

논문 2008-45TC-6-2

사사이드밴드 억압비가 향상된 링 공진기형 대역통과 필터

(Ring Resonator Based Band-pass Filter with Enhanced Sideband Suppression)

경운환*, 김건덕*, 이상신**, 어윤성**

(Un-Hwan Kyoung, Gun-Duk Kim, Sang-Shin Lee, and Yun-Seong Eo)

요약

본 논문에서는 링 공진특성을 이용하여 사사이드밴드 억압비가 향상된 링 공진기형 필터를 제안하고 구현하였다. 이 링 공진 특성은 직선 전송선로와 링 전송선로의 일부 결합효과로 인하여 발생되며, 이 결합효과는 신호의 전달특성에 중요한 영향을 미친다. 또한, 링의 반지름을 조절하여 가변적으로 채널 선택이 가능하다. 본 논문에서는 기존의 링 여파기 하단에 링 전송선로를 추가함으로써 대역통과 특성이 조절되는 링 공진 여파기를 구현할 수 있었다. 필터 소자측정 결과, 중심주파수가 약 4 GHz에서 추가 삽입손실 없이 대역폭을 조절할 수 있었다. 출력된 대역통과 특성의 양쪽 사사이드밴드에 나타난 미세한 잡음을 추가된 링을 통해 제거시킴으로써, 신호의 진폭억압비를 향상시킬 수 있었고, 필터 시스템의 성능을 결정하는 Q_e 는 82였으며, 기존 필터보다 105% 향상시킬 수 있었다.

Abstract

A ring resonator based band-pass filter enabling enhanced sideband suppression was proposed and demonstrated. It is composed of a single-ring based band-pass section combined with a band-rejection section based on two different coupled rings. The sideband region of the transfer characteristics of the first band-pass filter section was selectively suppressed by means of the band-rejection section without causing any excessive insertion loss. As a result, the overall transfer characteristics of the proposed filter was improved so that its sideband suppression was elevated to allow for sharper roll-off and narrower bandwidth. In this work, a conventional single-ring band-pass filter and a proposed filter including the band-rejection section were designed and fabricated. As for the achieved device performance, with the center frequency at about 4 GHz, the sideband suppression ratio was increased as much as 8 dB and the 3-dB bandwidth was reduced from 98 MHz to 48 MHz by about 51% with no remarkable excessive insertion loss as expected. And the quality factor of the device was increased by about 105%.

Keywords : microstrip, ring resonator, sideband, bandpass, suppression

I. 서론

마이크로파/밀리미터파 대역통과 필터는 무선통신 시스템에서 채널 선택, 채널 간의 간섭 및 잡음 제거 등의 기능을 수행하는 핵심 부품이다^[1~3]. 이러한 필터 소자는 스텐브(stub)형과 링(ring) 공진기형 등의 마이크로스트립(microstrip) 선로를 이용하여 주로 구현되어

왔다. 스텐브형 선로 필터는 설계가 복잡하나 정밀한 응답특성 제어가 가능하다는 장점을 갖는다. 한편, 링 공진기형 필터는 설계가 비교적 용이하나 저지대역의 사사이드밴드(sideband) 특성 조절이 어렵다.

기존에는 이러한 문제점을 해결하기 위해 대역통과 필터에 varactor, ground plane, photonic bandgap 등의 소자를 추가하여 대역통과 신호의 하모닉(harmonic) 기생성분을 제거함으로써 사사이드밴드 억압비를 향상시켰다^[4~6]. 그러나 이러한 대역통과 특성을 갖는 링 소자는 설계가 비교적 복잡할 뿐만 아니라, 삽입손실도 불가피하게 증가하게 된다.

본 논문에서는 기존의 단일 링 공진기 선로 기반 대

* 학생회원, ** 정회원, 광운대학교
(Kwang-Woon University)

※ 본 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(KRF-2007-D00195-I01041).

접수일자: 2008년3월28일, 수정완료일: 2008년6월19일

역통과 필터의 출력 단에 결합된 두 개의 링 공진기형 선로로 구성된 대역제거 필터부를 도입함으로써 사이드밴드 특성이 개선되고 대역폭 조절이 가능한 필터를 제안하고 구현하였다. 여기서 대역저지 필터를 구성하는 두 링 선로의 기능은 링 크기를 조절하여 각각의 공진주파수를 통과대역의 양쪽에 위치시켜 사이드밴드 부분만을 선택적으로 제거하여 대역폭을 감소시킴으로써 Q값 (quality factor) 을 향상시키는 것이다. 이 때 추가되는 링으로 인한 삽입손실은 거의 없다.

II. 본 론

1. 제안된 소자의 동작원리, 설계 및 소자제작

가. 제안된 소자의 동작원리

제안된 사이드밴드 억압비가 향상된 링 공진기형 대역통과 필터의 구조가 그림 1에 도시되어 있다. 이 소자는 기본적으로 두 개의 직선 버스 선로 L1 및 L2와 링 선로 R1으로 이루어진 기존의 대역통과 필터부와, 링 선로 R2 및 R3와 직선 버스 선로 L3로 이루어진 대역저지 필터부로 이루어져 있다. 직선 선로 L1의 입력 포트로 인가된 마이크로파 신호(P_0)의 일부가 링 선로 R1과의 결합영역 부분에서 링으로 결합된 후 반복적으로 링을 진행하면서 입력신호와 간섭을 일으키게 된다. 결과적으로 버스 선로 L2의 출력포트에서 얻어지는 신호(P_1)는 주기적인 대역통과 필터 특성을 갖게 된다^[7]. 한편, 대역통과 필터부의 출력 단에 연결된 대역제거 필터부의 경우에는 두 링 선로 각각의 경로 길이에 의해 결정되는 주파수 대역에서 주기적인 대역저지 공진 특성(P_2/P_1)이 얻어진다^[8-9].

