

유전알고리즘 및 ON/OFF 방법을 이용한 가시광선 영역의 나노개구 형상의 위상최적설계

신 현 도* · 유 정 훈*†

* 연세대학교 기계공학부

Nanoaperture Design in Visible Frequency Range Using Genetic Algorithm and ON/OFF Method Based Topology Optimization Scheme

Hyun Do Shin* and Jeonghoon Yoo*†

* School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

(Received July 29, 2013 ; Revised October 14, 2013 ; Accepted October 14, 2013)

Key Words: Genetic Algorithm(유전알고리즘), ON/OFF Method(ON/OFF 방법), Transmission Rate(투과효율), Visible Frequency Range(가시광선영역), Surface Plasmon Resonance(표면 플라즈몬 공명)

초록: 유전 알고리즘은 자연의 진화 과정에 기초한 계산 모델로서 전역 최적화 결과를 제공할 수 있다. 변화율(gradient)을 기반으로 하는 방법들과는 달리, 민감도 해석이 요구되지 않으므로 민감도 해석이 어려운 전계(electric field)에서의 나노 단위 구조물의 형상 설계에 적합하다. 본 연구는 유전 알고리즘과 ON/OFF 방법을 기반으로 위상최적화를 수행하여 가시광선 영역에서 새로운 형태의 나노개구 설계를 목표로 하였다. 연구의 목적은 나노개구 아래10nm에 위치한 측정영역에서의 전계 투과효율(transmission rate)을 최대화하며, 동시에 다른 영역에서의 전계 분포를 최소화하는 것이다. 유한요소해석 및 최적화 과정은 상용 프로그램 COMSOL과 Matlab 프로그램의 연동에 의하여 수행되었다. 최적화 모델의 결과는 초기 모델과의 전계 강도 (electric field intensity) 및 근접장의 초점치수(spot size)를 비교하여 분석하였다.

Abstract: A genetic algorithm (GA) is an optimization technique based on natural evolution theory to find the global optimal solution. Unlike the gradient-based method, it can design nanoscale structures in the electric field because it does not require sensitivity calculation. This research intends to design a nanoaperture with an unprecedented shape by the topology optimization scheme based on the GA and ON/OFF method in the visible frequency range. This research mainly aims to maximize the transmission rate at a measuring area located 10nm under the exit plane and to minimize the electric distribution at other locations. The finite element analysis (FEA) and optimization process are performed by using the commercial package COMSOL combined with the Matlab programming. The final results of the optimized model are analyzed by a comparison of the electric field intensity and the spot size of near field with those of the initial model.

1. 서 론

근래의 나노 리소그래피 (nano-lithography), 광 저장 매체(optical data storage)와 같이 근접장의 높은 해상도와 투과효율이 요구 되는 광학 장치들은 급격한 기술 발달로 더욱 소형화되고 있으며 비용 절감, 성능

향상 등을 목표로 하여 꾸준한 연구가 진행되고 있다.

특히 광 리소그래피 기술은 20nm 이하의 초해상도 노광 기술이나 스캔 노광 기술의 개발로 반도체 패턴의 미세화를 가속화 시키고 있으며 수 십 nm 단위의 미세 패턴을 형성하는 기술로 각광받고 있다. 이러한 기술은 최고의 광해상도가 요구되며 입사파장 크기 이하의 개구(aperture)를 이용하여 회절한계를 극복함과 동시에 높은 투과효율이 요구된다. 하지만 Beth⁽¹⁾에 의하면 입사 파장 이하 크기의 개구에서의 투과효율은 개구 크기의 네 제곱에 비례하여 줄어들

† Corresponding Author, yoojh@yonsei.ac.kr

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

어 충분한 출력을 얻어 내지 못한다.

이러한 투과효율의 약화문제를 해결하기 위하여 리지 도파관(ridge waveguide)형태를 도입함으로써 개구 형상을 변화시켜 표면 플라즈몬공명(surface plasmon resonance) 현상을 발생시켜 출력광의 효율을 극대화 시킬 수 있다. Wang⁽²⁾ 등은 보우타이(bow-tie)형 나노개구의 치수 변화를 통하여 투과 효율을 높임과 동시에 출력광의 초점치수가 감소함을 보였고, Shi⁽³⁾ 등은 C형 나노개구를 도입하여 원형이나 사각형 형태의 개구에 비해 보다 높은 광출력을 얻는 연구를 진행하였다.

