etalon보다 더 낮은 전력에서 스위치될 수 있음을 보였다.

### I. 서 론

현대사회에 필수적인 정보의 양이 크게 증대됨에 따라 많은 정보를 보다 빠른 속도로 다룰 수 있는 기술이 요구되고 있다. 이에 따라 최근 전세계적으로 광정보처리 시스템에 대한 연구가 활발해지고 있다. 이에 따라, 데이터를 광학적으로 처리하는 방법에 대한 관심이 증대되고 있다. 광컴퓨터나 광정보처리 시스템등과 같은 빛을 이용하여 많은 양의 계산이나 정보를 처리하는 시스템을 구현하고자 할 때 디지털 논리소자의 광학적 구현이 요구된다. 이 논리소자는 하나 또는 여러 개의 광입력에 대해서 두 개의 출력상태 중의 한 상태를 광출력으로 내보낼 수 있으며, 이 출력이 다음 소자의 입력으로 작용할 수 있는 소자이다. 비선형 집적거울(integrated mirror) etalon 소자도 이러한 논리소자로 응용될 수 있는 소자 중의 하나이다.

비선형 집적거울 etalon의 비선형매질로서는 비선형효과가 큰 반도체인 GaAs, InSb, InAs등이 많이 연구되고 있다. 비선형 집적거울 etalon은 다층박막 구조로 된 두 개의 집적거울(integrated mirror)과 그 사이의 공간층(spacer)에 비선형 매질을 성장시킨 구조이다. 비선형 집적거울 etalon의 동작은 공간층을 구성하는 비선형 매질의 흡수율과 굴절률을 빛의 세기로 제어함으로써 이루어진다. 즉, 공간층에서 빛의 세기에 따라 비선형 매질의 굴절률이 바뀌고 이에 따라 공진기의 광학적 길이가 변한다. 이때 etalon은 공진기의 광학적 길이가 공진조건을 만족하는가에 따라 두 개의 출력상태를 가진다. 이렇게 비선형 집적거울 etalon이 입력 빛의 세기에 대해 높은 투과율을 갖는 상태와 낮은 투과율을 갖는 상태를 이용하여 스위치 동작을 할 수 있고, 동일한 입력 빛의 세기에 대해 두 개의 출력상태를 갖는 광쌍안정성을 이용하여 광 메모리 소자로 사용할 수 있다. 또한, 두 개의 입력 광을 이용하면 비선형 집적거울 etalon은 디지털 논리소자로 이용할 수 있다. 두 개의 입력 광은 논리 입력이 되어 바이어스 상태를 만들고 probe광의 투과율이 논리소자의 출력이 된다.

비선형 집적거울 etalon은 많은 활용성에도 불구하고 실용화하기 위해서는 동작전력의 감소, 동작시 발생하는 온도상

승문제등의 아직 개선할 문제가 있다. 지금까지의 많은 연구들은 공간층에 관심을 둔 경우로 공간층의 구조와 물질등을 변화시켜 더 좋은 특성을 얻는데 주력했다. 동작전력이 크면 클수록 전력손실이 많아지고 이에 따라 etalon에 열이 발생하여 소자특성을 저해시킨다. 따라서 저 전력에서 동작할 수 있도록 하는 것은 설계에 있어 중요하다.

본 논문에서는 보다 낮은 전력에서 동작할 수 있는 etalon을 구현하기 위해 비선형거울을 공간층 양쪽에 도입하였다. 지금까지의 비선형 etalon은 선형 거울을 사용하였다. 비선형 거울을 도입하면, spacer층의 비선형 특성 뿐만 아니라 거울층의 비선형 특성을 이용하게 되므로 보다 작은 입력광으로 소자를 동작시킬 수 있게 된다. 또한, 선형 거울을 이용할 경우 높은 굴절율층은 동작파장에서 비선형 특성이 없는 매질(band edge가 동작파장으로부터 떨어져 있는 매질)을 사용해야 한다. 반면에, 비선형 거울의 경우에는 band edge가 동작파장 근처에 있게 되므로 높은 굴절율층의 굴절율이 커지게 되고, 따라서 낮은 굴절율층과의 굴절율 차가 커지게 된다. 굴절율 차가 커지면 보다 작은 두께로 같은 크기의 반사율을 얻을 수 있게 된다. 따라서, 소자를 성장시키는 데 걸리는 시간이 크게 줄일 수 있을 것이다.