그림 2에는 제안된 소자의 동작원리 이해를 돕기 위

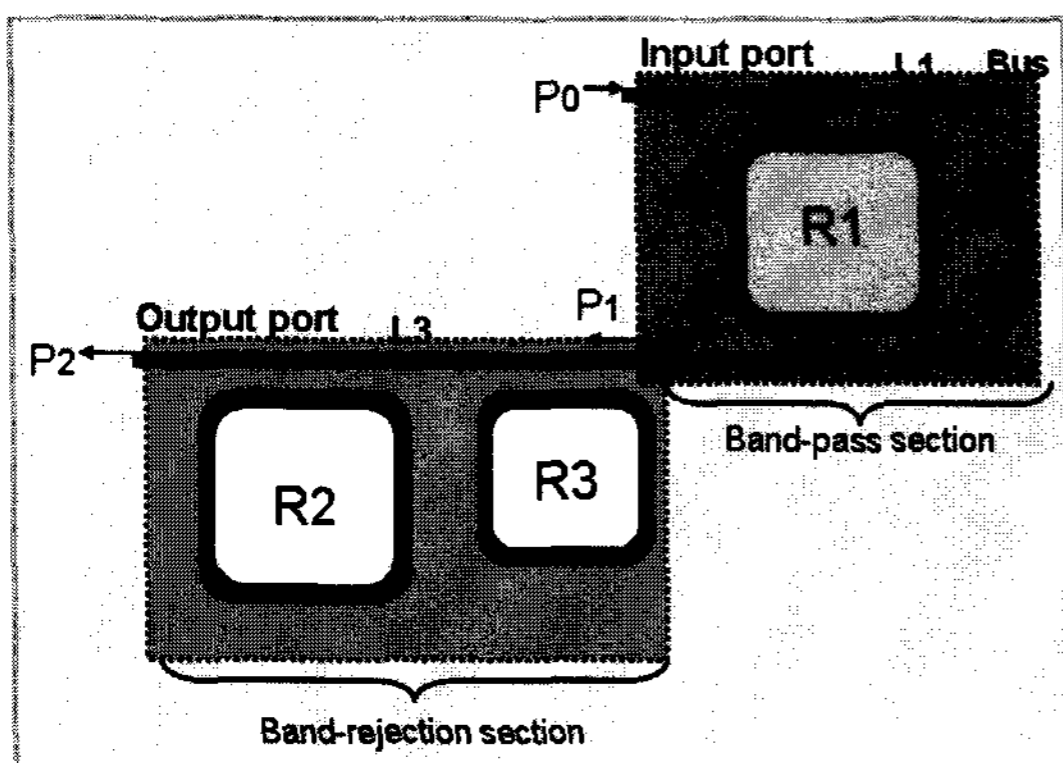


그림 1. 제안된 다중 링 공진기형 대역통과 필터
Fig. 1. Schematic of the proposed ring resonator based filter.