나노개구의 통과효율은 전기장강도(electric field strength)에 따른 설계 민감도 계산이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 민감도 계산이 필요하지 않은 유전 알고리즘(genetic algorithm, GA)을 이용하여 355nm의 가시광선 대역의 파장을 사용하는 새로운 형태의 개구 설계를 수행하였다. 또한 완전요인배치법(full factorial design)에 기인한 ON/OFF 방법과 유한차분법(finite difference method)을 이용한 ON/OFF방법을 경계영역(boundary region)에 적용하여 최적화된 형태의 나노개구를 제시하였다. 본 연구의 해석은 상용패키지 COMSOL ver. 3.5의 RF module을 이용하여 수행되었다.

2. 설계 과정

2.1 유전 알고리즘의 개요

유전알고리즘은 전역 최적해(global optimum)를 찾는 유용한 방법으로 알려져 있으며, 변화율을 기반으로 하는 방법들과는 달리 자연계에서 생물의 진화(evolution)의 메커니즘을 공학적으로 모델링 함으로써 민감도 해석이 요구되지 않는다. 따라서 민감도 계산의 수식적 전개가 어려운 전계의 비선형 문제에 적용하기에 적합하다.

유전 알고리즘은 해(solution)의 후보들의 집합인 모집단(population)과 이들을 평가하는 적합함수(fitness function)의 설정이 우선적으로 요구된다. 이러한 적합함수에 의해 평가된 모집단은 한 세대 에서 다음 세대로 전해지는 해의 후보들을 선별하는 선택(selection)과정을 거치게 된다. 해의 선택은 유전알고리즘의 성능에 큰 영향을 미치며 선택 방법으로 roulette wheel selection(RWS) 방법이 사용되었다. RWS방법은 적용도에 비례하는 확률로 높은 적합함수 값을 갖는 해를 선정하는 방법이다. 본 연구에서는 1차원 교배방법에서의 요소들간의 연결성에 기인한 비수렴(non-convergence)문제를 해

결하기 위하여 Fig. 1에 나타난 2차원 교배방법을 사용하였다.⁽⁴⁾ 설계영역 내에 무작위로 배치된 사각형에 의하여 나뉜 영역을 홀수 영역과 짝수 영역으로 나누어 각각의 영역에서 선택된 요소의 유전 정보를 합하여 우수한 유전자의 새로운 자식해(offspring)를 창출하는 2차원 교배(crossover)를 수행하였다. 이 경우 초기의 모집단이 최적해와 매우 떨어져 있는 경우라도 해의 다양성을 도모하는 변이(mutation)과정을 거쳐 세대를 거듭할수록 더욱 최적해에 근사하게 된다.⁽⁵⁾ 본 연구에서는 초기 10개의 해로 하나의 모집단을 구성하였다. 50세대 동안 유전 알고리즘과정을 수행하여 나노개구의 투과효율을 최대화하는 과정을 수행하였다.

2.2 ON/OFF 방법의 개요

ON/OFF 방법은 완전요인배치법과 매우 유사하며, 각 요소(element)의 민감도가 목적함수에 미치는 영향을 평가하여 요소의 존재 유무를 결정한다. 보조변수법(adjoint variable method)을 이용하여 민감도를 평가하는 알고리즘부터 단순히 요소의 유무가 성능에 미치는 영향을 평가하는 알고리즘까지 목적함수나 적용분야에 따라 유동적인 적용이 가능하다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 ON/OFF방법은 기본적으로 유전정보가 1인 경우를 ON상태, 0인 경우를 OFF상태로 규정하며, 요소의 ON상태 또는 OFF상태에서의 목적함수에 미치는 영향력을 평가하여 요소의 상태를 결정한다. 또한 설계영역(design domain)을 이루는 모든 요소에 적용하는 방법부터 경계영역이나 정해진 특정 요소에만 적용하는 방법까지, 적용하는 대상에 따라 다양한 방식의 적용이 가능하다.^(6,7) 기존의 연구⁽⁷⁾와 달리, 본 연구에서는 평면상의 2차원 설계 영역에 대하여 경계요소의 민감도를 기반으로 하는 ON/OFF 방법을 적용하여 해를 도출하고 GA 기반의 설계 결과와의 비교를 수행하였다.

