

論文2001-38SD-2-5

BaTiO₃의 SPPCM 특성을 이용한 간섭계의 위상 잡음 제거 (Phase Noise Filtering in Interferometer Using the Characteristic of SPPCM of BaTiO₃)

韓政燁*, 金星完*, 金鍾允*, 朴世駿*, 金喆洙**, 金秀重*
(Jeong-Youp Han, Seong-Wan Kim, Jong-Yun Kim, Se-Joon Park,
Cheol-Su Kim, and Soo-Joong Kim)

요 약

간섭계를 이용하는 작업에서 가장 중요한 요구사항은 간섭 필드의 안정성을 높게 유지하는 것이며 이는 안정된 간섭패턴을 이용한 측정에 있어서 정밀성을 확보해 준다. 그러나 진동과 같은 위상잡음에 의해 안정성을 유지하기 힘들다. 본 논문에서는 BaTiO₃의 SPPCM 특성을 이용하여 마흐젠더 간섭계와 같은 전통적인 간섭계 측정시 발생 가능한 위상잡음의 영향을 줄여 안정된 간섭 패턴 확보 방법을 제안하였다. 또한 BaTiO₃로 빛을 입사시킬 때 구형렌즈를 기울여 입사빔을 원형이 아닌 타원형으로 입사시켜 원형 입사의 경우에 비해 SPPCM의 응답시간과 반사율을 개선하였다. 그리고 실험을 통해 결과를 확인하였다.

Abstract

The high stability of the interference pattern is very important in the case of measuring interference when a phase noise like a vibration occurs in the measuring environment. In this paper, we proposed the method of phase noise filtering by BaTiO₃ with the characteristic of SPPCM. Also, a beam with a shape of an ellipse was incident into BaTiO₃ by using the tilted lens so as to improve the reflectivity and the response time. And we confirmed the result by optical experiment.

I. 서 론

간섭계(interferometry)는 간섭성을 갖는 빔들의 간섭으로 생기는 줄무늬 패턴을 분석하여 광학적 경로를 측정하는 수단으로 이용된다. 특히 마흐젠더 간섭계, 마이켈슨 간섭계 등과 같이 빔을 두개로 분할하여 대상 물체에 한쪽 빔만 통과시켰을 때 나타나는 간섭 패턴을 관측하는 전통적인 간섭계와 이중노출 홀로그래프 간섭계, 실시간 홀로그래프 간섭계, 시간평균 홀로그

램 간섭계 등과 같이 광굴절 매질의 기록 특성에 의해 동일한 위치에서 위상변화 되기 전과 된 후의 물체의 파두(wave front)를 기록하고 재생하여 간섭 패턴을 관측하는 홀로그래프 간섭계로 크게 구분한다. 이러한 간섭계는 비파괴 검사, 홀로그래프 제작, 광학적 신호처리, 광통신에서의 스위칭 작용 등 수많은 분야에서 이용된다.

간섭계를 이용하는 작업에서 가장 중요한 요구사항은 간섭 필드의 안정성을 높게 유지하는 것이며 이는 안정된 간섭패턴을 이용한 측정에 있어서 정밀성을 확보해 주기 때문이다. 그러나 온도 변화 또는 진동 등과 같은 환경적 영향에 따라 위상 변동이 생길 때 간섭 무늬의 대비도(contrast)가 감소되거나 간섭 모양이 사라지게 되고 결과적으로 측정 오차가 발생한다. 이러한 위상 변동 영향으로 발생하는 오차를 줄이려면 기계적 안정도 유지, 광의 세기 강화, 전자적 케환 시스템을 이용하는 등의 방법이 사용되고 있다. 또한 간섭 측정

* 正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

** 正會員, 慶州大學校 컴퓨터 電子工學部
(School of Computer & Electronic Eng., Kyongju Univ.)

接受日字: 2000年2月14日, 수정완료일: 2000年12月18日

을 디지털 처리와 결합하는 현재의 변조 기술에 있어서 안정된 간섭 패턴의 확보는 매우 중요한 요소이다. 이러한 안정성은 광굴절 매질에서의 동적인 홀로그래프 기록 방법으로 얻을 수 있다. Tontchev^[1]는 마흐젠더 간섭계 측정에서 안정성을 유지하기 위해 광굴절 매질을 이용한 이광파 혼합(two-wave mixing) 방법을 이용하여 안정된 간섭패턴을 얻는 방법을 제안하였다. 하지만 이와 같은 방법은 기준빔(reference beam)이 따로 필요하고 재생되는 결과영상을 얻기 위해 이방성 브래그 회절 매질만을 이용한다.