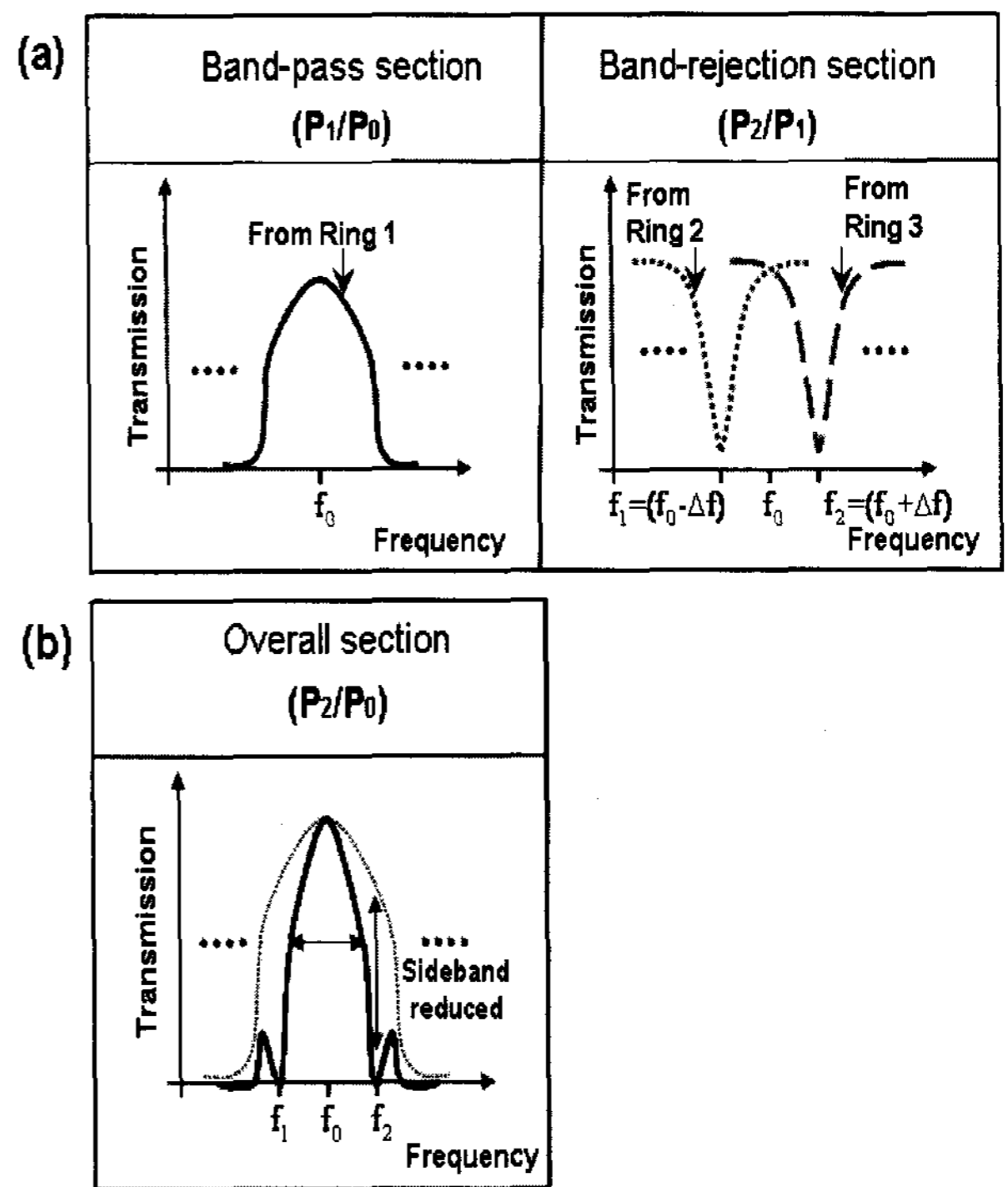


그림 2. 제안된 필터의 동작원리 (a) 대역통과 및 대역저지부의 전달특성 (b) 전체소자의 전달특성
Fig. 2. Operating principle of the proposed filter (a) transmission of the band-pass and band-rejection section (b) overall response.

한 각 부분의 전달특성이 도시되어 있다. 먼저, 그림 2(a)에서 알 수 있듯이, 대역통과 필터부의 출력포트에서는 링 선로 R1의 크기에 의해 결정되는 주기적인 대역통과 공진특성(P_1/P_0)이 얻어진다. 그리고 대역제거 필터부에서는 앞에서 언급된 대로 주기적인 대역저지 공진특성이 얻어진다. 여기서 대역통과부의 공진으로 인한 중심주파수는 f_0 , 대역저지부의 공진주파수는 f_1 과 f_2 인 경우를 가정하였으며, 이러한 공진주파수는 각 링 선로의 크기에 의해 결정된다. 제안된 필터의 전체 응답특성은 그림 2(b)에 나타나 있는데, 기존의 단일 링 기반 대역통과 필터의 전달특성으로부터 통과대역 밖에 존재하는 원하지 않는 사이드밴드만을 선택적으로 제거함으로써 제안된 소자의 응답특성이 향상되었음을 알 수 있다. 즉, 그림에서 알 수 있듯이 사이드밴드 억압비는 향상되고 대역폭은 감소하며 roll-off 특성도 개선되었다. 이 때, 제안된 소자의 경우 기존의 대역통과 특성을 갖는 링 필터를 다단으로 결합시킨 경우와는 달리 대역제거 필터부 도입으로 인한 추가 삽입손실은 없다.

