

# 액정을 이용한 조절가능한 메타표면

한소율, A.K.Arya, 김상혁\*  
경희대학교\*

asas123121@khu.ac.kr, akarya@khu.ac.kr, sanghoek@khu.ac.kr\*

## Reconfigurable Metasurface Using Liquid Crystal

S.Y.Han, A.K.Arya, S.Kim\*

Department of Electronics & Information Convergence Engineering, Institute for  
Wearable Convergence Electronics

### 요 약

본 논문은 액정을 활용하여 단위 셀의 전기적 특성을 변화하여 다양한 반사각을 선택할 수 있는 조절가능한 메타표면을 보이는 것을 목표로 한다. 20 도와 30 도 방향으로의 반사 효율을 시뮬레이션을 통해 확인 하였으며 다양한 반사각에서 매우 높은 효율을 갖는 것을 확인하였다.

### I. 서 론

메타표면은 파장 이하의 작은 메타물질을 배열하여 원하는 응답을 가지도록 설계할 수 있다. 고정형 메타표면은 많은 연구를 통해 그 가능성이 입증되었다[1]. 특정한 상황에선 고정된 셀을 가지는 메타표면은 기대한 특성을 보이며 그 가능성을 입증하였다. 그렇지만, 제작 이후 단위 셀의 패턴을 물리적으로 변형하는 것은 한계가 있다.

고정형 메타표면의 한계를 극복하기 위하여 전기적으로 특성이 변할 수 있는 물질과 부품을 사용하여 보다 다양한 상황에서 활용이 가능한 메타표면에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 가장 대표적인 예시로 다이오드를 이용하여 단위 셀의 특성을 변화시켜 다양한 상황에 대응 할 수 있는 메타표면이 제시되었다[2].

하지만 요구되는 상황에 맞는 단위 셀의 특성을 계산하기 위하여 복잡한 계산식과 과정이 요구된다. 또한, 다이오드의 특성상 단위셀은 ON/OFF 두가지의 상태만을 가진다. 더욱 다양한 환경에서의 활용을 위해선 다양한 상태를 가지는 단위 셀의 특성 조절이 요구된다.

본 논문은 X-Band 영역에서 작동하는 액정을 기반으로 한 조절가능한 반사형 메타표면을 제시한다. 액정은 인가되는 전압에 따라 그 유전율이 변한다[3]. 인가할 수 있는 전압의 수와 비례한 상태의 수를 가지는 단위 셀을 이용한 반사각을 조절할 수 있는 메타표면을 제시한다. 인가 전압과 한 주기에 포함되는 단위 셀의 갯수에 따라 다양한 반사각을 가질 수 있으며 시뮬레이션을 통해 높은 효율을 가지는 것을 확인하였다.

### II. 본론

메타표면을 구성하는 단위 셀의 특성은 하이젠스의 원리와 일반화된 스넬의 법칙을 기반으로 설계되었다.

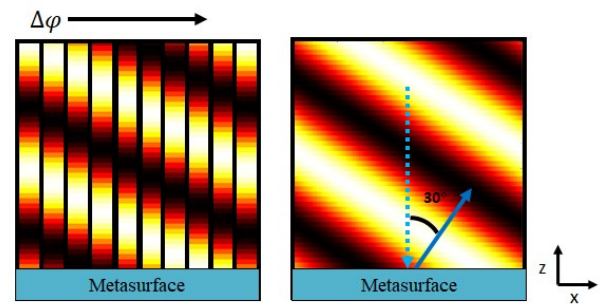


그림 1. 메타표면 설계 원리 시각화 (a) 하이젠스 원리 시각화, (b) 30 도 반사파 시각화

메타표면은 파장보다 작은 단위셀으로 구성된다. 각각의 단위 셀은 인가된 파에 따른 고유한 전자기적 응답을 지닌다. 하이젠스의 원리에 입각하여, 모든 단위 셀을 하나의 전원으로 모델링 할 수 있다[4]. 각 단위 셀의 반사파의 위상차가 동일하며 일정 주기 내에서의 위상차의 합이 360 도일 경우의 파형은 그림 1.(a)와 같다. 그림 1.(b)는 30 도로 반사되는 파를 보인다. 그림 1.(a)와 (b)의 비교를 통해 유사성을 확인할 수 있다. 따라서 액정의 유전율 변화 내에서 반사 산란계수의 위상이 약 360 도를 가지도록 단위 셀을 설계하였다.

