

고투과율 C형 나노 광 개구 설계

Design of a high-throughput C-shape nano-optical aperture

박신중, 한재원
 연세대학교 기계공학과
jaewhahn@yonsei.ac.kr

1944년 Bethe가 발표한 이론에 따르면, 원형이나 사각형의 행태를 가진 개구의 크기(w)가 입사하는 파장(λ)의 0.01배보다 작을 경우, 개구를 통과하여 전파되는 빛의 양은 초기의 에너지 양의 $(w/\lambda)^4$ 에 비례한다.⁽¹⁾ 이 때, 나노 크기의 해상도를 얻을 수 있지만, 나타나는 출력의 크기는 매우 작아진다. 이를 보완하기 위해 X. Shi는 C형의 개구를 고안하였다.⁽²⁾

C형 개구를 통과하여 전파하는 빛의 PT가 1보다 큰 것은 빛의 공진 효과에 의한 것이다. 빛이 금속의 표면에 닿을 때, 빛의 전자기파의 특성 때문에 금속에 존재하는 수많은 전자들이 진동을 하게 되고, 이때 금속 표면에는 전자들의 운동에 의해 표면파(또는 표면전류)가 발생하게 된다. 이렇게 발생한 표면파에 의해 개구 테두리의 표면을 따라 빛이 전파하는 방향으로 표면파도 흐르게 되고 이 때 출력에 영향을 주는 표면파의 범위를 구한 것이다.

X. Shi는 그의 논문에서 출력 투과율(power throughput)의 정의를 이용하여 이 범위를 지정하였다.⁽²⁾ 그러나 공학적인 의미에서 출력이란 사용 가능한 출력 파워를 의미하는 것이므로 본 논문에서는 출력 투과율 대신 직접적인 출력 값을 계산하였다.

본 논문에서는 파장이 532nm인 x-polarized 빛을 사용하였다. 이때, C형 개구의 크기는 X. Shi의 논문⁽²⁾에서 최적화된 크기를 그대로 비율에 맞춰 축소하였다. 입사 빔의 크기는 C형 개구의 x, y 방향 크기의 비율 따라서 점차 확대하였으며, 이 때 나타나는 출력 값은 그림 1(b)와 같다.

a가 440nm가 되면, 출력은 더 이상 증가하지 않는다. 즉, 출력에 영향을 미치는 입사 빔의 크기에 해당되며 이 크기는 C형 개구에 비해 약 3.76배 크다. 만약, 입사 빔을 원형 빔으로 가정하면, 반지름이 약

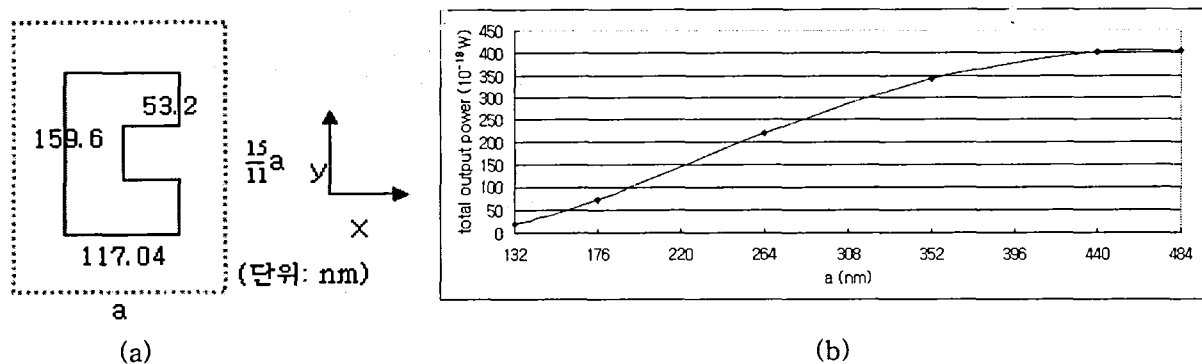
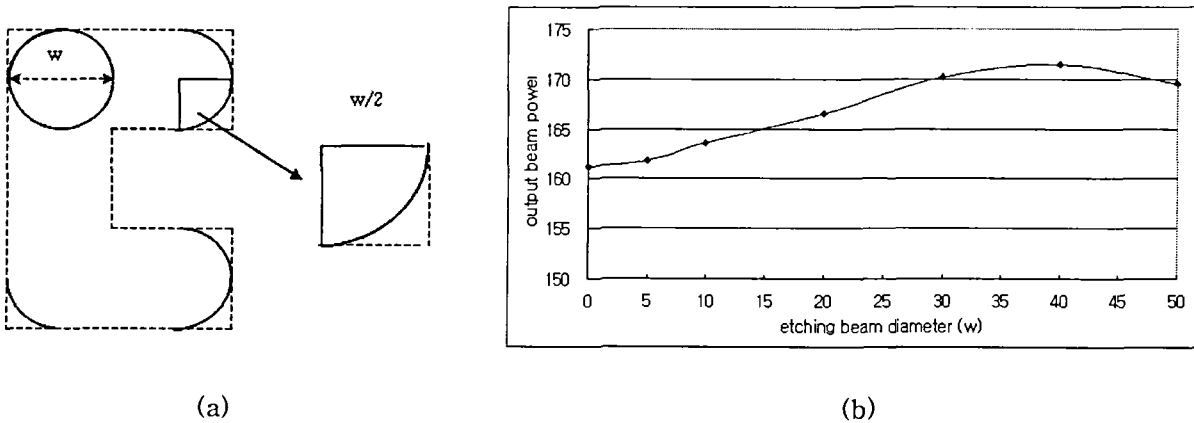