나. 제안된 소자의 설계

본 논문에서는 ADS (Advanced Design System) 툴

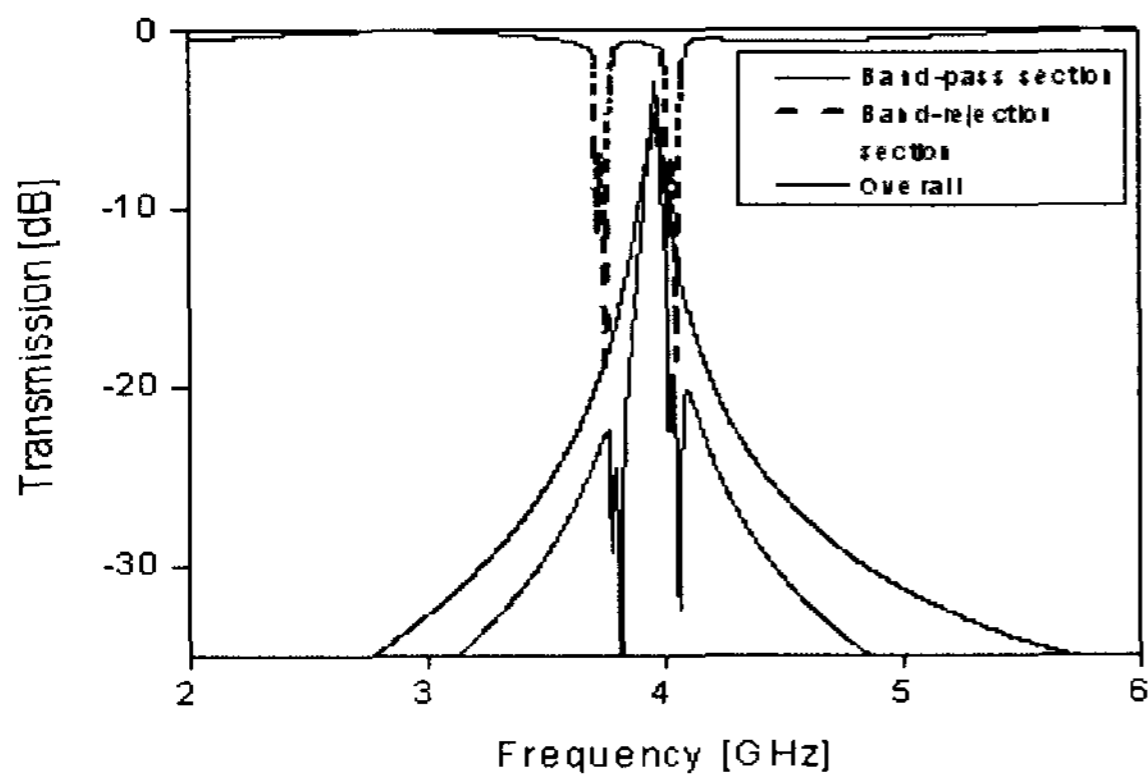


그림 3. 설계된 소자 응답특성
Fig. 3. Transfer characteristics for the designed filter.

을 이용하여 제안된 필터를 설계하고 해석하였다. 얻어진 설계 파라미터를 살펴보면 다음과 같다. 링 공진기형 선로 R1, R2, R3의 직경은 각각 12.3 mm, 13.1 mm, 12.7 mm이고, 직선 버스와 링 선로의 폭은 동일하게 1 mm이고, 선로 두께는 18 μm 이다. 그리고 최적화된 소자성능을 얻기 위해서 60.4 Ω 의 임피던스 매칭을 하였다. 그림 3에는 설계된 소자의 계산된 응답특성이 도시되어 있다. 먼저, 단일 링 공진기 선로로 이루어진 기존 필터부의 경우 중심주파수 약 4 GHz 대역에서 적절한 대역통과 특성을 나타낼 수 있다. 그리고 두 개의 링으로 이루어진 대역제거 필터부의 응답특성을 살펴보면 중심주파수 대역의 고주파 및 저주파 대역에서 저지대역이 존재함을 알 수 있다. 이 두 대역저지 공진주파수 간의 간격은 대략 220 MHz였다. 설계된 소자의 전체 응답특성을 살펴보면, 기존 필터의 통과대역에 인접한 사이드밴드만이 대역제거 필터부에 의해 선택적으로 감소되어 억압비가 향상되고 대역폭은 작아졌음을 알 수 있다.

다. 제안된 소자제작

제안된 소자는 마이크로스트립 선로 제조 공정 중의 하나인 급속 피막식각법을 통하여 제작되었으며 그 과정이 그림 4에 도시되어 있다. 먼저 구리(Cu) 박막으로 상하부가 코팅된 테프론(teflon) 기판 위에 TPR 포토레지스트 용액을 스핀코팅 하여 박막을 형성하고, 그 위에 소자 패턴을 갖고 있는 마스크를 정렬한 후 자외선을 조사한다. 적절한 용액(Na_2CO_3)을 이용하여 패턴을 현상하고, 노출된 금속 박막 부분을 식각용액($\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$)을 이용하여 제거함으로써 소자를 완성하였다.