### II. 비선형 etalon의 동작특성 해석 방법

비선형 집적거울 etalon의 동작특성을 결정하는 가장 중요한 요소는 강한 비선형특성을 가지는 매질의 선택이다. 비선형형성의 크기가 바로 소자의 요구전력을 결정하기 때문이다.<sup>[1]</sup> 매질의 비선형성은 many-body효과에 의해 발생한다. many-body 효과로는 bandfilling, 쿨롱 상호작용(interaction)의 screening과 온도에 의한 비선형등이 있다.<sup>[2]</sup> 매질의 선택시 흡수보다는 분산을 이용하는 etalon이 소자의 적응성이 좋기 때문에 바람직하며, 굴절률의 비선형 변화가 큰 매질이 바람직하다. 현재까지는, direct-gap 반도체가 비선형형성이 크고, 빨리 스위칭되고, 제작기술이 잘 발달되어 있고, 순도와 표면의 질이 좋아서, 가장 좋은 매질로 알려져 있다. 예를 들어,

GaAs 소자는 absorption band edge 근처에서 대단히 큰 비선형 굴절률을 보이며, 상온에서 동작 가능하고, 속도가 대단히 빨라 가장 유망하다.

비선형 매질에서 흡수율  $I$ 과 굴절률  $n(I)$ 를 Lee 등<sup>[3]</sup>에 의한 GaAs bulk 매질에 대한 실험결과로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$n(I) = n_0 - \frac{n_1 I}{1 + \frac{I}{I_s}} \quad (1)$$

$$\alpha(I) = \alpha_0 + \frac{\alpha_1}{1 + \frac{I}{I_s}} \quad (2)$$

동작파장( $\lambda=887.2$  nm)에서,  $n_0=3.606$ ,  $n_1=0.0022$  /mW,  $\alpha_0=200$  /cm,  $\alpha_1=800$  /cm, 포화 광 세기  $I_s=16$  mW(spot size: diameter 15  $\mu$ m)로 하였다. 식 (1), (2)에서 빛의 세기가 증가함에 따라 굴절률과 흡수율이 감소함을 알 수 있다.

비선형 거울층을 갖는 비선형 집적거울 etalon은 그림 1과 같이 공간층과 거울층의 높은 굴절률층은 GaAs로 하였으며 거울층의 낮은 굴절률층은 AlAs로 하였다. 공간층 양쪽으로 높은 굴절률층과 낮은 굴절률층을 교대로 각각 24층 성장시킨 집적거울을 두었다. 공간층의 매질만 비선형 매질(GaAs)로 둔 경우(선형 거울층을 가진 비선형 etalon)와 공간층 뿐만 아니라 집적거울의 높은 굴절률을 갖는 매질을 비선형 매질(GaAs)로 둔 경우(비선형 거울층을 가진 비선형 etalon)에 대해서 비선형 집적거울 etalon의 입출력 특성을 계산해 보았다. 이때 사용된 파라미터의 값들을 표 1에 나타내었다. 동작

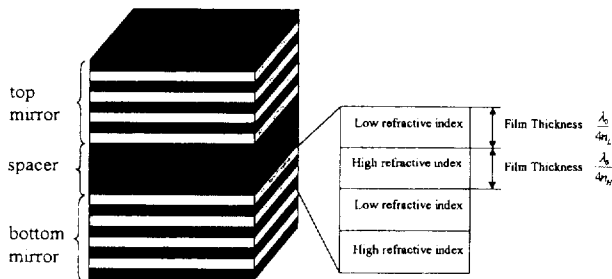


그림 1. 비선형 집적거울 etalon의 구조.

표 1. 컴퓨터 해석시 사용된 파라미터

파라메타	기호 (단위)	값	
		높은 굴절률층과 공간층(GaAs)	낮은 굴절률층 (AlAs)
선형 흡수계수	$\alpha_0$ (/cm)	200	0
선형 굴절률	$n_0$	3.606	2.991
비선형 흡수계수	$\alpha_1$ (/cm)	800	0
비선형 굴절률	$n$ (/mW)	0.0022	0
포화 광세기	$I_s$ (mW)	16	
공간층 길이	$L$ (nm)	372	
동작 파장	$\lambda$ (nm)	887.2	

\*Spacer매질은 높은 굴절률층의 매질과 같다.

