

## 강유전체 위상변위기를 이용한 위상배열 안테나

문승언, 류한철, 곽민환, 김영태, 이상석, 이수재

한국전자통신연구원 반도체·원천기술연구소

### Prototype Phase Array Antenna using Ferroelectric Phase Shifter

Seung Eon Moon, Han-Cheol Ryu, Min Hwan Kwak, Young-Tae Kim, Sang-Seok Lee, and Su-Jae Lee

ETRI

#### Abstract

4-bit 강유전체 위상변위기를 이용하여 10 GHz, 상온에서 작동하는 위상배열 안테나를 설계 및 제작하였다. 이 안테나는 빔 스캔을 위하여 전압에 대한 비선형특성을 보이는 강유전체  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$  (BST)를 기본으로 하는 위상변위기를 이용하였다. 우리는 펄스레이저 증착법으로 MgO (001) 기판위에 걸맞게 증착된 BST 박막을 일반적인 사진공정과 식각법을 이용하여 동일평판형 전극을 가진 위상변위기를 만들었다. 일반적인 동일평판형 강유전체 위상변위기의 경우 연결 전송선로의 임피던스와의 차이로 인해 반사손실과 이로 인한 부가적인 삽입손실이 발생한다. 이런 손실들을 줄이기 위해 입력과 출력 포트에 임피던스 매칭을 하였다. 이렇게 테이퍼링되어 만들어진 동일평판형 위상변위기는 이전의 구조에 비해 반사 손실과 삽입 손실 값에서 각각 약 10, 2 dB 정도씩의 개선을 보였다. 이 구조로 전송선로의 길이를 길게하여 만든 1-bit 강유전체 위상변위기는 10 GHz, 150 V의 전압변화에서 180도의 차등위상변위를 보였으며 최대 삽입손실과 최대 반사손실은 각각 약 10 dB, 20 dB 이다. 안테나 모듈은 4개의 마이크로스트립 패치 안테나와 4개의 강유전체 위상변위기로 이루어졌는데 10 GHz, 150 V의 전압변화에서 약 15도의 빔 스캔을 확인하였다.

**Key Words :** ferroelectric phase shifter, CPW, phase array antenna, beam scanning.

#### 1. 서 론

위상배열 안테나 시스템의 핵심 요소인 위상 변위기는 전송파의 시간차를 전자적으로 조절해주어 출력 빔의 방향을 조절하는 소자로서 이를 이용한 안테나는 기존의 기계적으로 빔의 방향을 조절하는 대신 전자식제어 안테나인데 이동통신, 위성통신이나 군사용 레이다 시스템 등 다양한 용도를 가지고 연구되고 있다.[1]

일반적으로 위상 변위기는 강자성체나 반도체를 이용한 위상변위기가 쓰이고 있으나 강자성체를 이용한 위상 변위기는 제어신호에 대한 응답이 느리기 때문에 빠른 빔 스캐닝 (beam scanning)이 요구되는 시스템에서는 사용하기가 힘들고 자기장을 통한 제어를 하기에 시스템이 커지고 소모전력이

커서 생산단가가 높다. 또 반도체 위상 변위기는 응답 속도는 빠르나 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서 손실이 크며 전송 마이크로파 파워 수용능력이 떨어지는 단점이 있다. 위에서 언급한 이러한 단점들을 보완하기 위해서 최근에는 강유전체를 이용한 위상 변위기가 많이 연구되고 있다.[2-5] 강유전체는 보통의 유전체와는 달리 어떤 온도 영역에서 자발분극을 갖는 물질로서 외부에서 전기장을 걸어 주면 그 분극이 극성에 따라 반전될수 있는 성질을 갖는 물체를 말한다.

불과 10여년 전만하더라도 많은 연구자들은 강유전체 세라믹스나 단결정 등의 새로운 물질 개발에서부터 물질, 그리고 응용에 많은 관심을 가졌으나 다양한 산화물 박막 증착법의 개발에 힘입어 박막을 이용한 여러 응용 연구가 활발하게 진행되고 있다. 여기서는 주로 강유전체 박막을 이용한

마이크로파 가변소자에 대해 언급하고자 한다.