본 논문에서는 제안된 다중 링 공진기형 대역통과

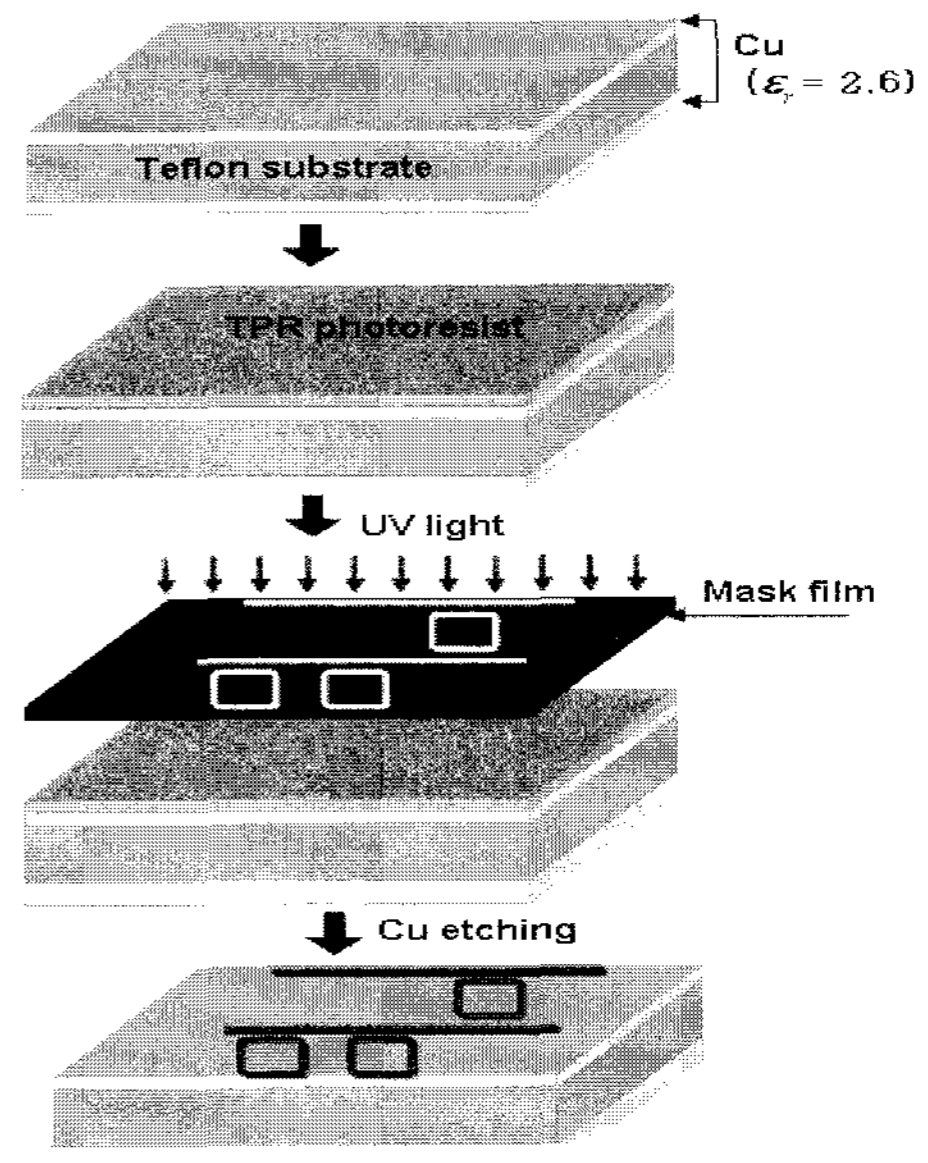


그림 4. 소자 제작 과정
Fig. 4. Device fabrication procedure.

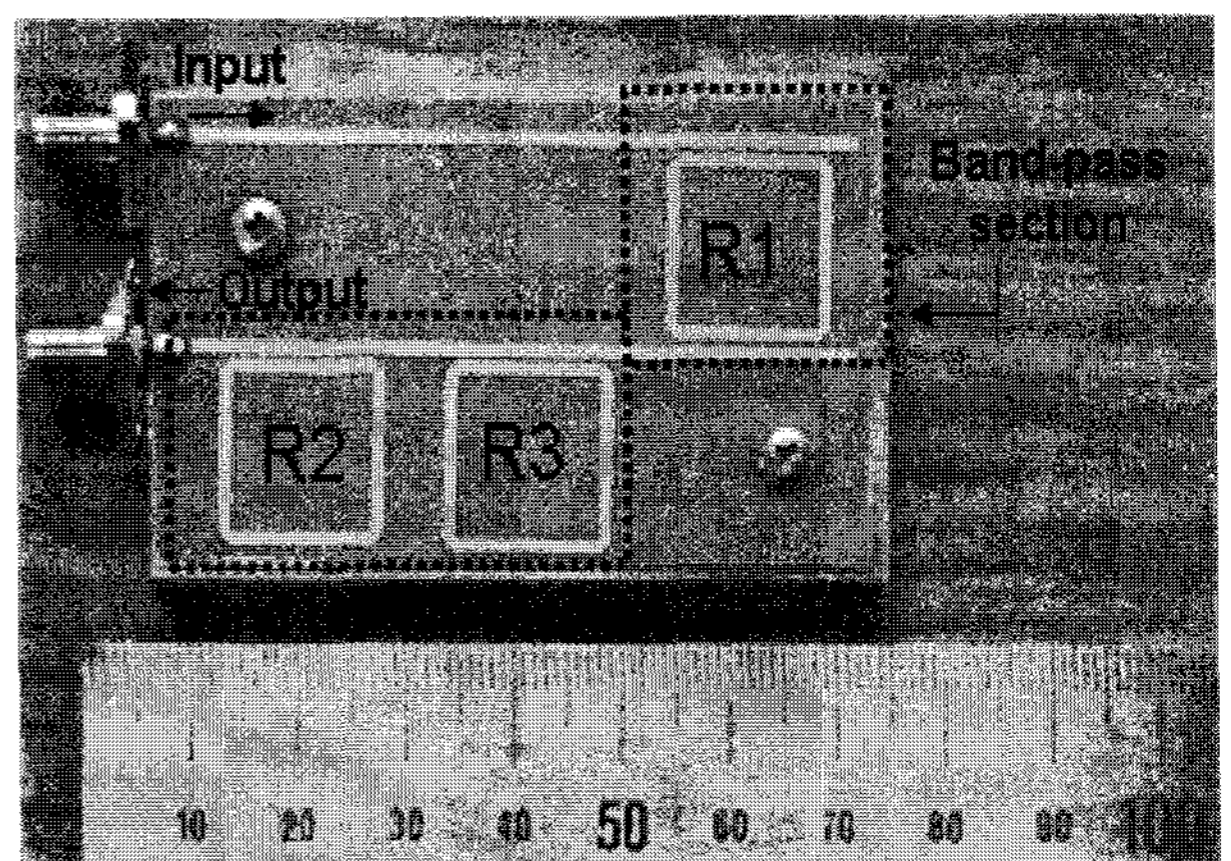


그림 5. 제작된 필터
Fig. 5. Fabricated filter.

필터와 더불어 성능 비교를 위하여 기존의 단일 링 공진기형 소자도 함께 제작하였다. 그림 5는 입출력 단에 커넥터가 연결되어 있는 제작된 다중 링 공진기형 필터의 사진을 보여준다.