파장은 GaAs의 흡수가 가장 작으며 강한 비선형성을 보이는 파장인 887.2 nm로 하였다. 이때 etalon의 각층에서의 흡수율과 굴절률의 변화는 여기된 캐리어(carrier)의 확산에 의해 균일한 값을 갖는다고 가정하였다. 비선형 집적거울 etalon의 해석방법은 특성행렬 방법을 이용하였다. 단일층의 두 경계면에서의 전자장의 관계를 나타내는 특성행렬을 사용하면 다층박막 구조로 이루어진 집적거울 etalon의 입출력특성을 간단하게 해석할 수 있다. 이때 빛의 세기에 따른 매질의 굴절률 및 흡수율의 변화 특성을 나타내는 식 (1), (2)와 매질의 굴절률 및 흡수율에 따른 etalon내의 전자장 분포를 구할 수 있는 특성행렬식을 결합하여 비선형 집적거울 etalon의 출력특성을 해석할 수 있다.<sup>[4]</sup>

### III. 비선형 거울 etalon의 쌍안정 특성

그림 2에서 (a)는 공간층만 비선형 매질이고 선형거울을 사용한 경우의 입력 빛의 세기에 따른 최대 투과율을 갖는 파장의 이동을 나타낸 그림이고, (b)는 공간층이 비선형매질이고 비선형 거울을 사용한 경우의 입력 빛의 세기에 따른 최대 투과율을 갖는 파장의 이동을 나타낸 그림이다. 그림 2의 (a)와 (b)에서 입력 빛 세기( $I_{in}$ )가 아주 작을 때는 비선형 특성이 거의 나타나지 않고, 최대 투과파장을 갖는 파장의 움직임이 거의 없다. 입력 빛의 세기가 점점 증가함에 따라 비선형성이 나타나게 되어 최

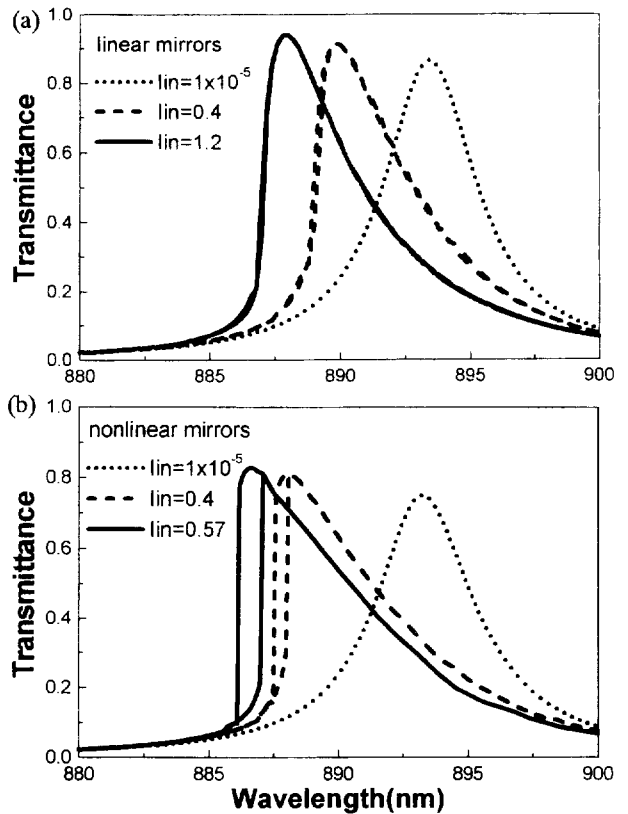


그림 2. 입력 빛의 세기에 따른 최대 투과율을 갖는 파장의 이동. (a) 선형 거울층을 가진 비선형 집적거울 etalon. (b) 비선형 거울층을 가진 비선형 집적거울 etalon.