강유전체 박막을 이용한 동일평판형 위상변위기에서는 큰 유전율을 가지는 강유전체 박막 특성상 연결선의 임피던스인 50옴과 큰 차이로 인해 구조적으로 반사손실과 이로 인한 부가적인 삽입손실이 발생한다. 이 논문에서는 이를 해결하기 위해 입력과 출력 포트에 임피던스 매칭을 하였고 그 방법중의 하나로 완만한 테이퍼링을 통해 손실 특성을 개선하였다. 임피던스 매칭용 테이퍼의 겹과 선폭의 값은 동일평판형 구조에서의 측정하여 계산된 유효유전율 값 등을 기본으로하여 계산하였다. 이렇게 하여 만든 테이퍼링이 있는 강유전체 위상변위기의 마이크로파 손실 특성을 개선하였고 이를 배열하여 만든 전기적 제어 위상배열 안테나를 제작하여 그 응용 가능성을 확인하였다.

## 2. 실험

(001) 방향으로 결정적으로 성장된 BST 박막은 펄스 레이저 증착법을 이용하여 (001) MgO 기판위에서 in-situ 성장되었다. 구조적 분석은 X선  $\theta$ -2 $\theta$  회절법과 4-circle pole figure법을 이용하여 결정적으로 성장된 것을 확인하였다. 전극은 마이크로파에서의 손실을 줄이기 위해 DC 스퍼터링법으로 2  $\mu$ m 두께의 Au/Cr 다층금속 박막을 올렸으며 일반적인 사진공정과 식각법을 이용하여 동일평판형 강유전체 위상변위기를 제작하였다. 보정은 8510C 벡터네트워크분석기에서 측정소자까지 연결된 연결선과 접지-신호-접지 (GSG) 프로브까지 보정기판을 이용하여 OSLT (open, short, load, thru) 방법으로 하였고 직류전압은 연결된 Bias tee와 직류전원을 이용하여 0-200 V까지 가하였고 측정은 상온에서 0.5-20 GHz 영역에서 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 MgO (001) 기판위에서 결정적으로 성장된 BST 박막의 X선  $\theta$ -2 $\theta$  회절 패턴이다.

(001) 방향의 BST 피크만이 보이고 성장된 BST 박막의 (111)방향에 대한 4-circle pole figure 측정 결과 예상된 4개의 pole이 나온 것을 보아 결정적으로 잘 자란 것을 확인하였다.

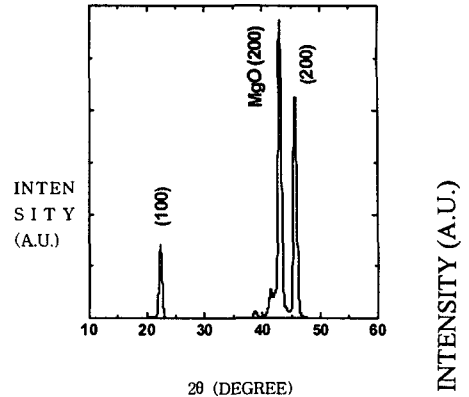


그림 1. MgO(001) 기판위에서 결정적으로 성장된 BST 박막의 X선  $\theta$ -2 $\theta$  회절 패턴.

Fig. 1. X-ray  $\theta$ -2 $\theta$  diffraction pattern of the epitaxially grown BST film on (001) MgO substrate.

그림 2는 MgO(001) 기판위에 (001) 방향으로 결정적으로 성장된 BST 박막을 기본으로 하여 만든 일반적인 동일평판형 강유전체 위상변위기의 가해진 직류전압이 0 V인 상태에서 주파수에 따른 반사손실과 삽입손실 특성에 관한 그림이다. 10 GHz에서 반사손실과 삽입손실은 각각 5, 7 dB이고 40 V의 직류전압변화에서 약 60도의 차등위상변위를 보였다.