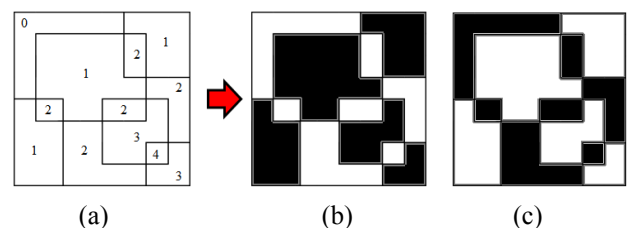


Fig. 1 2-D Regional separation process of crossover method; (a) numbering of regions, (b) odd number regions and (c) even number regions

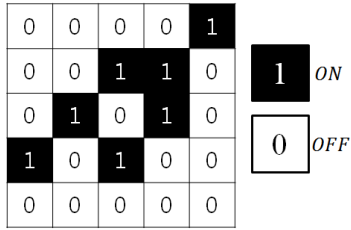


Fig. 2 Concept of the ON/OFF method

3. 기본 모델

광 저장매체나 나노 리소그래피 기술과 같은 광학 장치들은 근접장에서의 높은 투과효율과 나노 단위의 미세한 출력광의 크기를 요구한다. 현재 상용화 되고 있는 보우타이형 나노개구나 C형 나노개구 및 H형 나노개구, I형 나노개구와 같은 리지 개구(ridge aperture)들은 모두 높은 투과효율과 최소화된 출력광의 초점치수를 얻기 위한 개구 형태이다.⁽⁸⁾ 따라서 본 논문에서는 이들 개구보다 높은 투과효율과 작은 출력광을 얻기 위하여 ON/OFF 방법을 이용하여 나노개구의 형태를 도출하고 이를 유전알고리즘의 결과와 비교하였다.

3.1 초기 모델 해석 및 설계목적 함수

높은 반사율(reflectivity)과 작은 표피 깊이(skin depth)가 유지 될 때 외기(ambient air)에서 상당한 안정성을 보이는 나노 리소그래피 시스템을 감안하여 나노개구 초기 구조의 모델링을 수행하였다.

세부적인 모델링은 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. *y*-방향으로 편광된 355nm의 평면파가 공기층을 지나 알루미늄(aluminum, Al) 박판에 뚫린 사각형 개구를 통과하여 SiO₂ 유전체 층(dielectric layer)에 투과된다. 1200nm의 공기층 아래로 150nm의 Al 박막과 300nm의 SiO₂ 유전체 층, 그리고 최하단에 100nm 두께의 perfect matched layer(PML)를 위치한 3차원 모델로 설정하였으며, 편광을 고려하여 perfect magnetic conductor(PMC)와 perfect electric conductor(PEC)를 경계조건으로 설정하였다.

Fig. 4는 나노개구 아래 부분에 위치한 측정 영역(measuring domain)으로서 한 변이 60nm와 300nm인 2개의 정사각형으로 구성되었으며, 각 영역을 I1과 I2로 명시하였다. 또한 표면 플라즈몬 공명의 영향을 극대화하기 위하여 나노개구의 10nm아래 부분에 측정 영역을 설정하였다. 본 연구에서는 Fig. 4의 나노개구 형태를 초기모델로 선정하여 Al 박판의 나노개구를 통과한 빛의 전계강도를 면적에 비례하여 측정하였으며, 이를 평균

