

# 나노 임프린트 기술을 이용한 폴리머 도파로 기반의 브래그 격자형 파장 필터

論 文
55C-5-8

## Polymeric Wavelength Filter Based on a Bragg Grating Using Nanoimprint Technique

安世源\* · 李起東\* · 金都煥\*\* · 陳元準\*\* · 李相信†  
(Seh-Won Ahn · Ki-Dong Lee · Do-Hwan Kim · Won-Jun Chin · Sang-Shin Lee)

**Abstract** - A polymeric waveguide-type wavelength filter based on a Bragg grating has been proposed and fabricated using the simple nanoimprint technique, for the first time to our knowledge. An ultraviolet transparent stamp with the single-mode waveguide pattern incorporating a surface-relief-type Bragg grating was specially designed selective dry-etching process. Using this stamp, the device fabrication was substantially involving just a single-step process of imprint followed by polymer spin-coating. The achieved maximum reflection was higher than 25 dB at the center wavelength of 1569 nm. And the 3-dB bandwidth was 0.8 nm for the device length of 1.5 cm.

**Key Words** : Nanoimprint, Bragg Grating, Photonic Wavelength Filter, Polymer, Optical Filter

### I. 서 론

브래그 격자 기반의 광 파장 필터는 간단한 구조와 우수한 파장 선택 특성으로 인해 DWDM (dense wavelength division multiplexed network) 을 구현하기 위한 핵심소자가 되어 왔다. 특히 도파로 기반의 파장 필터는 높은 채널 밀도를 갖는 광 통신 네트워크의 구현에 적합하며, 다른 광 소자와의 집적이 용이하다는 장점이 있다. 따라서 폴리머의 간단한 공정과정, 경제성, 다양한 기능을 갖는 소자와의 집적의 용이함을 바탕으로 여러 형태의 도파로 기반 브래그 격자 파장 필터가 집중적으로 연구되어 오고 있다 [1-5].

지금까지 보고된 관련 소자의 제조 방법을 살펴보면, 첫째로 폴리머 도파로에 위상 마스크를 이용하여 브래그 격자 패턴을 형성시킨 후 포토리소그래피 (photo-lithography) 공정과 건식식각공정을 이용하는 방법과 [1], [2], 레이저 빔간섭 리소그래피(LIL: laser interference lithography) 방법을 이용한 direct writing 방법을 적용하여 제작하는 방법이 [3], [4] 있다. 이러한 기존의 제조 방법은 복잡한 공정과정을 거치기 때문에 대량생산을 위한 재현성에 큰 문제점을 가지고 있다. 또한 기존의 e-beam direct writing 방법 [5] 역시 공정과정에서 긴 노출시간이 필요하기 때문에 매우 낮은 처리량으로 인한 문제점이 지적되고 있다. 한편, 최근들어 UV 나노임프린트 기술은 높은 품질의 나노 스케일의 최소 선폭을 갖는 폴리머 소자를 대량으로 생산하기 위한 가

장 실용적인 기술로 평가 받고 있다 [6, 7].

본 연구에서는 UV 나노임프린트 기술을 이용하여 광 파장 필터를 설계하고 구현하였다. 특히 브래그 격자와 도파로 패턴이 결합되어 있는 투명한 스탬프 (stamp) 를 이용함으로써 단 한번의 임프린트 공정과 폴리머 스펀코팅으로 소자가 완성되기 때문에 소자 구현을 위한 제작공정과정을 획기적으로 단순화하였다.

### II. 제안된 파장 필터의 동작원리 및 설계

그림 1에는 본 논문에서 제안된 파장 필터의 구조가 도시되어 있다. 이 소자는 실리콘 기판 위에 인버티드 (inverted) 릿(rib) 구조의 도파로를 기반으로 하여 도파로 코어의 하단에 브래그 격자가 형성된 구조를 가지고 있다. 최초 광이 입력되었을 때 브래그 격자에 의해  $\lambda_B = 2n_{eff}A_g$ 의 관계식을 만족시키는 브래그 파장을 갖는 광만이 입력 방향으로 다시 반사되며,  $\lambda_B$  이외의 파장을 갖는 광은 출력방향으로 전달된다. 여기서  $n_{eff}$ 는 도파로의 기본 전파모드의 유효굴절률이며,  $A_g$ 는 브래그 격자의 주기를 나타낸다. 또한 브래그 격자의 반사 효율은 브래그 격자의 높이와 길이에 비례하여 증가한다. 폴리머 도파로를 설계하기 위하여 빔전파방법(BPM: beam propagation method)을 이용하였고 도파로의 구조는 다음과 같다. 도파로의 너비는  $6 \mu\text{m}$ 이며, 코어층의 두께는  $6 \mu\text{m}$ 이고 릿의 두께는  $3 \mu\text{m}$ , 임프린트 후 코어 폴리머를 스펀코팅 하였을 때 슬랩 (slab) 의 두께가  $3 \mu\text{m}$ 이다. 또한 하부 클래딩의 두께는  $20 \mu\text{m}$ 이다. 그리고 제안된 소자의 중심 파장을 약  $1560 \text{ nm}$ 로 결정하기 위하여 브래그 격자의 격자주기는  $530 \text{ nm}$ 로 정하였다. 또한 높은 반