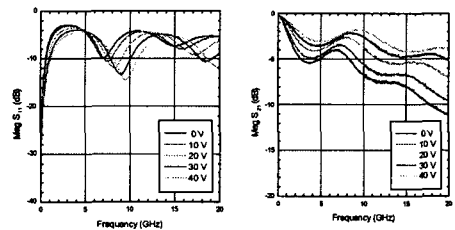


그림 2. 일반적인 동일평판형 강유전체 BST 위상변위기의 0 - 40 V에서 측정한 주파수에 따른 반사손실과 삽입손실 특성에 관한 그림.

Fig. 2. Frequency dependent reflection loss and insertion loss for general coplanar waveguide ferroelectric BST phase shifter with the variation of 40 V DC bias.

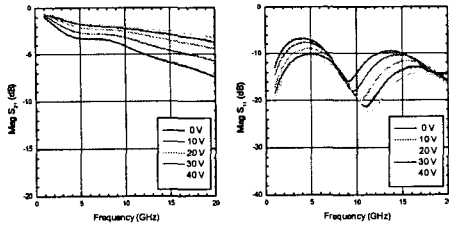


그림 3. 입력과 출력포트에 임피던스 매칭된 동일 평판형 강유전체 BST 위상변위기의 0 - 40 V에서 측정된 주파수에 따른 반사손실과 삽입손실 특성에 관한 그림.

Fig. 3. Frequency dependent reflection loss and insertion loss for impedance-matched coplanar waveguide ferroelectric BST phase shifter with the variation of 40 V DC bias.

그런데 여기서의 반사손실 값은 상당히 큰 편이라서 실제 시스템에 적용하기에는 어려우므로 입력과 출력 포트에 임피던스 매칭을 통해 손실 특성을 개선하고자 한다.

그 방법 중의 하나로 측정장치와의 연결선 임피던스인 50 오옴에 가깝게 설계된 선폭과 갭의 구조와 완전한 테이퍼링을 통해 임피던스를 조금씩 변화시켜 주는 것이다. 그림 1에서 측정된 소자에서 얻은 주파수에 따른 위상변위 그래프에서 피팅을 통해 얻은 유효유전율과 기판의 두께, 기판의 유전율 등을 기본으로 동일평판형 구조의 선폭과 갭을 조절하여 임피던스 매칭을 하였다.

이렇게 임피던스 매칭하여 만든 동일평판형 강유전체 BST 위상변위기의 10 GHz에서 가해진 직류전압에 따른 반사손실과 삽입손실의 특성이 그림 3에 나와있다.

이 소자에 대한 0 V에서의 반사손실과 삽입손실 값은 각각 15, 4.5 dB이고 앞의 그림 2에서 측정된 일반적인 동일평판형 위상변위기와 손실특성을 비교하면 반사손실은 약 10 dB 정도 개선되었고 삽입손실도 반사손실의 감소에 따라 약 2 dB 정도 개선되었다.

이와 같이 입출력 포트를 임피던스 매칭을 하고 테이퍼가 없는 전송선로 부분의 길이를 늘려서 손실특성을 개선한 가운데 차동위상변위를 10 GHz, 150 V의 직류전압변화에서 180 도 정도로 만든 강유전체 BST 위상변위기를 배열하여 만들어서 위상배열 안테나 시스템을 제작했는데 그림 4에 나와있다.

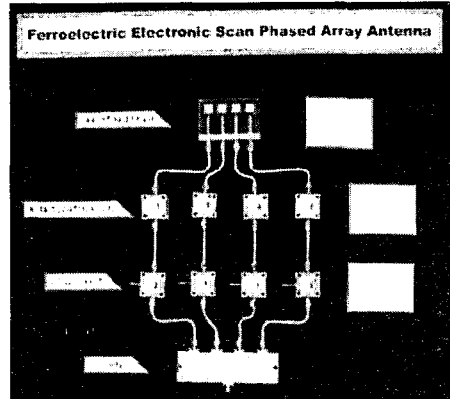


그림 4. 강유전체 BST 위상변위기를 배열하여 만든 위상배열안테나 시스템의 사진.

