

# Dielectric THz Metalens Design

RSoft DiffractMOD RCWA 및 MetaOptic Designer를 활용한  
유전체 THz 메타렌즈 설계

# Introduction

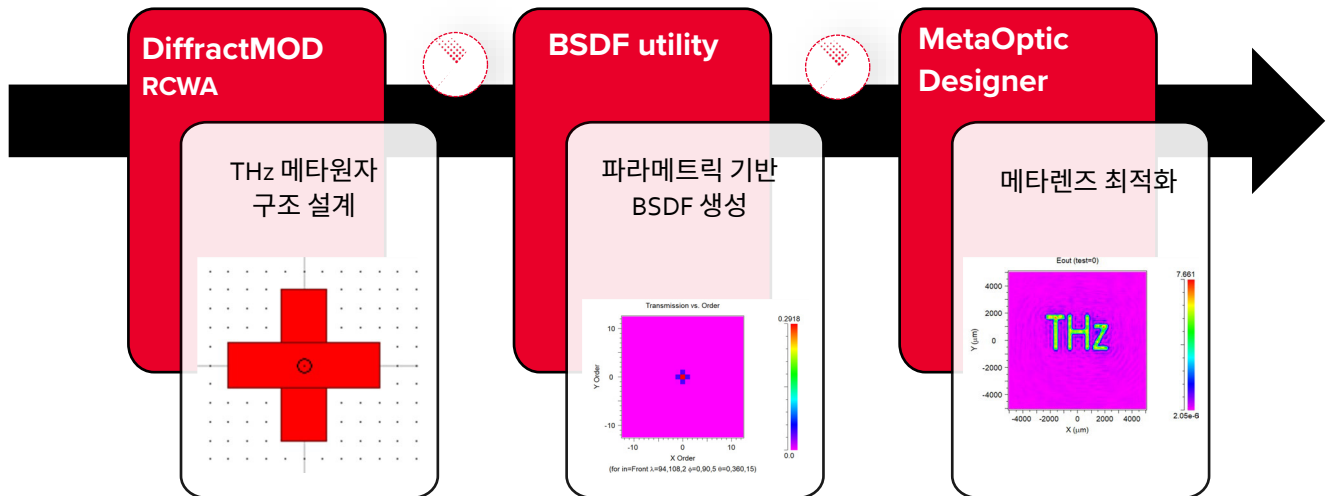
테라헤르츠(THz) 파장은 마이크로파와 원적외선 영역 사이(100 GHz~10 THz)에 위치합니다. 이러한 파장은 고유한 특성을 지니고 있어 천문학, 통신, 이미징 및 센싱 등 다양한 분야에서 유용하게 활용됩니다.

THz 파를 제어하기 위해서는 저손실이면서도 소형화된 렌즈의 개발이 필요합니다. 이러한 요구를 충족하기 위한 유망한 솔루션으로 메타렌즈가 주목받고 있습니다.

본 예제에서는 유전체 THz 메타렌즈 설계 절차를 단계적으로 설명하며, 이는 Jia 등[1]이 발표한 연구를 기반으로 구현되었습니다.

## Flow Description

워크플로우



## Step 1: THz Meta-Atom Design using RSoft DiffractMOD RCWA

### RSoft DiffractMOD RCWA를 활용한 THz 메타원자 설계

첫 단계에서는 RSoft CAD를 활용하여 메타원자를 모델링하고, 해당 구조의 전송 계수를 합니다. 메타원자는 십자형 구조로 구성되며, 굴절률은  $n=3.4$ 로 설정되어 3.11 THz( $\lambda = 96.46 \mu\text{m}$ )에서의 실리콘 물성을 반영합니다. 구조 파라미터로서, 십자 팔의 폭(W)과 높이(H)는 각각  $12 \mu\text{m}$ 와  $20 \mu\text{m}$ , 길이(L)는  $48 \mu\text{m}$ 로 정의되며, 피치(P)는  $80 \mu\text{m}$ 로 설정됩니다. 그림 1은 Si 기반 THz 메타원자의 형상과 굴절률 프로파일을 나타냅니다.