대 투과율을 갖는 파장이 단파장 쪽으로 이동한다. 또한 입력 빛의 세기의 증가에 따라 투과율이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 식 (2)에서와 같이 입력 빛의 세기가 증가할수록 흡수가 줄어들기 때문이다. 이러한 빛의 세기에 대한 최대투과율을 갖는 파장의 변화는 선형거울을 사용한 경우(그림 2(a))보다 비선형거울을 사용한 경우(그림 2(b))가 더 크다. 이는 비선형거울을 사용한 경우가 비선형성이 더 크기 때문이다.

그림 3은 비선형 매질의 흡수를 고려하여 동일한 입력 빛의 세기(입력 빛의 세기가  $0.57 \text{ kW/cm}^2$ )에 대해 선형 거울을 사용한 경우와 비선형 거울을 사용한 경우에 대해서 입력 빛의 파장에 대한 투과율을 나타내었다. 그림 3에서 실선으로 표시된 그림은 비선형 거울을 사용한 경우를 나타냈는데, 동일한 빛의 세기에 대해 선형 거울을 사용한 경우(점선으로 표시된 그림)보다 더 큰 파장의 변화를 보이고 투과율이 급격하게 변하는 파장이 2개가 존재한다. 선형 거울과 비선형 거울을 사용한 두가지 경우에서  $0.57 \text{ kW/cm}^2$ 의 입력 빛의 세기는 각각 상대적으로 긴 파장에서는 switch-on되는 입력 빛의 세기를 나타내며, 상대적으로 짧은 파장에서는 switch-off되는 입력 빛의 세기를 나타낸다. 비선형 거울을 사용한 경우 switch-on되는 입력 빛의 세기가  $0.57 \text{ kW/cm}^2$ 이 되는 파장( $887.2 \text{ nm}$ )

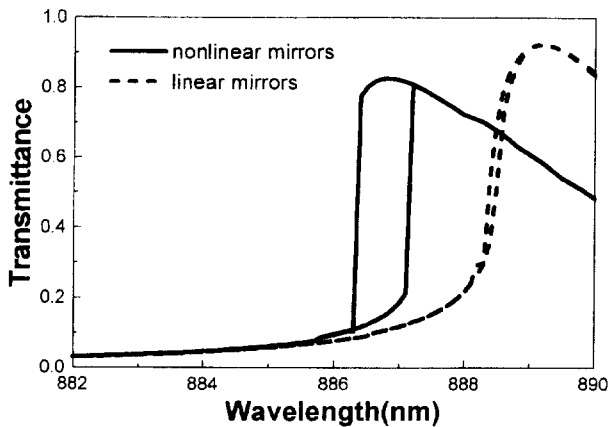


그림 3. 비선형 집적거울 etalon의 파장에 따른 투과율 ( $I_m=0.57 \text{ kW/cm}^2$ ).

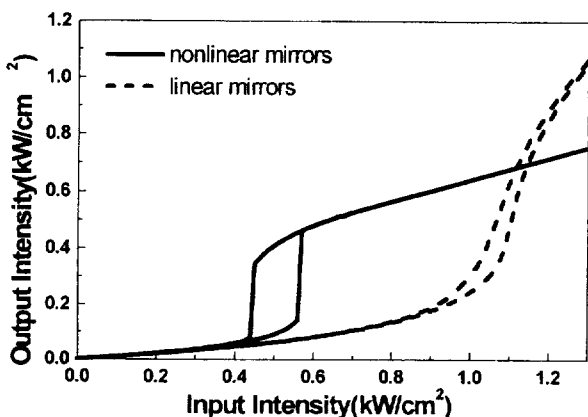


그림 4. 비선형 거울을 가진 비선형 집적거울 etalon에서의 광쌍안정 특성.

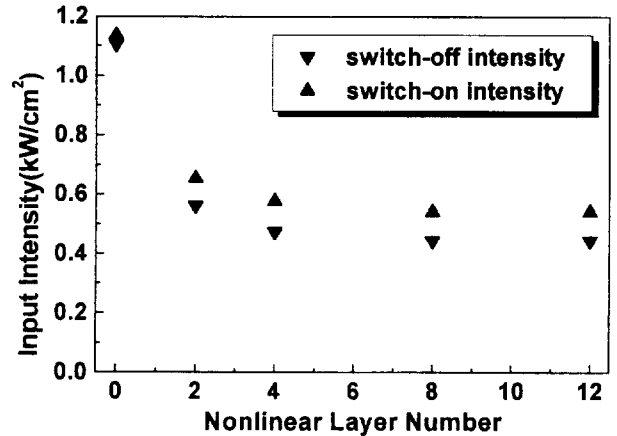


그림 5. 비선형 거울층수에 따른 입력 빛 세기.