Table 1 Reflective index values of materials used

Material	Refractive index
Air	1
Al	0.37762+4.0651i
SiO ₂	1.56864

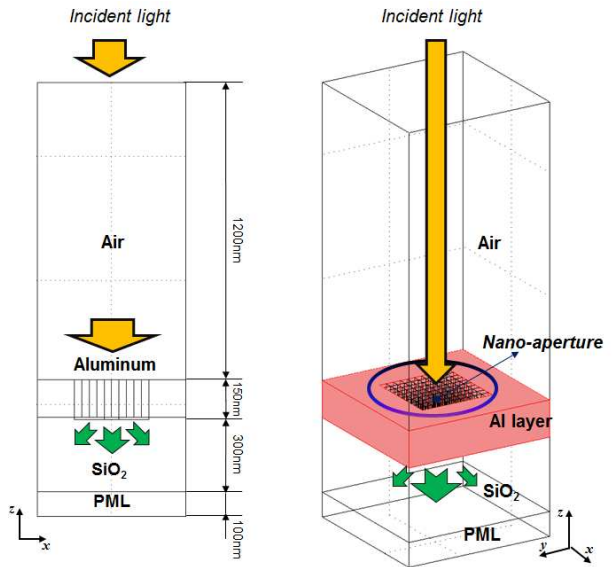


Fig. 3 Schematic of the initial model of a nano-aperture system

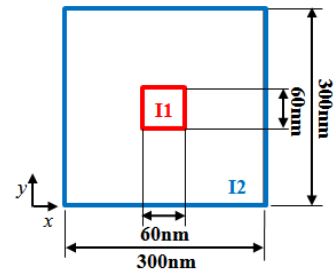


Fig. 4 Measuring domain definition at a distance 10nm beneath the exit plane

전계강도 (average of the electric field intensity)로 정의하였다. Fig. 4의 I1 영역에서 도출된 평균 전계강도값을 1로 정규화(normalization)하여 유전 알고리즘과 ON/OFF 방법을 통하여 설계된 나노개구의 결과값을 비교하여 표기하였다. 유전 알고리즘 및 ON/OFF 방법의 모든 해석은 정상 상태(steady state)에서 이루어져 입사된 빛의 편광방향과 파장이 일정하도록 설정되었다.

Table 1은 모델을 구성하는 물질의 반사도(reflective index)를 나타내고 있으며 이 값들은 물질의 유전율(electric permittivity) 계산과 지배 방정

식에 사용된다. 편광모드에 대한 지배방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$\nabla\left(\frac{1}{\mu}\nabla\mathbf{E}\right)-\omega^2\left(\varepsilon-i\frac{\sigma}{\omega}\right)\mathbf{E}=0 \quad (1)$$

여기서 \mathbf{E} 는 전기장, ε 는 유전율, μ 는 투자율 (magnetic permeability), σ 는 전도율 (electric conductivity), ω 는 진동수 (frequency)를 나타낸다.

본 연구에서는 나노개구의 전기 투과효율을 최대화함과 동시에 전기분포를 측정 영역의 가운데에 집중시키기 위하여 Fig. 4의 I1영역의 평균 전기장도값을 I2영역의 평균 전기장도값으로 나누는 무차원 변수값을 최대화하는 것으로 아래의 식 (2)와 같이 설계목적함수를 설정하였다. 또한 각 결과의 반치전폭 (full width at half maximum)을 측정하여 출력광의 크기를 도출하였으며, 평균 전기장도와 마찬가지로 Fig. 4의 초기모델을 1로 정규화하여 표현하였다.

$$\text{Maximize } \frac{\text{average field intensity of I1}}{\text{average field intensity of I2}} \quad (2)$$

Fig. 5(a)는 초기모델의 형상을 나타내고 있다. 회색요소는 AI를 의미하고 백색 요소는 공기층을 의미하며 AI 박판에 성형된 한 변이 60nm인 정사각 나노개구를 도시화하였다. Fig. 5(b)는 초기모델의 해석 결과로서 개구를 통과한 빛이 SiO₂ 유전체층에 투과될 때의 표준 전기분포를 나타내고 있다.

3.2 유전 알고리즘의 결과

유전 알고리즘은 자연 진화론을 기반으로 한 직

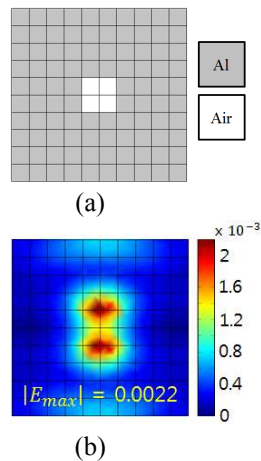


Fig. 5 Analysis result of the initial model; (a) schematics of square aperture with 60nm side length and (b) its electric field intensity distribution in the x - y plane

자생존의 원리를 이용한 방법으로, 이전 세대의 진화의 결과가 다음 세대에 반영되어 세대를 거듭할수록 우수한 결과값을 찾는 최적화 기법이다. 따라서 본 연구에서는 향상된 결과를 위하여 현재 상당 부분 연구가 진행되어 성능이 증명된 보우타이형(①, ②) C형(③, ④), H형 나노개구(⑤, ⑥) 및 4중 리지 나노개구 (quadruple ridge nano-aperture,