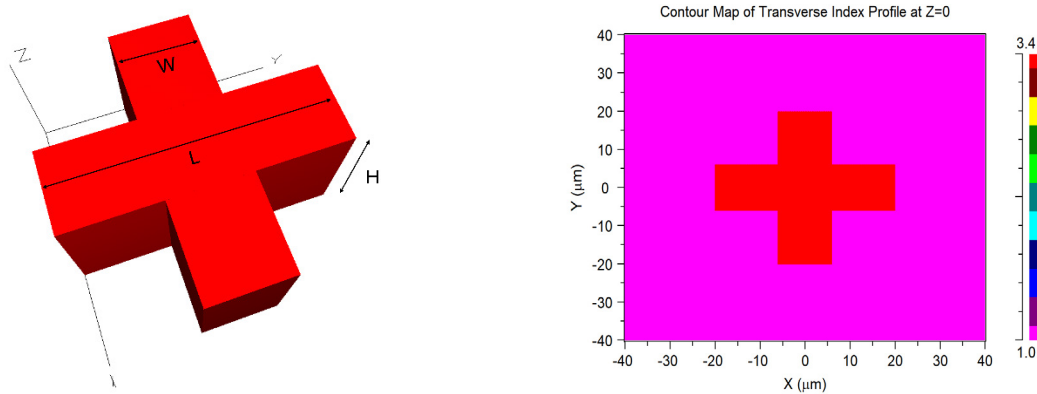


그림 1. 좌측은 메타원자 구조, 우측은 굴절률 분포

전기장이 X축 방향으로 편광되도록 편광 각을 0으로 설정합니다. 이후 MOST를 활용한 수렴 테스트를 수행하여 최적의 고조파 개수를 결정합니다. 최종적으로 X 및 Y 방향 모두에 대해 고조파 수를 9로 설정하며, 그림 2는 2.7 THz( $\sim 110 \mu\text{m}$ )에서 3.5 THz( $\sim 85 \mu\text{m}$ ) 주파수 범위에서 연산된 전송 계수 결과를 나타냅니다.

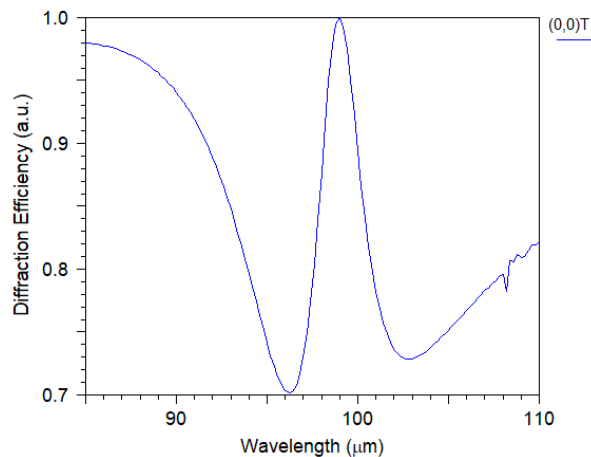


그림 2. 파장에 따른 전송 회절 계수 크기

설계된 메타원자는 넓은 파장 대역에서 높은 전송 효율을 나타내며, 우수한 성능을 제공합니다. 다음 단계에서는 BSDF 유틸리티를 활용해 THz 메타원자 라이브러리를 구축합니다.

## Step 2: BSDF Calculation using the BSDF Utility

### BSDF 유틸리티를 활용한 BSDF 연산

Step 1에서 언급한 바와 같이, 메타원자의 기하학적 파라미터는 일부 값으로 고정되어 있습니다. 전체 위상 제어를 달성하기 위해서는 메타원자 십자 구조의 길이(L)에 대한 변수가 필요합니다. 본 단계에서는 BSDF 유틸리티를 활용하여, 길이 L을 15  $\mu\text{m}$ 부터 65  $\mu\text{m}$ 까지 1  $\mu\text{m}$  간격으로 변화시키면서 파라메트릭 BSDF를 생성합니다. 연산은 2.6 THz(~115  $\mu\text{m}$ )에서 3.6 THz(~83  $\mu\text{m}$ ) 주파수 범위를 대상으로 수행되며, 수직 입사 조건이 적용됩니다. 보다 정밀한 BSDF 모델을 위해서는 입사각(theta, phi) 변동 또는 추가 파라미터 변수를 포함할 수 있습니다.

다수의 RCWA 연산을 수행한 후, 해당 유틸리티는 다양한 편광 상태와 전파 방향에 따른 진폭 및 위상 응답을 포함하는 완전한 BSDF를 제공합니다. 생성된 라이브러리는 Step 3에서 MetaOptic Designer의 데이터베이스로 활용됩니다.

## Step 3: Metalens Design using MetaOptic Designer

### MetaOptic Designer를 활용한 메타렌즈 설계

이 단계에서는 먼저 초점 거리(f) 30 mm, 직경 10 mm를 갖는 메타렌즈로 구성된 광학 시스템을 구축합니다. 이전에 생성된 BSDF는 해당 시스템의 데이터베이스로 활용됩니다.

첫 번째 테스트 케이스로, 파장  $\lambda = 96.5 \mu\text{m}$ (~3.11 THz)의 평면파(planewave) 입력을 적용하고, Airy 패턴을 목표 스팟으로 설정합니다. 최적화 조건으로는 최대 반복 횟수 1000회 기준에서, 메트릭 공차를  $1e-05$ 로 설정합니다.