제작된 필터의 전달특성은 네트워크 분석기를 이용하여 측정되었다. 먼저 그림 6(a)는 기존의 단일 링 공진기형 필터의 전달특성에 대한 측정 및 계산 결과를 보여준다. 전체적으로 중심주파수 약 4 GHz 대역에서 대역통과 응답특성을 가지며, 삽입손실은 약 3.95 dB이고 3-dB 대역폭은 약 98 MHz였다. 그림 6(b)는 대역저지 필터부가 도입된 제안된 다중 링 공진기형 필터의 전달특성에 대한 측정 및 계산 결과를 보여준다. 중심주파수 약 4 GHz 대역에서 얻어진 삽입손실은 약 3.8 dB이고, 3-dB 대역폭은 48 MHz였다. 여기서 삽입손실의 주요 원인으로서는 임피던스 부정합 및 최적화

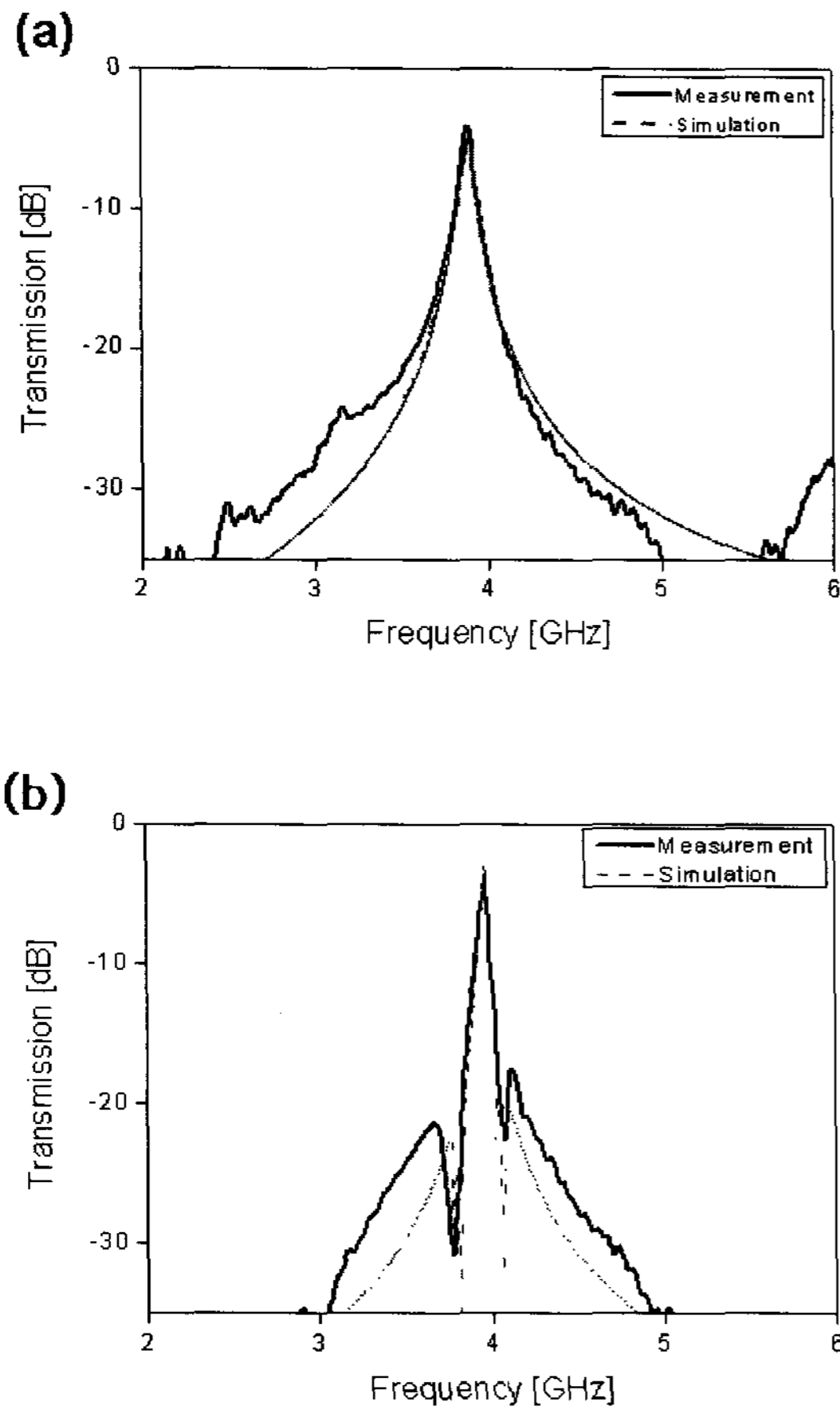


그림 6. 제작된 소자의 전달특성 (a) 기존 단일 링 공진기형 필터 (b) 제안된 다중 링 공진기형 필터
 Fig. 6. Measured transfer curves for (a) the conventional single-ring based filter (b) the proposed multi-ring based filter.

되지 못한 링과 버스 간의 결합 효과에 기인한다. 즉, 입출력 단의 직선 선로의 선폭은 1.37 mm로 임피던스는 50Ω이고, 이외의 링과 직선 선로의 선폭은 1mm로 임피던스는 60.4Ω이다. 이를 개선하기 위해서는 테이퍼 구조 등의 도입이 요구된다.