그림 1. (a) 시뮬레이션에서 사용한 입사 빔의 정의, (b) a의 변화에 따른 출력 변화

290 nm인 입사광을 사용할 때 표면파의 효과를 충분히 얻을 수 있다.

다음으로 실제로 개구를 가공할 때 발생할 수 있는 가공에 사용하는 도구에 의해 가장자리가 둥글게 되는 것에 대한 영향 알아보기 위한 계산을 수행하였다. 이것을 그림으로 나타내면 그림 2의 (a)처럼 가

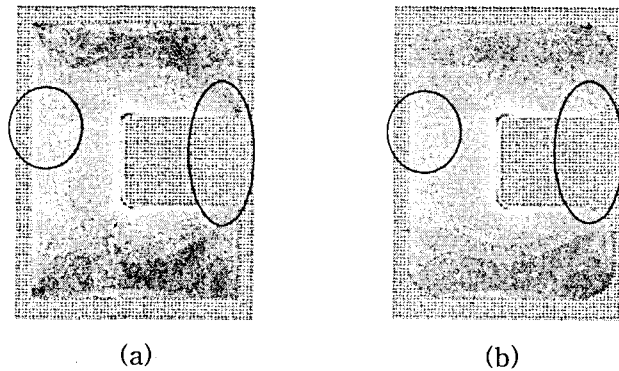
장자리가 둥글게 되는 것이 가장 기본적인 현상이다. 이런 효과가 출력 파워에 어떤 영향을 주는지에 대해 알아보고자, 가공에 사용하는 이온 빔(ion-beam)의 직경(w)을 변화시키면서 그에 따른 출력을 계산해 보았다.



(a) 원형 가장자리 개구 형태, (b) w 의 변화에 따른 출력 변화
 그림 2. (a) 원형 가장자리 개구 형태, (b) w 의 변화에 따른 출력 변화

이 때, 기대했던 것과 달리 이온빔의 직경이 작아질수록, 다시 말하여 이상적인 형태의 개구에 가까워 질수록 출력 파워가 감소하는 현상을 보였다. 이것은 표면 플라즈몬의 효과로 판단되는데, 표면 플라즈몬이 가장자리가 원형으로 바뀌에 따라 개구 주위에 존재하는 표면파가 더 많이 개구를 통과하는 현상을 보인다. 그림 3의 시뮬레이션 결과이며, 원으로 표시한 부분에 강한 전기장이 형성되는 것을 확인할 수 있다.

T
P



(a) Ideal 개구의 전기장 분포, (b) $w=40$ 이온 빔으로 가공한 개구의 전기장 분포
 그림 3. (a) Ideal 개구의 전기장 분포, (b) $w=40$ 이온 빔으로 가공한 개구의 전기장 분포

참고문헌

1. H. A. Bethe, Phys. Rev. 66, 163 (1944).
2. X.Shi, R. Thornton, and L. Hesselink, Proc. SPIE 4342, 320 (2002).