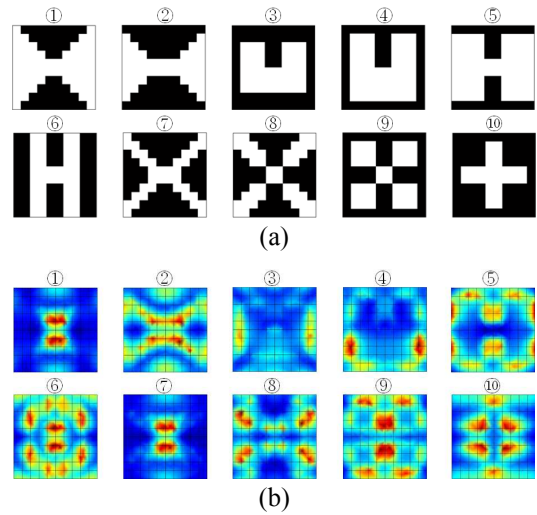


Fig. 6 Analysis of the populations; (a) schematics of the initial population and (b) electric field intensity distribution in the x - y plane

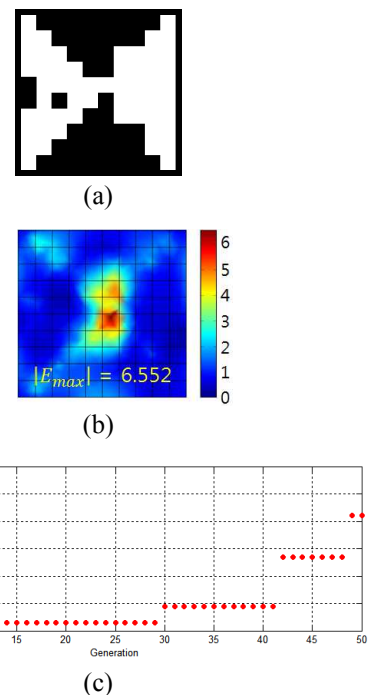


Fig. 7 Results of the GA method; (a) shape of optimal AI layer, (b) its electric field intensity distribution x - y plane and (c) convergence records according to generations

⑦~⑩)를 이용한 10개의 해들로 하나의 모집단을 구성하였다.

Fig. 6(a)는 초기 모집단의 각 형상을 나타내고 있으며 Fig. 6(b)는 Fig. 6(a)의 각 형상에 따른 전계 분포를 보여주고 있다. 설계영역에서의 각 요소들은 1또는 0의 유전정보를 갖게 되고 부여된 유전 정보에 따라 유전정보가 1인 요소에는 Al의 물성치가 부여되고 유전정보가 0인 요소에는 공기의 물성치를 부여하였다.

본 연구에서 초기 모집단은 선택, 교배, 변이과정을 거치며 새로운 자식해를 도출한다. 자식해는 다음 세대로 유전되며 이러한 일련의 과정을 1세대로 구성하였다. 총 50세대의 최적화 과정을 수행하였으며 Fig. 7(a)는 유전 알고리즘을 통해 도출된 나노개구의 최적형상을 나타내며, Fig. 7(b)는 결과의 전계분포를 보여준다. 이는 국소 표면 플라즈몬 공명(localized surface plasmon resonance)에 의한 전계분포로서 정규화된 평균 전계강도값이 2586.88로 초기모델에 비하여 약2500배 이상 향상된 결과를 보여준다. 전계분포 역시 Fig. 6(b)의 모집단의 전계분포와 비교할 때, 설계영역 가운데 하나의 초점으로 집중된 형태를 보여준다. Fig. 7(c)는 수렴기록(convergence record)을 보여주고 있다. 알고리즘 수행시간은 Intel i7 2.2GHz CPU 컴퓨터로 27807초가 소요되었다.

Table 2는 모집단의 초기 모델들 및 유전알고리즘을 통하여 도출된 최종 결과의 반치전폭값과 평균 전계강도 값을 초기모델의 반치전폭값과 평균 전계강도값을 1로 표준화한 값과 비교하여 표기한 수치를 나타낸다. 모집단의 ③, ④, ⑤, ⑨번의 모델들은 초점이 형성되지 않아 반치전폭을 측정할 수 없었으며, 최종적으로 도출된 반치전폭값을 x 축 방향과 y 축 방향에 관하여 분석하였다.