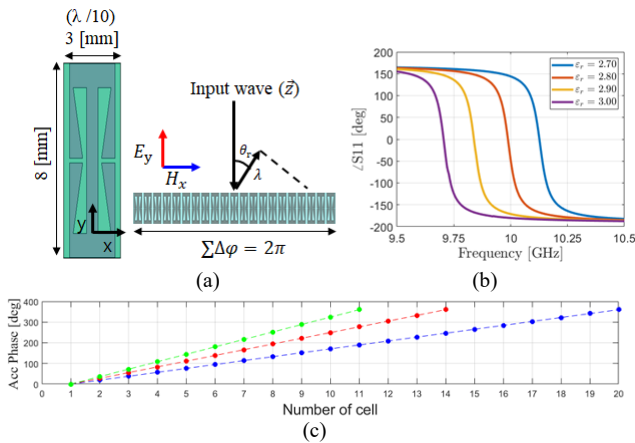


그림 2. 단위 셀의 특성 (a) 물리적 특성 (b) 반사파의 유전을 변화에 따른 주파수별 위상 (c) 한 주기내의 단위 셀의 갯수와 위상합

목표한 10 GHz 에서의 파장은 약 30mm 이다. 파장보다 작은 단위 셀을 제작하며 (3 mm × 8 mm × 2 mm) 모양은 그림 2.(a)와 같다. 먼저 캐패시터 형태의 패턴을 디자인 한 후 전압 인가를 고려하여 상보적인 구조로 제작하였다. 각각의 단위 셀은 y 방향으로 전기적으로 연결되어 있기에 액정 조절을 위한 직류 인가 회로의 복잡성을 최소화 하였다.

패턴과 접지는 PEC 로 모델링 되었으며 패턴이 새겨진 기판은 FR4 보드의 특성을 가진다 (상대 유전율 4.4). 액정은 변화하는 유전율을 가지는 기판으로 모델링하였으며 각 유전율 별 반사파의 위상은 그림 2.(b)와 같다. 상대 유전율이 2.7~3 이내로 변화할 때 목표한 10 GHz 에서 약 330 도의 위상 차이를 가진다.

앞의 일반화 된 스텔의 범칙에 기반하여 한 주기 내에서 동일한 위상차이를 가지며 도합 360 도의 위상 변화를 가지도록 단위 셀을 배열할 수 있다. 11 개의 단위 셀을 한 주기로 설정 할 경우 반사각은 약 65 도가 나올 것으로 예상할 수 있으며 20 개의 경우 30 도, 30 개의 경우 20 도의 반사각을 가질 것으로 예상할 수 있다.

### III. 결론

반사각 조절을 보이기 위하여 20 도와 30 도로 반사각을 가지도록 메타표면의 주기를 설정하였다. 20 도의 경우 30 개의 단위 셀이 한 주기가 되며 30 도의 경우 20 개의 단위셀이 한 주기로 설정된다.

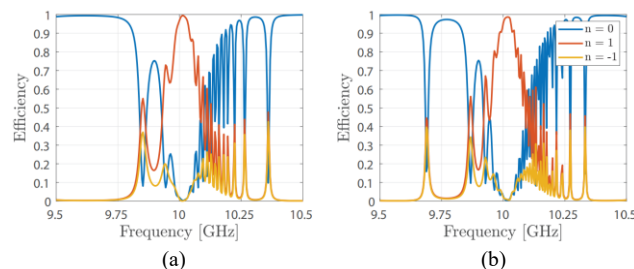


그림 3. 반사각 별 시뮬레이션 결과 (a) 30 도에서의 효율 (b) 20 도에서의 효율

메타표면과 수직한 파가 입사되었을 때 정반사된 파의 효율은 파란선(n=0)으로 표현된다. 원하는 각도로 반사된 전자기파는 빨간선(n=1)로 표현되며 원치 않는 방향으로의 반사는 노란선(n=-1)로 표현하였다.

작동주파수인 10 GHz 에서 목표한 방향으로의 반사 효율은 약 99%이며 그 외 정반사와 원치 않는 반사 효율의 합은 1%에 근접함을 확인하였다.

본 연구는 액정의 특성 변화를 이용하여 높은 효율을 갖는 반사각을 조절가능한 메타표면을 제시한다. 앞의 결과에 근거하여 제안하는 응용 분야는 스텔스와 수동 빔포밍 산란체로의 활용 가능성을 제시한다.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported in part by the Technology Innovation Program (20008801) funded from the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea), in part by National Research Foundation of Korea (NRF-2018R1A6A1A03025708), and in part by MSIT (Ministry of Science and ICT), Korea, 5 under the ITRC (Information Technology Research Center) support program (IITP-2021-0-02046) supervised by the IITP (Institute for Information and Communications Technology Planning and Evaluation).

### 참 고 문 헌

- [1] Pfeiffer C, Grbic A. "Metamaterial Huygens' surfaces: tailoring wavefronts with reflectionless sheets" *Physical Review Letters*. 2013 May;110(19):197401.
- [2] Cui, T., Qi, M., Wan, X. et al. "Coding metamaterials, digital metamaterials and programmable metamaterials" *Light Sci Appl* 3, e218 (2014).
- [3] M. Yazdanpanahi, S. Bulja, D. Mirshekar-Syahkal, R. James, S. E. Day and F. A. Fernandez, "Measurement of Dielectric Constants of Nematic Liquid Crystals at mm-Wave Frequencies Using Patch Resonator" in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 59, no. 12, pp. 3079-3085, Dec. 2010
- [4] Chen, Michael, Kim, Minseok, Wong, Alex M.H. and Eleftheriades, George V. "Huygens' metasurfaces from microwaves to optics: a review" *Nanophotonics*, vol. 7, no. 6, 2018, pp. 1207-1231.