† 교신저자, 正 會 員 : 광운대학교 전자공학과 조교수

E-mail : sslee@daisy.kw.ac.kr

\* 非 會 員 : LG전자기술원 소재재료연구소 책임연구원

\*\* 非 會 員 : 광운대학교 전자공학과 석사

接受日字 : 2006年 1月 20日

最終完了 : 2006年 3月 30日

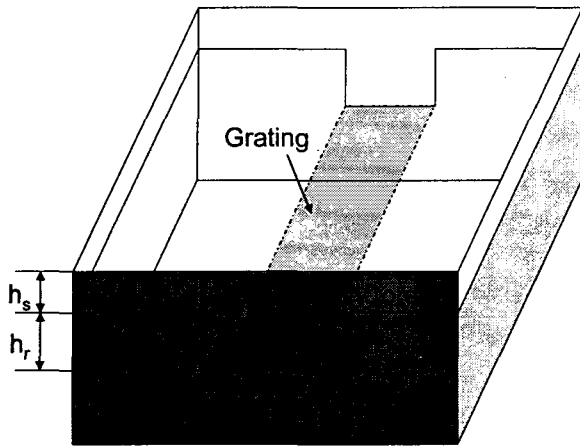


그림 1 제안된 브래그 격자를 이용한 파장필터  
 Fig. 1 Proposed wavelength filter based on Bragg grating

사효율을 달성하기 위하여 브래그 격자의 높이는 0.8  $\mu\text{m}$ , 소자의 총 길이는 15 mm로 정하였다.

III. 소자의 제작 및 측정 결과

그림 2에는 제안된 소자를 제작하기 위한 스탬프 제작 공정을 도시하였다. 먼저 4인치 퀴츠 글래스 (quartz glass) 기판 위에 크롬 (Cr) 박막과 Nissan Chemical사에서 제공하는 반사방지막 (BARC: bottom antireflection coating)인 iCON16, 그리고 크롬 (Cr) 박막이 각각 10, 120, 10nm의 두께로 형성되어 있다. 이때, 크롬 박막은 RF sputtering 시스템을 이용하여 증착하였으며 증착률은 약 0.5 nm/sec 이다. 또한 여기서 사용된 BARC 박막은 특히 레이저 간섭 리소그래피 공정 과정에서 기판으로부터의 불필요한 반사를 방지하기 위한 것이다. 다음으로 Shipley사의 positive 포토레지스트인 SPR 508A을 100 nm 두께로 스펀코팅 한 후 레이저 간섭 리소그래피를 이용하여 브래그 격자 패턴을 형성한다 [8]. 이 때 포토레지스트 패턴은 브래그 격자 제작을 위한 식각 공정의 마스크 역할을 한다. 퀴츠 글래스, 즉 SiO<sub>2</sub>의 RIE 식각 공정 조건을 살펴보면 RF 파워는 100 W, 압력은 50 mTorr, 반응 가스는 CHF<sub>3</sub>와 O<sub>2</sub>를 각각 50 sccm, 5 sccm을 사용하였고, 식각률은 1.0 nm/sec이다. 식각 공정 후에 남아있는 잔여 포토레지스트를 스트리퍼를 이용하여 제거한 후, 퀴츠 글래스 격자 패턴 위에 RF sputtering 시스템을 사용하여 200 nm 두께를 갖는 Cr 박막을 증착한다. 이는 포토리소그래피 공정과 RIE 공정을 통하여 도파로 패턴을 형성하기 위한 식각용 마스크로 사용된다. 퀴츠 기판상에 RIE 공정을 통해 6  $\mu\text{m}$ 의 너비와 3  $\mu\text{m}$  높이를 갖는 도파로 패턴을 형성한다. 이 때 Cr 박막을 패터닝 하기 위한 RIE 공정 조건을 살펴보면 RF 파워는 50 W, 압력은 200 mTorr, 반응 가스는 Cl<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>를 각각 50 sccm, 10 sccm을 사용하였고, 식각률은 0.1 nm/sec이다. 퀴츠 글래스의 식각 조건은 위와 동일하다. 최종적으로 크롬 (Cr)을 제거함으로써 임프린트용 스탬프를 완성한다.