최적화된 모델의 y 축 방향의 반치전폭값은 기존 모집단의 초기 모델들에 비교하여 감소되지 않고 오히려 모집단의 ②, ⑧번 모델의 결과보다 약 14%정도 증가된 값을 보여준다. 그러나 x 축 방향에서는 모집단의 결과와 비교하여 최소 52%(①번)부터 최대 79%(⑩번)까지 감소되어 평균적으로 약 2.4배 감소하였다. 평균 전계강도값은 모집단의 ⑥번 모델을 제외하고는 최소 5%(④)부터 최대 343%(⑤)까지 증가하여 평균적으로 약 2.3배 이상 상승한 결과를 확인할 수 있다. 가장 우수한 평균 전계강도값을 보인 ⑥번 모델의 경우는 수치상 유전알고리즘의 결과값보다 약 1.6배 이상 큰 값을 나타내고 있지만 x 축 방향의 반치전폭이 유전

Table 2 Comparison of the analysis results using initial model, models of population and GA result

Initial modes, Number of populations and GA result	FWHM (nm)	Average of the normalized electric field intensity
Initial model	87 × 101 (two spot)	1
①	88 × 127 (two spot)	1763
②	142 × 102 (two spot)	1261
③	(no spot)	1935
④	(no spot)	2473
⑤	(no spot)	584
⑥	95 × 112 (two spot)	4271
⑦	94 × 127 (two spot)	1915
⑧	97 × 102 (two spot)	795
⑨	(no spot)	1027
⑩	221 × 327 (four spot)	1341
GA result	46 × 119 (one spot)	2587

알고리즘의 결과와 비교하여 약 2.1배 크며 두 개의 초점(spot)을 생성하기 때문에 단일 초점을 나타내는 유전알고리즘의 결과가 동일 면적에서 2배 이상의 효율을 보이며, 이러한 결과는 Fig. 6(b)의 전기장 분포를 통하여 유추할 수 있다.

3.3 ON/OFF 방법의 결과

유전알고리즘은 확률적 메커니즘으로서 수식적으로 해결하기 어려운 비선형문제들의 해결에 유용하지만 해를 도출하는 과정에서 장시간의 알고리즘 수행의 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 유전알고리즘의 결점을 극복하기 위한 방법으로 ON/OFF 방법을 도입하였으며, 두 가지 방법의 ON/OFF 방법을 수행하였다.

첫 번째 방법은 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 좌측 최상단의 요소부터 우측 최하단의 요소까지 오른쪽 방향으로 순차적으로 알고리즘이 진행되어 완전요인 배치법에 기인하여 모든 요소들을 대상으로 ON/OFF방법이 수행된다. 기본적으로 요소가 갖고 있는 유전 정보가 1인 경우 0으로 전환하고, 0인 경우는 1로 전환하여 적합함수를 평가하고 높은 성능을 나타내는 모델을 선택한다. 두 번째 방법은 첫 번째 방법을 보완한 방법으로 알고리즘

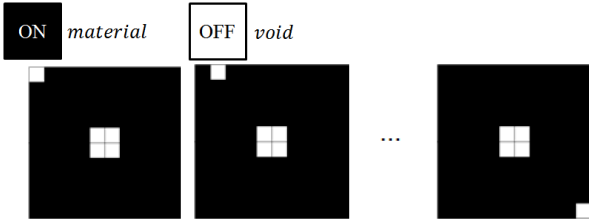


Fig. 8 Concept of the first ON/OFF method where all elements are changed from material to air and vice versa

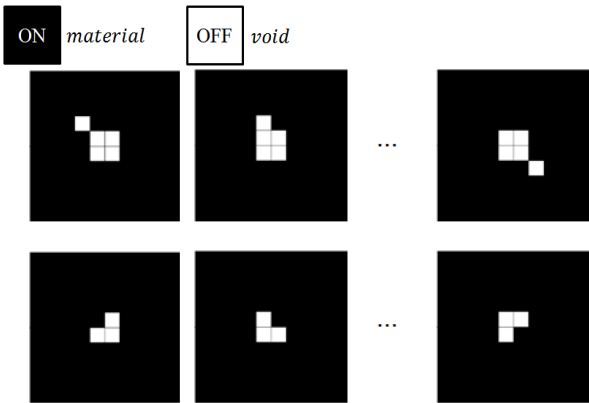


Fig. 9 Concept of the second ON/OFF method where sensitivities are calculated only for elements on the boundary regions

수행 시간 단축과 성능 향상을 위하여 형상의 경계 부분의 요소들에만 유한차분법을 적용하여 유전정보가 1인 요소들의 민감도를 우선적으로 계산한 뒤 유전정보가 0인 나머지 요소들의 민감도를 계산하여 최적화 과정을 수행하였다. Fig. 9는 형상의 경계 부분을 이루는 요소들을 평가하는 두 번째 ON/OFF 방법의 개념을 도시적으로 설명하고 있다.