III. 실험

그림 7(a)에는 기존의 단일 링 기반 소자에 대역저지 필터부가 도입됨으로써 얻어진 개선 효과를 구체적으로 알아보기 위하여 기존 필터와 제안된 필터의 전달특성을 함께 도시하였다. 실선으로 표시된 기존 소자에 비해 대역저지 필터부를 도입함으로써 통과대역에 인접한 사이드밴드의 크기가 감소하여 전반적으로 roll-off 특성이 향상되었음을 알 수 있다. 이 때, 삽입 손실은 거의 변화가 없었다. 그림 7(b)에는 다양한 출력 레벨에서의 해당 주파수 대역폭이 나타나 있다. 특

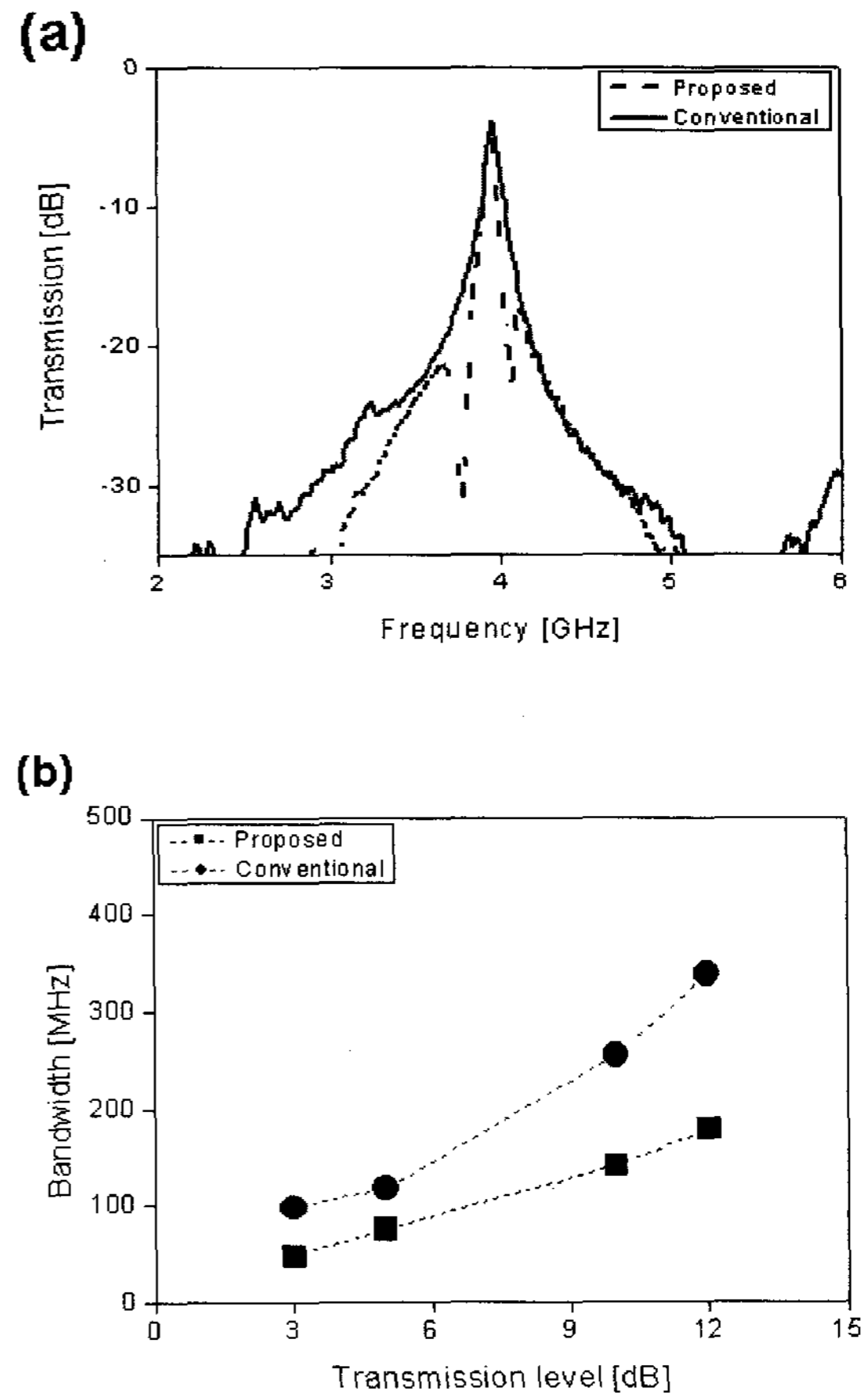


그림 7. 다중 링 기반 필터와 기존 단일 링 기반 필터의 특성 비교 (a) 전달특성 (b) 대역폭
 Fig. 7. Performance comparison of the conventional and proposed filter (a) spectral response (b) bandwidth for different output levels.

히, 대역저지 필터부가 도입되어 3-dB 레벨에 대한 대역폭이 98 MHz에서 48 MHz로 약 51% 감소하였으며, 그리고 10-dB 레벨의 경우에는 약 50% 감소하였다. 또한, 대역저지 공진주파수가 위치한 사이드밴드 대역에서의 억압비가 최대 약 8 dB만큼 향상됨을 확인하였다^[10~12]. 제안된 필터의 Q값은 대역저지 필터부의 도입으로 인하여 40에서 82로 기존 소자에 비해 약 105% 향상되었다. 앞에서 언급된 실험 및 계산 결과를 토대로 기존의 단일 링 선로 기반 대역통과 필터에 대역저지 필터를 집적하여 선택적으로 사이드밴드를 제거함으로써 억압비가 향상되고 대역폭이 감소될 수 있음을 확인하였다.