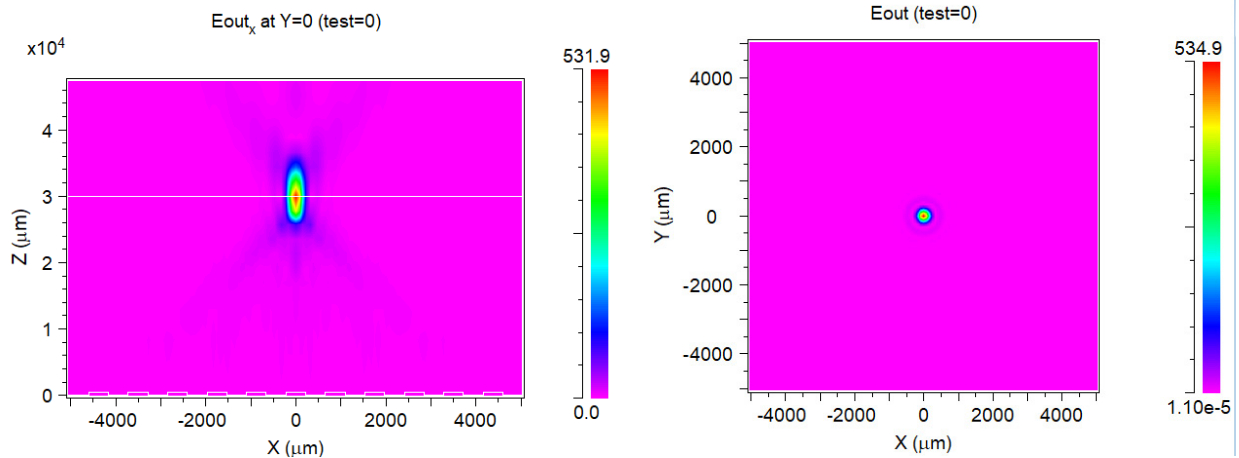


그림 3. 좌측: 30mm에서 집속된 빔을 보여주는 XZ 단면도, 우측: 출력 빔의 크기 분포

그림 3은 설계된 메타렌즈가 30mm 초점 거리에서 빔을 집속한 결과를 보여주며, 절대 집속 효율(absolute focusing efficiency)은 76%, 강도 매칭(intensity match)은 94%를 나타냅니다.

또한 MetaOptic Designer를 통해 메타렌즈 설계를 위한 GDS 및 ind 파일이 생성됩니다. GDS 파일은 실제 제작에 활용할 수 있으며, ind 파일은 RSoft FullWAVE를 이용한 FDTD 시뮬레이션에 사용됩니다.

다만, 이러한 대규모 설계는 FDTD 시뮬레이션 시 높은 연산 성능과 긴 시뮬레이션 시간을 요구할 수 있습니다.

두 번째 테스트 케이스에서는 동일한 조건을 적용하되, Airy 패턴 대신 THz 로고를 목표 패턴으로 설정합니다. 아래 그림은 설계된 메타렌즈에 의해 투영된 THz 로고 출력 이미지를 보여줍니다.

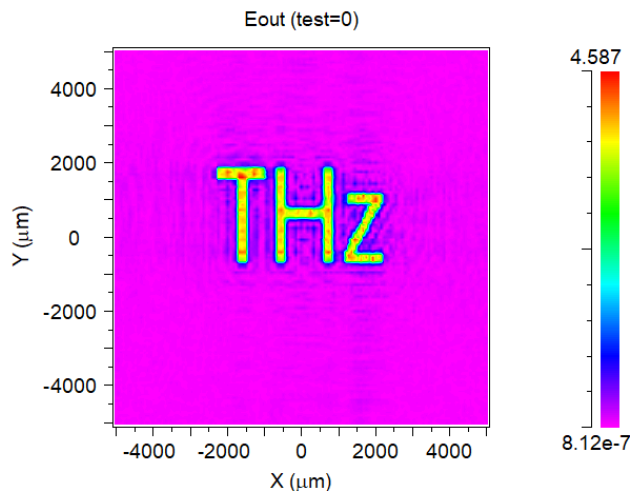


그림 4. 설계된 메타렌즈를 통해 형성된 THz 로고 이미지

## Conclusion

### 결론

본 애플리케이션 노트에서는 고저항 실리콘(High Resistivity Silicon) 웨이퍼를 활용한 THz 메타렌즈의 설계 및 최적화 워크플로우를 소개하였습니다.

## References

- [1] Delin Jia, Yuan Tian, Wei Ma, Xiaofeng Gong, Jiayi Yu, Guozhong Zhao, and Xiaomei Yu, "Transmissive terahertz metalens with full phase control based on a dielectric metasurface," *Opt. Lett.* 42, 4494-4497 (2017)
- [2] Chenglin Xu, Evan Heller, Jan Bos, Robert Scarmozzino, Mayank Bahl, Li-Ce Hu, Nicholas Achuthan, "Fully automated inverse design solution for metalenses/metasurfaces," *Proc. SPIE 12428, Photonic Instrumentation Engineering X*, 1242802 (8 March 2023); <https://doi.org/10.1117/12.2657443>

## Design files

RSoft Application Note: "Dielectric THz metalens design" 지원 파일

Keysight enables innovators to push the boundaries of engineering by quickly solving design, emulation, and test challenges to create the best product experiences. Start your innovation journey at [www.keysight.com](http://www.keysight.com).