THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2020 November.; 31(11), 990～993.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2020.31.11.990
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

혼 안테나를 구동하는 FR-4 상의 77 GHz 레이다 트랜시버

77 GHz Radar Transceiver with Horn Antenna on FR-4 PCB

김준성[1] · 김현진[2] · 송 림[3] · 김병성[4]

Jun-Seong Kim[1] · Hyun-Jin Kim[2] · Reem Song[3] · Byung-Sung Kim[4]

요 약

본 논문에서는 혼안테나를 구동하는 FR-4 기판상에 구현한 77 GHz 레이다 트랜시버를 제안한다. 능동 소자는 자체 제작한 칩상 급전기 내장형 송, 수신칩을 사용하였으며, 종래의 금속 캐버티 패키징 대신 3장의 FR-4 기판을 적층하여 캐버티와 개구면을 형성하여 WR-10 혼 안테나를 구동할 수 있는 레이다 모듈을 구현하였다. FR-4 패키징에 대한 3-D 전자기 시뮬레이션 결과, 75～80 GHz에서 칩에서 도파관 개구면까지 삽입손실은 1.62 dB, 도파관 개구면에서 반사 손실은 −10 dB 이하임을 확인했다. 24 dBi 이득의 혼 안테나를 장착하여 전방 81 m에 위치한 중형차를 탐지한 결과, SNR 28 dB임을 확인했다. 제안한 레이다 트랜시버는 총 371 mW의 DC 전력을 소모하고, 사이즈는 50 mm×80 mm×4.2 mm이다.

Abstract

In this study, we propose a 77 GHz radar transceiver implemented on an FR-4 substrate driving a horn antenna. The self-developed CMOS transmitter and receiver chips with on-chip feeders are used as active components. Instead of conventional metal cavity packaging, three FR-4 substrates were stacked to form a cavity and aperture to drive the WR-10 horn antenna. Three-dimensional electromagnetic simulation for FR-4 packaging confirms that the insertion loss from the chip to the waveguide aperture was 1.62 dB and the return loss from the waveguide aperture was less than −10 dB from 75 to 80 GHz. With a horn antenna of 24 dBi gain, a medium-sized vehicle located 81 m in front was detected, and the measured SNR was 28 dB. The proposed radar transceiver consumes a total of 371 mW DC power, and its size is 50 mm×80 mm×4.2 mm.

Key words: FR-4, WR-10 Waveguide, Millimeter-Wave (mm-wave), Radar System, Packaging

Ⅰ. 서 론

mm-wave 레이다 센서의 주요 응용 분야 중 하나는 차량의 첨단 운전자 지원 시스템이다. 이 시스템은 차량의 다양한 위치에 레이다 센서가 장착되어 운전자의 안전성을 높이고 각종 사고를 줄일 수 있어 레이다 센서는 고성능, 고집적화, 저전력 및 낮은 제조 비용이 요구된다[1],[2]. 공정기술의 발전으로 칩 제작 비용은 내려가지만, 패키지 제작 비용은 기존과 비슷하거나 증가하고 있다. 본 연구에서는 기존의 mm-wave 대역에서 사용하는 금속 도파관

「이 연구는 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(No. 20002712).」

성균관대학교 정보통신대학 전자전기컴퓨터공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University)

1: 석 · 박사통합과정(https://orcid.org/0000-0003-0036-4034), 2: 석사과정(https://orcid.org/0000-0001-6153-0521),

3: 연구교수(https://orcid.org/0000-0002-7088-1777), 4: 교수((https://orcid.org/0000-0003-3084-6499)

· Manuscript received September 25, 2020 ; November 4, 2020 ; Accepted November 9, 2020. (ID No. 20200925-082)

· Corresponding Author: Byung-Sung Kim (e-mail: bskimice@skku.edu)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

지그를 이용한 패키징을 대체하여 FR-4 PCB의 적층을 사용한 mm-wave 패키징 구조를 제안한다.

본 논문 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 FR-4 패키징 구조에 관해 설명하고, Ⅲ장은 송수신기를 장착한 레이다 시스템 설계에 관하여 설명하며, Ⅳ장은 혼 안테나를 이용한 장거리 탐지에 관한 측정 결과를 제시한다. 마지막으로 Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. FR-4 패키징 설계

그림 1은 기 연구에서 발표된 금속 도판관 구조를 이용한 칩에서 개구면까지의 천이 구조이다[3]. WR-10 도파관 입구에 칩상 급전기를 내장한 송수신 칩을 부착하고, 동작에 필요한 전원공급 및 기준신호는 본 딩 와이어를 통하여 공급한다. 메탈 지그의 전면은 혼 안테나를 연결할 수 있도록 UG-387/U 규격의 도파관 플랜지 구조로 되어 있으며, 후면은 온-칩 급전기의 back-short과 후방 방사 손실을 줄이는 역할을 한다.