본 논문에서는 BaTiO₃의 SPPCM(self-pumped phase-conjugate mirror)특성^[2-4]을 이용하여 진동에 의한 위상 잡음이 존재하는 환경 속에서 안정된 간섭 패턴을 얻을 수 있는 방법을 제안하였다. SPPCM을 이용함으로써 동적인 홀로그래프 기록특성에 의해 위상 잡음을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 자기정렬 특성에 의해 광축 정렬문제의 영향을 받지 않으며 기존의 이광파 혼합방법에 비해 별도의 기준빔 없이 구성을 간단히 할 수 있었다. 또한 렌즈를 기울여 빔을 원형이 아닌 타원형으로 c축에 평행하게 입사시켜 빔 패닝을 잘 일어나게 함으로써 SPPCM의 응답 시간과 반사율을 개선시킬 수 있었다. 그리고 광 실험을 통해 결과를 확인하였다.

II. 시간평균 홀로그래프 간섭계

시간평균 홀로그래프 간섭계는 주로 진동하는 물체의 진동 상태 분석에 이용되어 왔다. 즉, 진동하고 있는 부분으로부터 기록 매질에 도착한 파의 위상은 시간적으로 변화하고 그로 인하여 간섭무늬도 변화하므로 움직이는 부분의 간섭무늬는 유실되어 기록되지 않는다. 따라서 진동 지점의 재생상은 어둡게 된다.

이와 같은 기술은 진동이 존재하는 측정 표면에서 반사되는 빛을 진동주기에 비해 매우 긴 노출시간 동안 홀로그래프로 기록한다. 먼저 t 시간에 관측하고자 하는 물체에서 변위(displacement)가 발생하고 이때 변위 발생 전 물체의 임의의 한 지점에서 변위에 의한 이 지점의 위치 변화는

$$L(x, y, t) = L(x, y) \sin \omega t \quad (1)$$

과 같이 표현할 수 있다. 여기서 변위신호를 정현파로 가정하였다.

이 지점에서 산란(scattering)된 빛의 위상 변화(phase shift)는

$$\Delta \Phi(x, y, t) = KL(x, y) \sin \omega t \quad (2)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 K 는 감도 벡터(sensitivity vector)이다.

여기서 변위(진동) 발생 전에 측정 물체에서 반사되는 파두를

$$O(x, y) = |O(x, y)| \exp[-i\Phi(x, y)] \quad (3)$$

라 한다면 변위 발생 후의 함수는 식 (2)를 첨가하여

$$O(x, y, t) = |O(x, y)| \exp\{-i[\Phi(x, y) + KL(x, y)\sin \omega t]\} \quad (4)$$

과 같이 나타낼 수 있다.

식 (4)에서와 같이 진동하는 파두를 T 시간 동안 노출하여 기록한 다음 재생되어 나오는 재생파는

$$\begin{aligned} U(x, y) &= \frac{1}{T} \int_0^T |O(x, y)| \exp\{-i[\Phi(x, y) \\ &\quad + KL(x, y)\sin \omega t]\} dt \\ &= |O(x, y)| \exp[-i\Phi(x, y)] \\ &\quad * \frac{1}{T} \int_0^T \exp[-iKL(x, y)\sin \omega t] dt \\ &= O(x, y)M_T(x, y) \end{aligned} \quad (5)$$

과 같이 T 시간 동안 $O(x, y, t)$ 의 시간 평균값과 비례하는 값이다. 여기서 시간 적분 함수 부분은 특성 함수 $M_T(x, y)$ 로 나타내었다.

만약 노출 시간이 진동 주기보다 훨씬 길다면 ($T \gg 2\pi/\omega = 1/f$) 특성 함수 $M_T(x, y)$ 는

$$\begin{aligned} M_T(x, y) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \exp[-iKL(x, y)\sin \omega t] dt \\ &= J_0[KL(x, y)] \end{aligned} \quad (6)$$

과 같고, 결과적으로 재생된 이미지의 세기(intensity)는

$$\begin{aligned} I(x, y) &= |O(x, y)M_T(x, y)|^2 \\ &= I_0(x, y) J_0^2[KL(x, y)] \end{aligned} \quad (7)$$

과 같이 나타난다.