Fig. 10(a)는 모든 요소들을 대상으로 평가한 ON/OFF 방법의 최종 결과를 나타내며, Fig. 10(b)는 전계분포를 나타낸다. 평균 전계강도값은 842.13으로, 초기모델에 비교하여 약842배 상승하였다. 출력광의 반치전폭은 60nm×61nm이며 알고리즘 수행시간은 27654초 소요되었다. Fig. 10(c)는 각 회기(iteration)에서의 형상과 수렴 기록을 보여주고 있으며, 2번째 회기부터는 설계영역의 가운데 부분의 4개의 미소 개구들(tiny apertures)은 고정된 채 바깥쪽 경계부위의 요소들만이 변화가 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 11(a)는 경계영역의 요소들을 대상으로 유한차분법을 적용한 ON/OFF방법의 최종 결과를 나타내며, Fig. 11(b)~(c)는 최종결과의 전계분포와 각

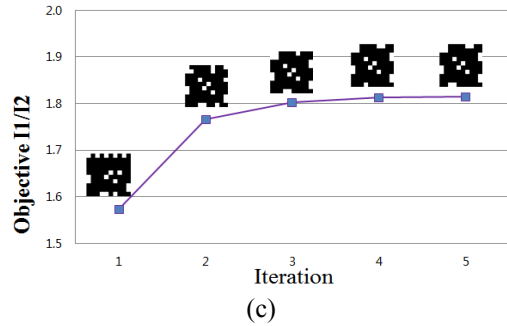
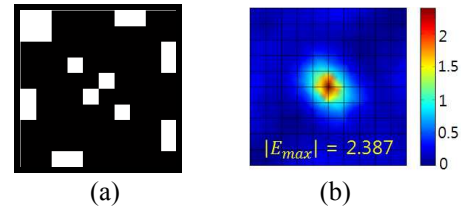


Fig. 10 Results of the first ON/OFF method; (a) shape of optimal AI layer, (b) its electric field intensity distribution on the x-y plane and (c) shape variation at each iteration and its convergence record

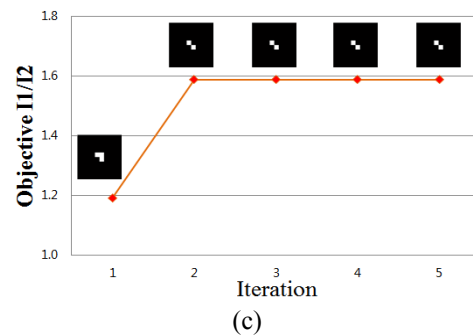
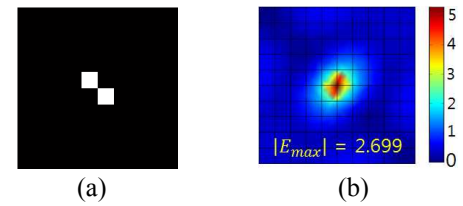


Fig. 11 Results of the second ON/OFF method; (a) shape of optimal AI layer, (b) its electric field contour on x-y plane and (c) shape variation at each iteration and its convergence record

회기마다의 형상과 수렴기록을 각각 도시화 하고 있다. 정규화된 평균 전계강도값은 911.14로 나타났다. 또한 목적함수 값이 2번째 회기에서 이미 수렴함을 확인할 수 있고, 첫 번째 ON/OFF방법과 비교하였을 때 상당히 간략화된 나노개구의 형상을 보여주고 있으며 반치전폭은 60nm×61nm로 확인되었다.