그림 2는 본 연구에서 설계한 FR-4 PCB를 이용한 도파관 천이 구조를 보여준다. L3층에 설계된 WR-10 개구면 위에 송수신 칩이 부착되어 있으며, 본 딩 와이어를 통하여 전원 공급 및 기준신호가 주입된다. 칩이 위치하는 L2층의 내부 벽면은 금도금이 되어, 전기적으로 쉴드 역할을 하는 캐버티 구조이다. L1, L2층은 온-칩 급전기의 back- short과 본딩 와이어를 보호해 주는 역할을 하기 위해 설계되었고, 시뮬레이션을 통하여 FR-4 기판의 두께를 결정했다. 그 결과, L1, L2, L3 기판의 두께는 1.6 mm, 1 mm, 1.6 mm이고, 2층 구조를 사용했다.

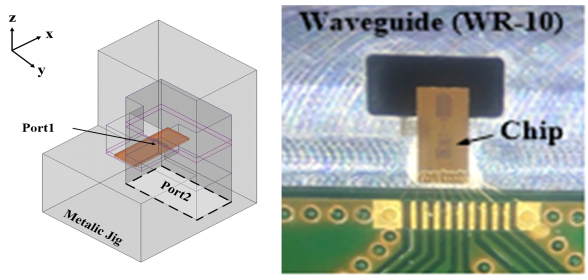


그림 1. 메탈 지그를 이용한 도파관 천이 구조[3]
Fig. 1. Waveguide transition structure using metal jig[3].

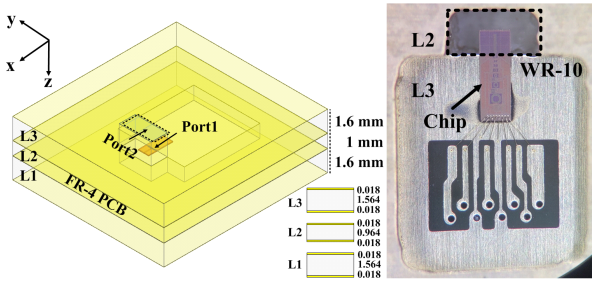


그림 2. FR-4 PCB를 이용한 도파관 천이 구조
Fig. 2. Waveguide transition structure using FR-4 PCB.

그림 3은 메탈과 FR-4로 제작한 지그의 도파관 천이 *S*-파라미터 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 77 GHz에서 메탈 지그의 *S*(2,1)은 −1.48 dB, FR-4 지그는 −1.62 dB이고, 75~80 GHz에서 차이는 0.3 dB 이내임을 보였다. *S*(1,1), *S*(2,2) 결과 두 지그 모두 −10 dB 이하임을 확인했다.

그림 4는 FR-4 기판을 이용한 천이구조의 전자장 시뮬레이션 결과로, TE_{10} 모드가 성공적으로 생성됨을 확인할 수 있으며, 이를 실제 검증하기 위해 적층 FR-4 기판을 이용해 캐버티와 도파관 개구면을 제작하여 검증하였다. 송신기와 수신기의 격리도 시뮬레이션 결과는 −130 dB 이하임을 확인했다.

Ⅲ. 레이다 시스템 구성도

그림 5는 본 연구에서 제안하는 FMCW 레이다 시스템

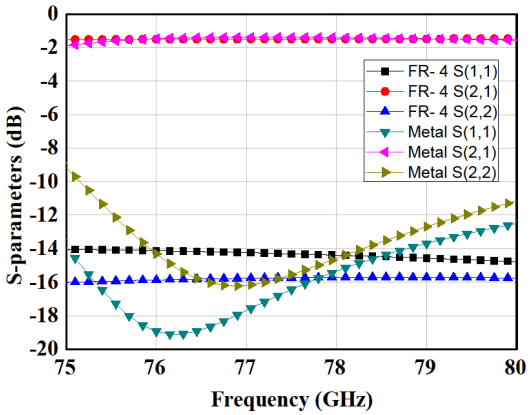
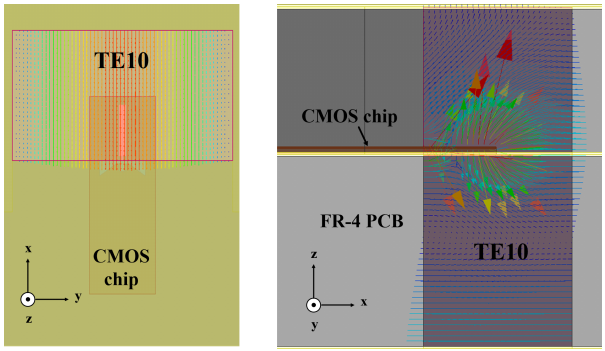


그림 3. 메탈과 FR-4로 제작한 지그의 도파관 천이 *S*-파라미터 시뮬레이션 결과[3]
Fig. 3. Waveguide transition *S*-parameter simulation results for metal and FR-4 jig[3].