을 동작파장으로 선택한다면 그림 2에서 알 수 있듯이 입력 빛의 세기가 증가할수록 최대투과율을 가지는 파장이 더 짧은 파장쪽으로 이동하기 때문에 switch-off되는 입력 빛의 세기는  $0.57 \text{ kW/cm}^2$  보다 더 낮은 값의 세기를 가짐을 예측할 수 있으므로 광쌍안정 현상이 나타남을 알 수 있다. 이 파장은 앞에서 강한 비선형성을 가지며 흡수가 거의 없는 파장으로 선택한 동작파장과 일치한다. 그러나 선형 거울을 사용한 경우에는  $0.57 \text{ kW/cm}^2$ 에서 최대 투과율을 나타내는 파장이  $887.2 \text{ nm}$  보다 더 긴 파장쪽이기 때문에  $887.2 \text{ nm}$ 에서는 switch-on이 되지 않는다.

그림 4에서는 선형 거울을 사용한 경우와 비선형 거울을 사용한 경우에 대한 입력력 특성을 나타내었다. 그림에서 공간층만 비선형 매질을 가지고 거울층은 선형 매질을 갖는 경우 쌍안정영역이 좁고 switch-on되는 입력 빛의 세기가  $1 \text{ kW/cm}^2$  보다 더 크다. 그러나 거울층이 비선형 매질인 경우 쌍안정영역이 넓어지며 switch-on되는 입력 빛의 세기가 줄어든다. 그림 4에서 낮은 switch-on 입력 빛 세기를 가질 때는 거울층이 비선형일 경우이다. 이것은 비선형성이 커질수록 최대투과율을 가지는 파장이 작은 입력 빛의 변화에도 빨리 변하기 때문에 결과적으로 switch-on되는 입력 빛 세기가 줄어드는 효과를 가지기 때문이다.

그림 5는 비선형 층수에 따른 입력 빛의 세기를 나타내고 있다. 거울층이 선형 매질일 경우보다 모든 거울층이 비선형 매질일 때가 쌍안정영역이 넓어지면서 switch-on되는 빛의 세기가 많이 줄어든다. 따라서 비선형 집적거울 etalon에 비선형 거울을 도입함으로써 선형 거울을 사용한 경우보다 더 작은 전력에서 동작이 가능하다.

#### IV. 결 론

비선형 etalon의 공간층 양쪽에 비선형 거울을 둬으로써 낮은 입력 빛의 세기에서 광쌍안정성을 가지게 됨을 보였다. 또한, 비선형 거울을 사용함으로써 선형 거울을 사용한 경우보다 거울의 두께를 줄일 수 있어 소자를 성장시키는 시간을 줄일 수 있다.

**참고문헌**

- [1] M. E. Warren, S. W. Koch, and H. M. Gibbs, *IEEE Computer*, **20**, 68 (1987).  
[2] N. Peyghambarian, S. W. Koch, and A. Mysyrowicz, *In-*

- troduction to Semiconductor Optics*, Prentice Hall (1993).  
[3] Y. H. Lee, A. Chavez-Pirson, S. W. Koch, H. M. Gibbs, S. H. Park, J. Morhange, and A. Jeffery, *Phys. Rev. Lett.* **57**, 2446 (1986).  
[4] 김덕봉, 윤태훈, 김재창, *한국광학회지*, **4**, 6704 (1993).

**Optical bistability in a nonlinear etalon with nonlinear mirrors**

Dong-Seob Shin, Dug-Bong Kim, Tae-Hoon Yoon and Jae Chang Kim  
*Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea*

Sun Ho Kim  
*Div. of Electronics and Information Tech. Korea Institute of Sci. and Tech., Seoul 136-791, Korea*

(Received January 21, 1998, Revised manuscript received March 11, 1998)

In this paper, we have shown theoretically that a nonlinear etalon with nonlinear mirrors exhibits optical bistability. It can be switched with less power than a nonlinear etalon with linear mirrors.