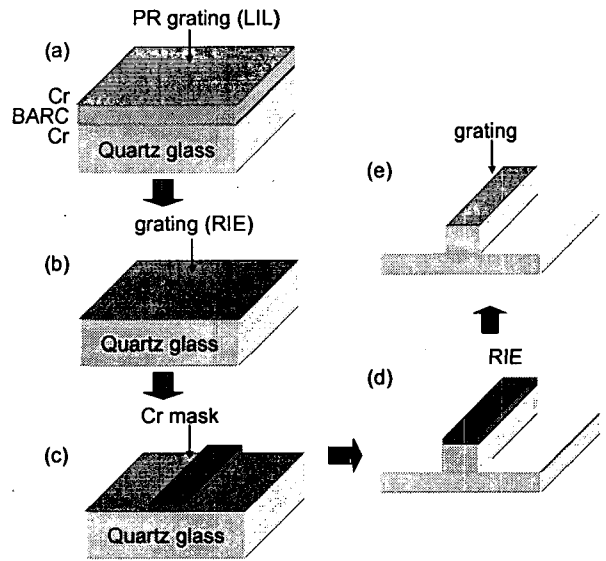


그림 2 제작된 임프린트용 스탬프 공정.  
 Fig. 2 Fabrication procedure for imprinting stamp.

브래그 격자가 새겨진 도파로 패턴을 포함한 제작된 임프린트용 스탬프가 그림 3에 도시되어 있다. 도파로 패턴의 너비와 높이는 각각 6  $\mu\text{m}$ 와 3  $\mu\text{m}$ 이다. 그리고 브래그 격자의 높이는 0.8  $\mu\text{m}$ 이고, 격자주기는  $\sim 530$  nm이다. 이때 브래그 격자의 duty ratio는 약 0.5이다. 그림 3을 살펴보면 브래그 격자가 도파로 영역 내에서만 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 이는 그림 2(c)의 과정에서 증착된 크롬(Cr)이 매우 좋은 step coverage를 갖고 있으며 이 격자 상부에서 크롬의 식각률이 격자 하부에 비해 크기 때문에, 격자 하부 부분에는 식각 후에도 크롬이 남아있게 된다. 그리고 다음 단계에서 퀴츠 글래스를 식각할 때 브래그 격자의 높이가 점점 낮아져 결국 평탄하게 된다.

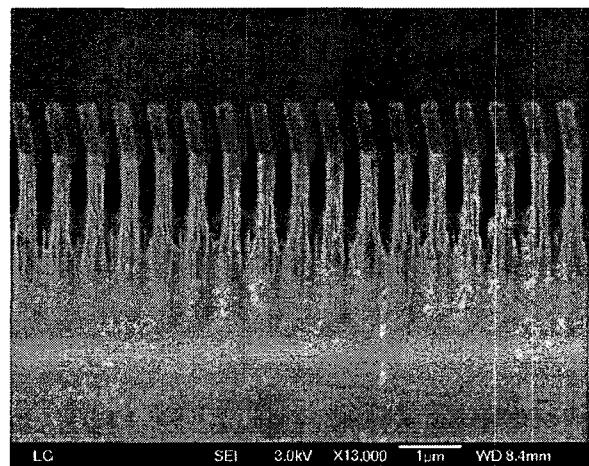


그림 3 제작된 임프린트용 스탬프의 SEM 사진.  
 Fig. 3 Photography of fabricated imprinting stamp.

임프린트 공정과정은 그림 4에 도시되어 있으며, 이는 브래그 격자가 새겨진 도파로 패턴을 가진 임프린트 스탬프를 이용하여 패턴을 하부 클래딩에 전사시키는 것이다. 먼저 임프린트 후 스탬프를 분리하는 디몰딩(demolding) 과정 중에 폴리머 패턴이 스탬프에 부착되는 것을 방지하기 위하여 antisticking 레이어로서 1H, 1H, 2H, 2H Perfluorodecyl trichlorosilane을 표면처리한다. 이때 측정된 접착 각도는 약 140°이다.