식 (6)과 식 (7)에서 J_0 는 제1종 0차 베셀 함수(first

kind zero-order Bessel function)이고, $|M_T(x, y)|^2$ 의 그래프는 그림 1과 같다.

결국 광굴절 매질의 동적인 홀로그래프 기록특성을 이용하여 시간평균 홀로그래프를 구현할 수 있다.

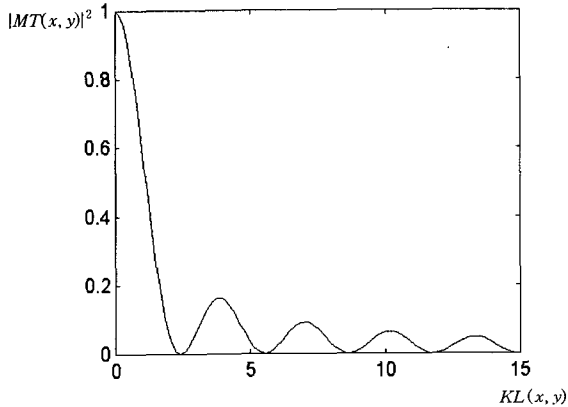


그림 1. 특성 함수 $|M_T(x, y)|^2$ 의 그래프
Fig. 1. The graph of characteristic function $|M_T(x, y)|^2$.

III. 위상 잡음 제거 방법

1. 이광과 혼합 방법

기존에 제안된 이광과 혼합 방법의 구성도는 그림 2와 같다.^[1] 먼저 레이저에서 나오는 빔을 두 개로 분리시켜 한 빔은 마호젠더 간섭계를 이루는 빔으로 이용하였고 나머지 한 빔은 매질에 기록과 재생을 위한 기준빔으로 이용하였다. 측정시 마호젠더 간섭계의 한쪽 경로에 일반거울 대신 PLZT(lead lanthanum zirconate titanate)를 이용하여 진동에 의한 위상 잡음을 주었고, 위상 잡음이 섞인 마호젠더 간섭계의 출력 영상을 이광과 혼합 방법에서 신호빔으로 이용하였다.

이광과 혼합 방법에서는 투과되는 빔과 기록된 격자(grating)에서 회절되어 재생되는 빔을 분리시키기 위해 이방성 브래그 회절 매질(anisotropic bragg diffraction materials)중의 하나인 Bi₁₂TiO₂₀를 사용하였다. Bi₁₂TiO₂₀를 이용하면 기록된 격자에서 회절되어 재생되는 빔의 편광 방향이 투과되는 빔의 편광 방향과 직교하기 때문에 편광기(analyzer)를 이용해 재생되는 빔 이외의 빛의 영향을 제거한 영상을 얻을 수 있게 된다.

이광과 혼합 방법은 기존의 4광과 혼합 방법에 비해

구성이 간단하지만 여전히 따로 기준빔을 마련해야 하므로 구성이 복잡해지고, 시스템의 전체 크기가 증가하는 단점이 있다.

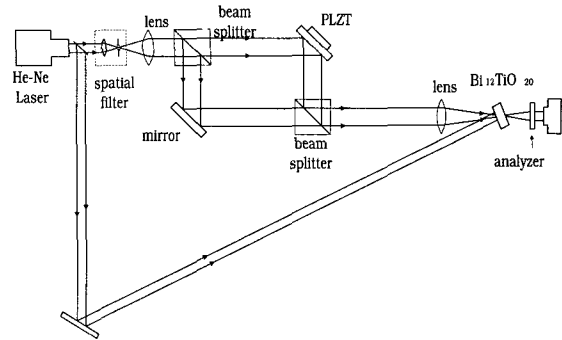


그림 2. 위상잡음 제거를 위한 이광과 혼합 방법의 구성도

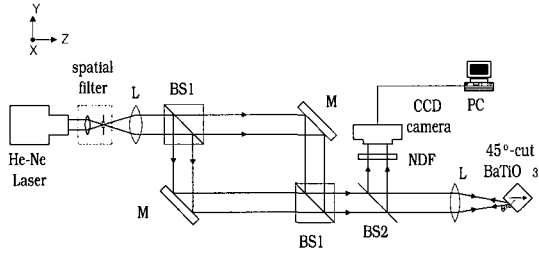
Fig. 2. The schematic of two-wave mixing method for phase noise filtering.