(a) xy 평면 (b) xz 평면
(a) xy-plane (b) xz-plane

그림 4. 전자장의 분포
Fig. 4. E-field distribution.

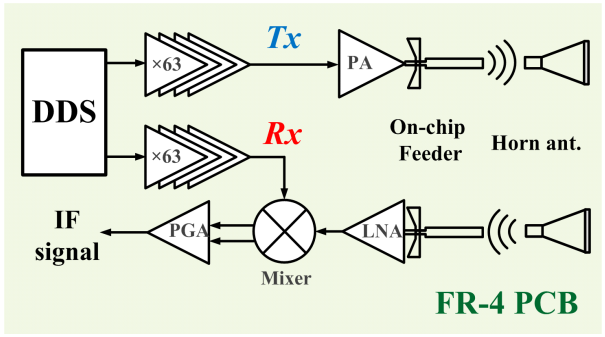


그림 5. FMCW 레이다 시스템 구조
Fig. 5. FMCW radar system architecture.

구조를 보여주고 있다. 사용한 송수신기는 65-nm CMOS 공정을 이용하여 자체 제작했으며, 동작 범위는 76.86~81.9 GHz이다. 송수신기에 63 비율의 주파수 멀티플라이어가 설계되어, 상용 direct digital synthesizer(DDS)로 1.23 GHz 대역에서 합성된 기준 FMCW 파형을 온-칩 급전기를 통하여 방사가 가능하다[4]. 송수신기 측정 결과, 77 GHz에서 송신 출력 10 dBm, 수신 변환이득 26 dB, 잡음지수 13 dB이다. 수신기의 차동 출력을 단일 출력으로 변환하기 위해 외부 기저대역 증폭기를 사용했고 20 dB 이득을 가진다. 연구에 사용한 칩의 자세한 설명은 참고문헌 [5]에 있다.

그림 6은 FR-4 보드로 제작된 한 보드에 송수신기를 구성한 레이다 보드의 전·후면이고, 그림 7은 측정을 위

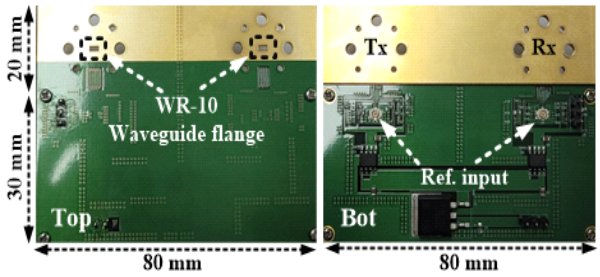


그림 6. 레이다 보드 앞, 뒷면
Fig. 6. Top and bottom view of the radar board.

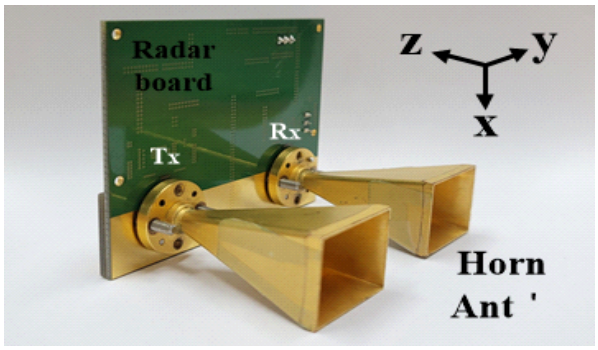
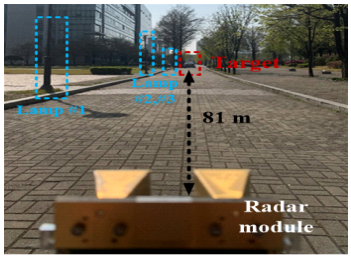


그림 7. FR-4 패키징에 혼 안테나를 연결한 레이다 보드
Fig. 7. Radar board with horn antenna connected to FR-4 packaging.