Table 3 Comparison of analysis results by the ON/OFF methods

Number of ON/OFF methods	FWHM (nm)	Average of the electric field intensity	Computing time (sec)
①	60 × 61 (one spot)	842	27754
②	60 × 61 (one spot)	911	5866

Table 3은 ON/OFF 방법을 통하여 도출된 결과를 정리한 것이다. 초기모델의 평균 전계강도 값을 1로 정규화하여 표현하였으며 앞서 제시된 두 가지 ON/OFF 방법에 소요된 알고리즘 수행시간과 반치전폭을 각각 명시하였다. 경계영역에서의 각 요소를 대상으로 유한차분법을 이용하여 수행한 두 번째 ON/OFF 방법이 전체 요소를 대상으로 수행한 첫 번째 ON/OFF 방법에 비하여 알고리즘 소모시간이 4.7배 이상 감소하였으며, Fig. 11(c)에서 도시된 두 번째 ON/OFF방법의 수렴기록에서 목적함수 값이 2번째 회귀에서 수렴한 것을 감안하면 최종 결과를 도출하는데 소모된 실제 알고리즘 수행 시간은 더욱 감소될 수 있음을 유추할 수 있다. 평균 전계강도값 역시 약 8.2% 소폭 상승한 결과를 보였으나 반치전폭의 크기는 변화하지 않았다. 이는 Fig. 10(c)에의 2번째 회귀 이후 보이는 설계영역 외각의 경계부의 요소들의 상태 변화가 반치전폭의 크기에는 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 ON/OFF 방법을 통하여 광 저장 매체나 나노 리소그래피 기술 분야에서 사용되는 기존의 나노개구를 개선한 새로운 형상의 나노개구를 설계하고 이를 유전 알고리즘을 이용한 결과와 비교하였다. 특히 높은 반사율과 작은 표피 깊이를 통하여 안정성을 확보하는 리소그래피 기술을 고려하여 가시광선 영역의 파장을 입력광으로 선택하였다.

제시된 방법을 이용하여 새롭게 설계된 나노개구들은 표면 플라즈몬 효과를 극대화하는 구조로써 초기 모델에 비교하여 약 900배 이상의 높은 평균 전계강도값과 감소된 초점치수를 보였다. 본 연구의 결과를 통하여 유전알고리즘 및 ON/OFF 방법을 통한 구조최적설계 과정이 가시광선영역의 나노 구조물의 최적설계와 같은 비선형 문제의 해

결에 유용한 적용이 가능함을 확인한다. 또한 형상의 경계 부분만을 평가하는 ON/OFF 방법을 이용하는 경우 계산 시간의 단축과 전반적인 성능 향상을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과는 10x10의 설계 요소에 대해 진행되었으며 이를 증가시킬 경우 보다 정밀한 형상의 설계가 가능하다. 그러나 이 과정은 계산 시간의 급격한 증가를 초래하므로 이를 고려한 적절한 설계 요소의 설정이 요구된다.

후 기

이 논문은 2011 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0017512).

참고문헌

- (1) Bethe, H. A., 1944, "Theory of Diffraction by Small Holes," *Physical Review*, Vol. 66, No.7, pp. 163~182.
- (2) Wang L. and Xu, X., 2008, "Numerical Study of Optical Nanolithography Using Nanoscale Bow-tie-shaped Nano-Apertures," *Journal of microscopy*, Vol. 229, No. 3, pp. 483~489.
- (3) Shi, X., Hesselink, L. and Thornton, R. L., 2003, "Ultrahigh Light Transmission Through a C shaped Nanoaperture," *Optics Letters*, Vol. 28, No. 15, pp. 1320~1322.
- (4) Im, C. H., Jung, H. K. and Kim, Y. J., 2003, "Hybrid Genetic Algorithm for Electromagnetic Topology Optimization," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 39, No. 5, pp. 2163~2169.
- (5) Chelouah, R. and Siarry, P., 2000, "A Continuous Genetic Algorithm Designed for the Global Optimization of Multimodal Functions," *Journal of Heuristics*, Vol. 6, No. 5, pp. 191~213.
- (6) Choi, J. S. and Yoo, J., 2009, "Structural Topology Optimization of Magnetic Actuators Using Genetic Algorithm and ON/OFF Sensitivity," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 45, No. 5, pp. 2276~2279.
- (7) Song, S. M. and Yoo, J., 2012, "Nano-Aperture Grating Structure Design in Ultra-High Frequency Range Based on the GA and the ON/OFF Method," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 36, No. 7, pp. 739~744.
- (8) Rao, Z., Hesselink, L. and Harris, J. S., 2007, "High Transmission Through Ridge Nano-apertures on Vertical-Cavity Surface Emitting Lasers," *Optics Express*, Vol. 15, pp.10427~10438.