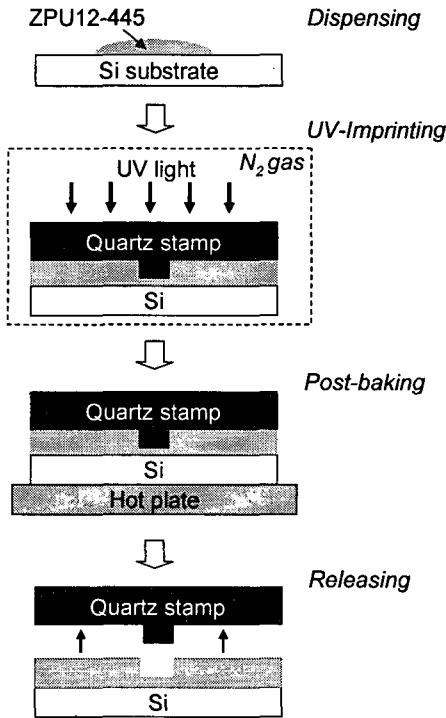


그림 4 도파로 기반의 브래그 격자 제작을 위한 UV 임프린트 공정.  
 Fig. 4 UV imprinting processing for fabricating waveguide Bragg grating.

소자의 하부 클래딩을 형성하기 위하여 소량의 ZPU12 445 ( $n=1.445 @ 1.55 \mu\text{m}$ ) 폴리머를 기판 위에 도포한다. 그 다음, 하부 클래딩 폴리머 위에 미리 제작된 스탬프를 이용하여 임프린트 공정을 수행한다. 이때, 스탬프에 가하는 임프린트 압력을 조절함으로써 하부 클래딩의 두께를 수십  $\mu\text{m}$ 에서 수  $\mu\text{m}$ 까지 제어할 수 있게 된다. 본 실험에서는 약 5 bar의 압력으로 20  $\mu\text{m}$ 의 하부 클래딩 두께를 얻을 수 있었다. 스탬프가 하부 클래딩에 접촉되는 동안 임프린트 장비 자체적으로 폴리머 경화를 위하여 UV가 조사된다. 자외선 광원으로 1 kW Xenon 램프를 사용하였다. 임프린트 후 형성된 하부 클래딩을 160°C에서 30분간 포스트 베이킹 한 후 스탬프를 제거한다

그림 5에는 하부클래딩에 전사된 패턴의 모습을 보여준다. 제작된 브래그 격자의 aspect ratio는 약 3이며, 이는 광의 진행 방향에 대하여 브래그 격자의 높이(~800 nm)와 격자의 너비(~265 nm)의 비율이다. 코어와 클래딩의 굴절률차가 작기 때문에 브래그 격자의 aspect ratio를 크게 해야

높은 반사효율을 얻을 수 있게 된다. 다음으로, 임프린트된 소자 패턴 위에 ZPU12 460 ( $n=1.460 @ 1.55 \mu\text{m}$ ) 폴리머를 약 3  $\mu\text{m}$  스핀코팅 하여 코어를 형성하였다.

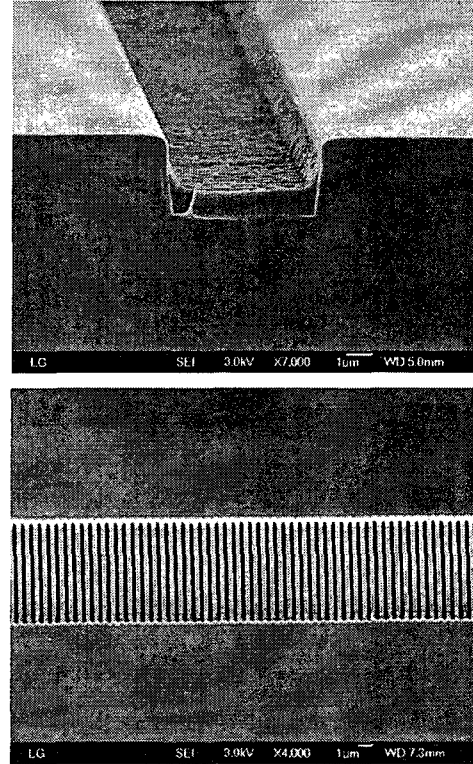


그림 5 제작된 임프린트용 스탬프의 SEM 사진.  
 Fig. 5 Photography of fabricated imprinting stamp.