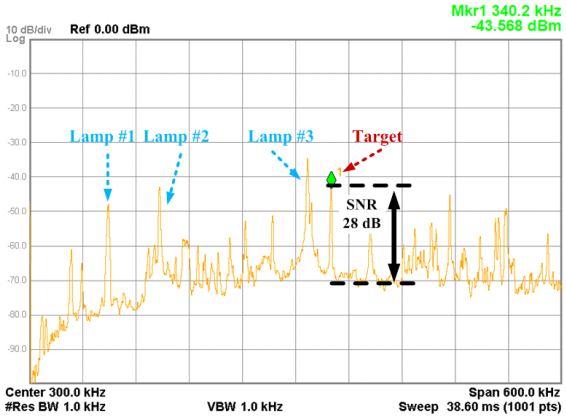
해 레이다 보드에 WR-10 개구면에 혼안테나를 연결한 모습을 보여주고 있다. 사용한 혼 안테나의 이득은 77 GHz에서 24 dBi이고, 앙각 방위각은 5도이다. 송수신기는 총 371 mW의 DC 전력을 소모하고, 레이다 보드 사이즈는 50 mm×80 mm×4.2 mm이다.

Ⅳ. 측정 결과

그림 8(a)은 거리 탐지 측정 환경을 보여주고 있다. 측정 방법은 기 논문에서 발표한 내용을 기반으로 측정했다[3]. FR-4 PCB로 제작한 레이다 시스템을 지상에서 80 cm 높이에 설치하고, 레이다 유효 반사 면적이 77 GHz에서 대략 10 dBsm으로 계산되는 중형차를 표적으로 사용했다. FMCW 신호는 DDS를 이용하여 1.23~1.24 GHz 생성하고, 송수신기에 주입하여 77.49~78.12 GHz로 630 MHz의 대역폭을 가진 2 ms 삼각 파형이다. 표적은 위치



(a) 실험 환경
(a) Experiment environment



(b) 81 m 떨어진 표적에 대한 IF 스펙트럼
(b) Measured IF spectrum with the target 81 m away

그림 8. 실외 거리 탐지 측정 결과
Fig. 8. Out-door range detection measurement results.

를 이동하면서 IF 주파수의 변화를 관찰하여 식별했고, 그림 7(b)은 측정 결과를 보여준다. 그 결과, 81 m에 위치한 표적의 수신파워는 −43.5 dBm으로 SNR 28 dB를 얻었다. 이 수신전력 계산은 레이다 방정식인 식 (1)에 송수신기 측정 값인 수신전력 P_r, 송신전력 P_t을 대입하고, 파장 λ, 송수신 안테나 이득 G_t, G_r인 24 dBi, 거리 R 81 m를 대입하여 계산하면 −43.7 dBm으로, 측정한 값과 계산된 전력과 상당히 유사하다[6]. 레이다는 탐지 거리가 두 배 증가할 때마다 수신전력이 12 dB 감소하는데, 이를 바탕으로 162 m에 대한 신호는 SNR 16 dB일 것으로 예상되어 장거리 탐지가 가능함을 보였다.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (1)$$

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 혼안테나를 구동할 수 있는 FR-4 기판에 구현한 77 GHz 레이다 모듈을 제안하고, 실제 혼안테나와 자체 제작한 레이다 칩을 활용하여 표적을 탐지함으로써 저가의 패키징이 가능함을 검증하였다.

References

[1] Y. Kawano, T. Suzuki, M. Sato, T. Hirose, and K. Joshin, "A 77 GHz transceiver in 90 nm CMOS," in *Proceedings of the IEEE International Solid-State Circuits Conference*, San Francisco, CA, Feb. 2009, pp. 310-311, 311a.

[2] J. Hatch, A. Topak, R. Schnabel, T. Zwick, R. Weigel, and C. Waldschmidt, "Millimeter-wave technology for automotive radar sensors in the 77 GHz frequency band," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 60, no. 3, pp. 845-560, Mar. 2012.

[3] O. Kwon, C. Cui, J. Kim, J. Park, R. Song, and B. Kim, "A compact integration of a 77 GHz FMCW radar system using CMOS transmitter and receiver adopting on-chip monopole feeder," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 6746-6757, 2019.

[4] C. Cui, S. K. Kim, R. Song, J. H. Song, S. Nam, and B. S. Kim, "A 77-GHz FMCW radar system using on-chip waveguide feeders in 65-nm CMOS," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 63, no. 11, pp. 3736-3746, Nov. 2015.

[5] J. S. Kim, H. J. Kim, M. G. Shin, J. H. Park, O. Y. Kwon, and R. Song, et al., "79 GHz active array FMCW radar system on low-cost FR-4 substrates," *IEEE Access*, to be published. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3039513

[6] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar System*, 3rd ed. New York, YK, McGraw-Hill, 2001.