IV. 결론

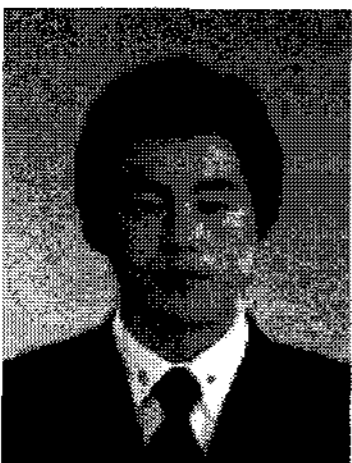
본 논문에서는 단일 링 공진기형 대역통과 필터의 출력 단에 두 개의 결합된 링 공진기로 구성된 대역제

거 필터부를 집적하여 전달특성이 조절되는 대역통과 필터를 구현하였다. 기존의 단일 링 기반 소자에 비해 추가 삽입손실 없이 억압비는 향상되었고 대역폭은 감소되었다.

참고 문헌

- [1] K. Chang and L. H. Hsieh, Microwave ring circuits and related structures. New Jersey: Wiley, pp. 30-174, 2004.
- [2] D. M. Pozar, Microwave engineering. Wiley: pp 183-197, 2005.
- [3] K. Chang, Microwave solid-state circuits and applications. New York: Wiley, pp. 117-142, 1997.
- [4] A. Griol, D. Mira, J. Marti, and J. L. Corral, "Harmonic suppression in microstrip multistage coupled-ring band-pass filters using defected ground structures," Microwave & Opt. Technol. Lett., vol. 39, no. 5, pp. 351-354, 2003.
- [5] J. Marti and A. Griol, "Harmonic suppressed microstrip multistage coupled ring band-pass filters," Electron. Lett., vol. 34, no. 22, pp. 2140-2142, 1998.
- [6] A. Griol, D. Mira, A. Martinez, J. Marti and J. L. Corral, "Microstrip multistage coupled ring band-pass filters using photonic bandgap structures for harmonic suppression," Electron. Lett., vol. 39, no. 1, pp. 68-70, 2003.
- [7] M. Makimoto and M. Sagawa, "Varactor tuned band-pass filter using microstrip-line ring resonators," IEEE MTT Int'l Symp. Digest, pp. 411-414, 1986.
- [8] K. Chang, S. Martin, F. Wang and J. L. Klein, "On the study of microstrip ring and varactor-tuned ring circuits," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. MTT-35, no. 12, pp. 1288-1295, 1987.
- [9] H. J. Park, H. J. Park and J. C. Lee, J. H. Kim, B. J. Lee and N. Y. Kim, "A new harmonic-suppressed tunable microstrip-ring band-pass filter," Microwave & Opt. Technol. Lett., vol. 30, no. 1, pp. 26-29, 2001.
- [10] J. Y. Park, H. J. Park and J. C. Lee, "Varactor-tuned microstrip-ring resonators with new enhanced coupling structure," Microwave & Opt. Technol. Lett., vol. 20, no. 3, pp. 211-214, 1999.
- [11] 김동일, 김보영, 이서, "링 공진기를 사용한 대역통과 필터의 설계에 관한 연구", 한국전자과학회 논문지, vol. 15, no. 6, pp. 533-539, 2004.
- [12] 임철수, 이건상, 이종철, "Coupling이 향상된 microstrip square ring resonator를 이용한 대역통과 필터 설계", 한국통신학회 하계종합학술발표대회 논문초록집, p. 320, July 2004.

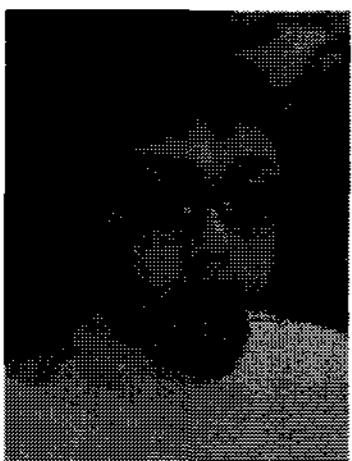
저 자 소 개



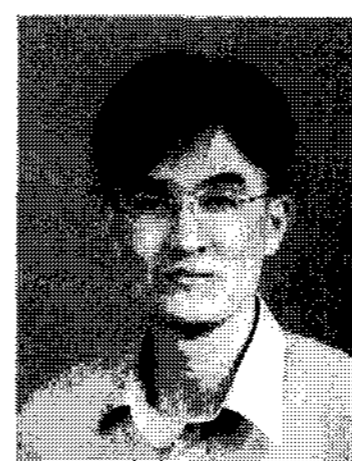
경 운 환(학생회원)
2007년 광운대학교 학사 졸업.
2007년~현재 광운대학교 대학원
전자공학과 석사과정.



이 상 신(정회원)
1991년 KAIST 학사 졸업.
1993년 KAIST 석사 졸업.
1997년 KAIST 박사 졸업.
2004년~현재 광운대학교
전자공학과 부교수.



김 건 덕(학생회원)
2006년 광운대학교 석사 졸업.
2007년~현재 광운대학교 대학원
전자공학과 석.박통합과정.



어 윤 성(정회원)
1993년 KAIST 학사 졸업.
1995년 KAIST 석사 졸업.
2001년 KAIST 박사 졸업.
2005년 9월~현재, 광운대학교
전자공학과 조교수.