여기서 제안된 소자를 제작하는데 있어 패턴형성을 제한하는 요인을 몇 가지 살펴보고자 한다. 첫째로 나노임프린트 기술의 resolution에 관한 내용이다. 나노임프린트를 이용하여 제작 가능한 미세 패턴의 최소 선폭은 임프린트용 스탬프의 resolution에 의해 영향을 받으며, 현재까지 10 nm 이하의 최소 선폭 구현도 보고되고 있다 [9]. 따라서 브래그 격자를 제작하기 위한 정밀도는 나노임프린트 기술을 이용하여 충분히 달성 가능하다. 두 번째로는 스탬프의 이격과정에서 생기는 패턴의 변형 문제이다. 격자의 aspect ratio가 클 경우에는 이러한 변형 문제가 심각할 수 있다. 그러나 본 논문에서 달성한 수준의 aspect ratio를 제작할 때는 이런 문제가 거의 관찰되지 않았다. 나노임프린트 기술을 이용하여 높은 aspect ratio를 갖는 미세 패턴을 제작하는 문제는 또 하나의 연구 토픽으로서 활발히 연구되고 있다.

제작된 필터의 전달특성을 측정하기 위하여 Licomm사의 BLS(broad band light source)와 Anritsu사의 광 스펙트럼 분석기(MS9710B)를 사용하였고 반사광을 측정하기 위하여 광 서클레이터를 이용하였다. 단일 광원을 이용하여 소자의 입력과 출력은 한 쌍의 단일모드 광섬유를 end-fire 결합을 통하여 측정하였고 이때 소자의 삽입 손실은 두개의 광섬유 사이에 소자의 유무 상태에서 광 파워를 측정하여 비교하였다. 따라서 이 때 소자의 결합손실과 전송손실을 포함하는

삽입손실은 5 dB로 측정되었다. 그림 6에는 제안된 소자의 파장에 따른 전달 특성과 반사 특성을 도시하였다. 3 dB 대역폭이 0.8 nm인 선명한 대역저지 특성을 보이고 있다. 1569 nm 파장에서 대역저지 소멸비는 약 25 dB 이상이었다. 반면 반사효율이 전달특성에 비하여 매우 낮은 것을 알 수 있었고, 이는 임프린트용 스탬프에 새겨진 소자에서 브래그 격자와 광도파로의 정렬이 완전한 90도가 아닐 수 있다는 점과 입·출력에 안정된 모드 형성을 위한 광결합용 직선 도파로가 없다는 점, 그리고 브래그 격자에 사용된 임프린트용 스탬프의 측면 거칠기가 도파로 형성에 그대로 전사되는 점이 반사효율을 감소시키는 원인으로 생각 된다. 추후 연구에서 광도파로와 브래그 격자의 정렬을 개선하고, smoothing buffer layer를 도입한 임프린트 공정 [10] 등을 효과적으로 이용하면 보다 개선된 결과를 얻을 수 있으리라 생각된다.