2. 제안한 SPPCM 이용 방법

시간평균 홀로그래프 간섭계는 진동에 의한 위상 잡음을 제거하는데 이용될 수 있다. 이는, 진동에 의한 위상 변화로 인해 시간적으로 변화하는 간섭무늬가 오랜 시간동안 매질에 기록될 때 변화하는 부분은 기록과 지워짐이 반복되어 진동 지점의 재생상은 어두워 보이게 되므로 진동에 대해 평균값의 영상이 얻어지기 때문이다. 일반적으로 홀로그래프 간섭계의 구현에는 4광과 혼합방법이나 이광과 혼합방법이 있는데 어느 경우나 신호빔을 기록하고 재생하기 위해 별도의 기준빔을 필요로 한다. 그러나 BaTiO₃, KNSBN과 같은 광굴절 매질에서는 SPPCM 특성을 이용하여 하나의 빔만을 입사시켜 매질 내에 격자를 생성시킬 수 있으므로 기준빔 없이 정보를 기록할 수 있으며 따라서 광굴절 매질의 동적인 홀로그래프 기록특성을 이용하여 시간평균 홀로그래프 간섭계를 구현할 수 있다. 즉, 진동 등에 의해 발생하는 위상 잡음을 제거할 수 있는 시간평균 홀로그래프 간섭계를 구현할 때 SPPCM을 이용하면 하나의 빔만으로 매질에 격자를 기록할 수 있으므로 이광과 혼합방법에서 사용하는 별도의 기준빔이 필요없게 되어 시스템 구성을 간단히 할 수 있다.

제안한 방법에 의한 실험 구성도는 그림 3과 같으며 실험에서는 파장이 632.8nm이고 광굴절 결정에 대해서 이상 편광된 25mW He-Ne 레이저를 사용하였다. SPPCM을 구현하기 위해 45°-cut 된 BaTiO₃를 사용

하였으며 BaTiO₃의 입사면에 수직인 방향과 입사빔간의 각도 θ 는 45로 두었다. 본 실험에서는 가장 널리 사용되고 있는 간섭계 중의 하나인 마흐젠더 간섭계를 이용하였다.



L : lens M : mirror BS1 : beam splitter(50 : 50)
BS2 : beam splitter(65 : 35) NDF : neutral density filter
PC : personal computer

그림 3. SPPCM을 이용한 위상 잡음 제거에 대한 실험 구성도
Fig. 3. The schematic of the phase noise filtering by SPPCM.

마흐젠더 간섭계에서 두 경로 중 한 쪽 경로에 주기적인 진동을 주어서 위상잡음을 발생시켰다. 여기서 100Hz 정도의 범위에서 진동을 주어 실험하였다. 마흐젠더 간섭계에서 만들어진 간섭패턴은 수렴 렌즈를 통해서 BaTiO₃에 입사된다. 이 때 자기여기 위상 공액화가 발생되어 입사 방향과 반대 방향으로 위상 공액빔이 나오게 되고 수렴 렌즈의 앞에 있는 BS2를 통해 반사되어 들어오게 된다. 실험에서는 CCD 카메라를 이용하여 영상을 얻었다.

SPPCM의 느린 응답시간과 낮은 반사율은 실제적인 이용에 상당한 문제점으로 지적되어왔다. 입사빔과 매질 사이의 입사각도, 입사빔의 크기, 파장, 편광방향, 온도 등 여러 인자들에 의해 응답시간과 반사율이 달라진다. 따라서 SPPCM에서 응답시간을 줄이며 동시에 반사율을 높이기 위해 많은 방법들이 제안되어 왔다. 그 중 한가지가 원주면 렌즈를 이용하여 빔을 입사시켜 패닝을 조절하여 응답시간과 반사율을 향상시키는 방법^[5]이다. 하지만 빔의 직경이 큰 경우 원주면 렌즈를 이용해 BaTiO₃에 빛을 입사시킬 때 빔의 길이가 매질의 길이보다 길어져 매질에 입사 시키는데 어려움을 겪게 된다. 본 논문에서는 구형렌즈를 그림 4에서와 같이 기울여 빔을 입사시킴으로써 원형의 입사빔이 아닌 타원형의 빔을 입사시키는 방법을 이용하였다.

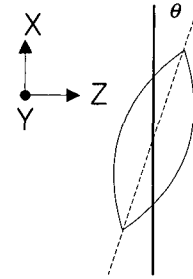


그림 4. 구형 렌즈를 기울인 형태
Fig. 4. The figure of the tilted spherical lens.