Fig. 4. The Picture of phase array antenna system using ferroelectric BST phase shifters.

이 시스템은 파워분배기, 각각의 DC 블록, 위상변위기 그리고 패치 안테나로 이루어져있고 각각의 위상변위기는 직류전원 조절기에 의해 독자적으로 전압을 조절하였다. 이렇게 하여 직류전압 150 V의 변화에서 안테나에서 방출된 빔의 방향을 그림 5에서처럼 두 화살표의 차이각인 약 15도 정도 조절하였다.

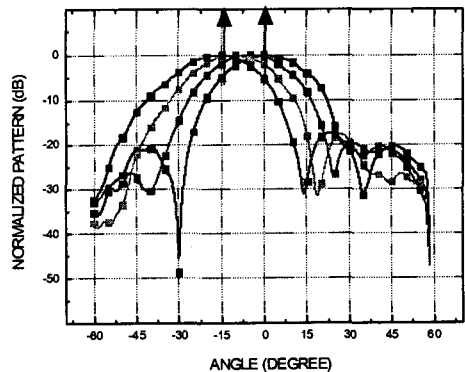


그림 5. 강유전체 BST 위상변위기를 배열하여 만든 위상배열안테나 시스템의 가해진 직류전압의 변화에 따른 빔 패턴 모양.

Fig. 5. Beam pattern of phase array antenna using ferroelectric BST phase shifter with the variation of DC bias.

#### 4. 결 론

4-bit 강유전체 위상변위기를 이용하여 10 GHz, 상온에서 작동하는 위상배열 안테나를 설계 및 제작하였다. 우리는 펄스레이저 증착법으로 MgO (001) 기판위에 결맞게 증착된 BST 박막을 일반적인 사진공정과 식각법을 이용하여 동일평판형 전극을 가진 위상변위기를 만들었다. 동일평판형 위상변위기의 마이크로파 손실들을 줄이기 위해 입력과 출력 포트에 임피던스 매칭을 하였고 이렇게 만들어진 동일평판형 위상변위기는 이전의 구조에 비해 반사 손실과 삽입 손실 값에서 각각 약 10, 2 dB 정도씩의 개선을 보였다. 이 구조로 전송 선로의 길이를 길게하여 만든 1-bit 강유전체 위상 변위기는 10 GHz, 150 V의 전압변화에서 180도의 차동위상변위를 보였다. 안테나 모듈은 4개의 마이크로스트립 패치 안테나와 4개의 강유전체 위상변위기로 이루어졌는데 10 GHz, 150 V의 전압변화에서 약 15도의 빔 스캔을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 정보통신부 선도기반기술개발사업 연구과제 No. 02-S-138 에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] S. K. Koul and B. Bhat, "Microwave and Millimeter Wave Phase Shifters", Artech House, 1991.
- [2] M. J Lancaster, J. Powell and A. Porch, "Thin-film ferroelectric microwave devices," Supercond. Sci. Technol. Vol. 11 p. 1323, 1998.
- [3] G. T. Roome and H.A. Hair, "Thin Ferrite Devices for Microwave Integrated Circuits", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech. Vol MTT-16, p. 411, 1968.
- [4] C. L. Chen, "A Low-Loss Ku-Band Monolithic Analog Phase Shifter", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech. Vol, MTT-35, p. 315, 1987.
- [5] D. F. Franco and N. G. Alexopoulos, "Planar Microwave Integrated Phase-Shifter Design with High Purity Ferroelectric Material", IEEE Trans on Microwave Theory and Tech. Vol, MTT-35, p. 315, 1987.