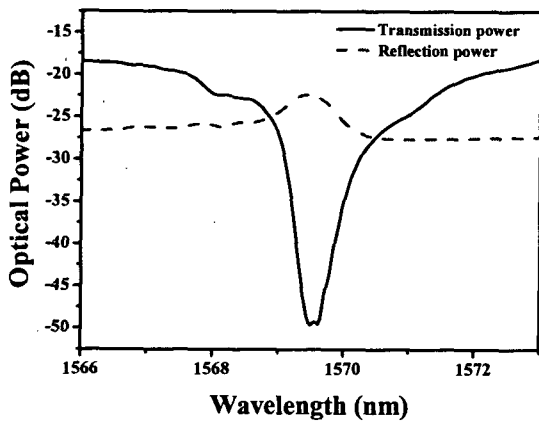


그림 6 제작된 소자의 파장에 대한 전달 특성.  
Fig. 6 Transfer characteristics of fabricated device.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 나노임프린트 기술을 이용하여 폴리머 도파로 기반의 브래그 격자 파장 필터를 설계하고 구현하였다. 제안된 소자는 브래그 격자 패턴과 도파로 패턴이 결합된 형태의 임프린트용 스탬프를 이용하여 제작함으로써 공정과정을 획기적으로 줄일 수 있었고, 제안된 나노임프린트 기술은 나노 포토닉 소자의 제작에 널리 이용될 수 있을 것으로 예상된다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21세기 프론티어 연구개발 사업의 일환인 나노메카트로닉스 기술개발 사업단의 연구비와 학술진흥재단(D00146)의 지원에 의하여 연구되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] M. C. Oh, H. J. Lee, M. H. Lee, J. H. Ahn, S. G. Han, and H. G. Kim, "Tunable wavelength filters with Bragg gratings in polymer waveguides," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 73, pp. 2543-2545, 1998.
- [2] M. C. Oh, H. J. Lee, M. H. Lee, J. H. Ahn, S. G. Han, and H. G. Kim, "Tunable wavelength filters with Bragg gratings in polymer waveguides," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 73, pp. 2543 - 2545, 1998.
- [3] L. Eldada, R. Blomquist, M. Maxfield, D. Pant, G. Boudoughian, C. Poga, and R. A. Norwood, "Thermooptic planar polymer Bragg grating OADM's with broad tuning range," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, pp. 448-450, 1999.
- [4] J. W. Kang, M. J. Kim, J. P. Kim, S. J. Yoo, J. S. Lee, D. Y. Kim, and J. J. Kim, "Polymeric wavelength filters fabricated using holographic surface relief gratings on azobenzene containing polymer films," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 82, pp. 3823-3825, 2003.
- [5] W. H. Wong and E. Y. B. Pun, "Polymeric waveguide wavelength filters using electron beam direct writing," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79, pp. 3576-3578, 2001.
- [6] S. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, "Nanoimprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, vol. 14, no. 6, pp. 4129 - 4133, 1996.
- [7] M. Colburn, A. Grot, M. Amistoso, B. J. Choi, T. Bailey, J. Ekerdt, S. V. Sreenivasan, J. Hollenhorst, and C. G. Willson, "Step and flash imprint lithography for sub 100 nm patterning," *Proc. SPIE*, vol. 3997, pp. 453 - 463, 2000.
- [8] S. W. Ahn, K. D. Lee, J. S. Kim, S. H. Kim, S. H. Lee, J. D. Park, and P. W. Yoon, "Fabrication of subwavelength aluminum wire grating using nanoimprint lithography and reactive ion etching," *Microelectron. Eng.*, vol. 78 - 79, pp. 314 - 318, 2005.
- [9] M. D. Austin, H. Ge, W. Wu, M. Li, Z. Yu, D. Wasserman, S. A. Lyon, and S. Y. Chou, "Fabrication of 5 nm linewidth and 14 nm pitch features by nanoimprint lithography," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 84, pp. 5299 - 5301, 2004.
- [10] D. H. Kim, J. G. Im, S. S. Lee, S. W. Ahn, and K. D. Lee, "Polymeric Microring Resonator Using Nanoimprint Technique Based on a Stamp Incorporating a Smoothing buffer layer," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 17, no. 11, pp. 2352-2354, 2005.

## 저 자 소 개

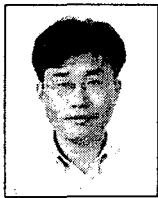


### 안 세 원 (安世源)

1972년 9월 6일생, 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학에서 학사(1994년), 석사(1996년), 박사(2001년) 학위 취득, 2002년 10월~현재 LG전자기술원 소자재료 연구소 책임연구원

Tel : 02-526-4114

E-mail : swahn@lge.com



### 이 기 동 (李起東)

1966년 10월 19일생  
서울대 원자핵공학과 학사(1989년), 포항공대 물리학과 석사(1993년), 포항공대 물리학과 박사(1997년), 2000년 10월~현재 LG전자기술원 소자재료연구소 책임연구원

Tel : 02-526-4114

E-mail : kdlee@lge.com



### 김 도 환 (金都煥)

1978년 7월 10일생  
광운대학교 전자공학부 학사(2004),  
광운대학교 전자공학과 석사(2006)

Tel: 02-914-5301

E-mail: s\_huski@kw.ac.kr



### 진 원 준 (陳元準)

1978년 3월 14일생  
광운대 전자재료공학과 학사(2004),  
광운대 전자공학과 석사(2006)

Tel : 02-914-5301

E-mail: ditodak97@nate.com



### 이 상 신 (李相信)

1968년 9월 5일생,  
한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학에서 학사(1991년), 석사(1993년), 박사(1997년) 학위 취득, 2001년 9월~현재 광운대학교 전자공학과 조교수

Tel: 02-940-5581

E-mail: sslee@daisy.kw.ac.kr