이렇게 함으로써 렌즈로부터 반사되는 빔을 제거할 수 있고, c축과 평행한 면에 집속시킬 수 있어 반사율을 높일 수 있다. 그러므로 원주면 렌즈를 이용할 경우에 발생하는 매질의 크기를 벗어나는 빔을 제거하여 응답시간과 반사율을 개선시킬 수 있게 된다. 그리고 일반거울의 경우엔 기울어진 렌즈를 통해 입사된 빔이 반사되어 다시 렌즈를 통과하면 왜곡이 발생하지만, SPPCM의 경우는 앞에서 언급한 위상 왜곡 보상 특성과 자기정렬(self-alignment) 특성을 가지고 있기 때문에 관측 평면에서 왜곡 보상된 영상을 관측할 수 있다. 실험에서는 구형렌즈를 이용해 2mm 직경의 1mW 세기의 원형빔과 타원형빔을 입사시켰을 때의 응답시간과 반사율을 측정하였고 그 결과는 그림 5와 같다.

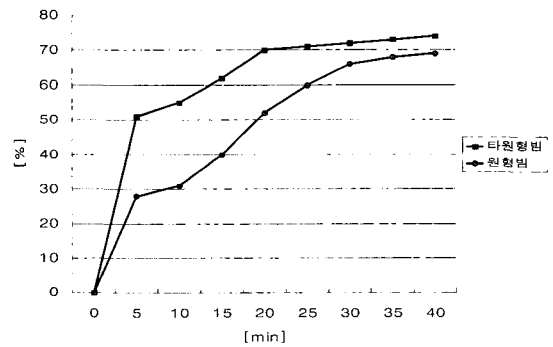


그림 5. 원형빔 입사시와 타원형빔 입사시의 반사율 비교
Fig. 5. Comparison of reflectivities of circular type beam with of ellipse type beam.

결과에서처럼 렌즈를 기울여 빔을 타원형으로 c축에 평행하게 입사시키면 매질 내에서 빔 패닝이 잘 일어나 SPPCM의 응답시간과 반사율이 개선됨을 확인할 수 있다. 실험장치를 이렇게 구성하고 위상 잡음 제거

에 관한 실험을 하였다.

먼저 그림 6(a)는 위상 잡음이 존재하지 않는 상태에서 관측된 간섭 패턴이다. 여기에 마호젠더 간섭계의 한쪽 경로에 100Hz의 주기적인 진동을 주어 간섭 패턴을 관측하게 되면 그림 6(b)와 같이 대비도가 많이 떨어지고 간섭패턴을 알아볼 수 없는 훼손된 영상이 나타나게 된다. 본 논문에서 제안한 방법으로 위상 잡음이 실린 마호젠더 간섭계를 관측하여 얻은 결과는

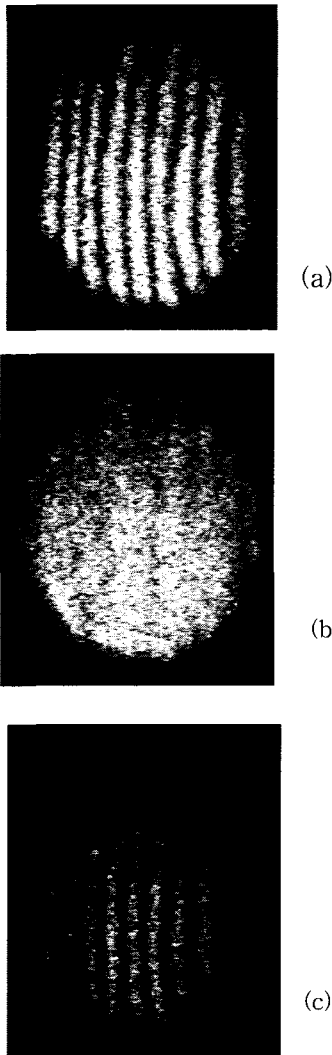


그림 6. SPPCM을 이용한 위상잡음 제거 실험에서의 결과 영상

(a) 진동이 없을 때 (b) 진동이 존재할 때 (c) SPPCM을 이용해서 얻은 결과 영상

Fig. 6. Result images of phase noise filtering by using SPPCM. (a) under no vibration (b) under sinusoidal vibration (c) the result image using SPPCM.

그림 6(c)와 같다. 그림 6(c)의 결과는 SPPCM이 정상 상태가 되었을 때 마호젠더 간섭계의 한쪽 경로를 막고 다른 쪽 경로를 재생빔으로 사용하여 얻은 결과이다. 그림에서 잡음이 제거된 것을 관찰할 수 있다. 이러한 결과는 진동이 가해지더라도 간섭패턴에서 광굴절 매질의 동적인 홀로그램 기록특성에 의해 밝은 부분은 점진적으로 기록되고 진동에 의해 어두워짐과 밝아짐이 교차하는 영역은 기록되기 전에 지워지므로 오랜 시간 매질에 기록시키면 시간 평균된 영상으로 나타나게 된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 SPPCM을 이용하여 위상잡음을 감소시켜 안정된 간섭패턴을 얻을 수 있는 방법을 제안하고 이를 실험으로 확인하였다.

SPPCM을 이용함으로써 기존에 사용된 이광파 혼합 방법보다 구성을 간단히 할 수 있다. 그리고 이광파 혼합 방법에서는 광굴절 매질을 통과하는 신호빔(signal beam)과 매질에서 회절되어 나오는 재생빔과의 분리를 위해 이방성 브래그 회절 매질만을 이용해야 되었으나 본 논문에서 제안한 방법에서는 BaTiO₃, KNSBN 등과 같이 SPPCM을 이용할 수 있는 등방성 브래그 회절매질을 이용하여 별도의 기준빔을 만드는 과정 없이 간단히 구현할 수 있다. 또한, 빔의 직경을 크게 하고 렌즈를 기울여 타원형으로 BaTiO₃에 입사시켜 원형빔 입사시의 긴 응답시간과 낮은 반사율을 개선시킬 수 있었다. 만약 입사빔의 세기를 본 논문의 실험에서보다 크게 한다면 더 좋은 결과영상을 얻을 수 있을 뿐 아니라 응답시간과 반사율도 더욱 더 개선된 결과를 가져올 것이라 생각된다.

SPPCM은 앞으로 레이저 성능 개선, 광통신에서 펄스 퍼짐 현상 제거, 광학적 측정에서의 정밀도 향상 등 수많은 분야에 응용 가능하며 이를 위해 SPPCM의 다양한 특성 분석이 이루어져야 할 것이며 분석결과를 바탕으로 한 성능 향상 문제 해결이 시급한 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] D. Tontchev, et al. "Noise filtering in the interference pattern by dynamic holographic recording in photorefractive Bi₁₂TiO₂₀ crystal,"

Applied Optics, vol. 35, no. 17, pp. 3087-3090, June 1996.

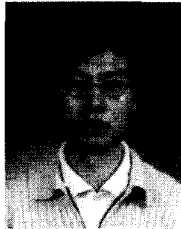
[2] J. Feinberg, "Self-pumped continuous-wave phase conjugator using internal reflection," Optics Letters, vol. 7, no. 10, pp. 486-488, Oct. 1982.

[3] J. Feinberg, "Interferometer with a self-pumped phase conjugating mirror," Optics Letters, vol. 8, no. 11, pp. 569-571, Nov. 1983.

[4] J. Zhang, et al. "Real-time double-exposure interferometry using self-pumped conjugator with Cu: KNSBN," Optics Communication, vol. 87, no 5,6, pp. 263-266, Feb. 1992.

[5] G. J. Salamo, et al. "Improved photorefractive time response using a cylindrical lens," Applied Optics, vol. 30, no. 14, pp. 1847-1854, May 1991.

저 자 소 개



韓 政 煥(正會員)

1973년 1월 14일생. 1997년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 8월~2000년 11월 원자력연구소 전문연구원. 2000년 12월~현재 고등

기술연구원 방산기술연구센터 연구원. 주관심분야는 광신호처리, 광굴절매질, 위성통신

金 星 完(正會員) 第 36券 D編 第 9號 參照

2000년 1월~현재 대우통신 연구원

金 鍾 允(正會員) 第 38券 SD編 第 1號 參照

金 喆 洙(正會員) 第 38券 SD編 第 1號 參照

현재 경주대학교 컴퓨터·전자공학부 전임강사

朴 世 駿(正會員) 第 38券 SD編 第 1號 參照

현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

金 秀 重(正會員) 第 38券 SD編 第 1號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 정교수