(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0011419
(43) 공개일자 2025년01월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/398 (2020.01) *G06F 111/04* (2020.01)
G06F 111/06 (2020.01) *G06F 111/10* (2020.01)
G06F 30/27 (2020.01) *G06F 30/33* (2020.01)
G06F 30/367 (2020.01) *G06N 3/08* (2023.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/398 (2020.01)
G06F 30/27 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2023-0091822
(22) 출원일자 2023년07월14일
심사청구일자 2023년07월14일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
박형렬
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
이형택
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
김정훈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인 무한

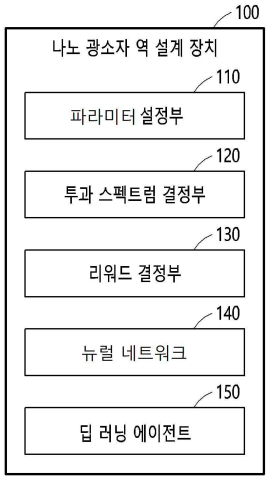
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **딥러닝에 기초한 나노 광소자 역설계 방법 및 장치**

(57) 요 약

딥러닝에 기초한 나노 광소자 역설계 방법 및 장치가 개시된다. 나노 광소자 역설계 방법은 나노 광소자의 초기 파라미터를 설정하는 단계; 해석 모델을 이용하여 상기 나노 광소자의 투과 스펙트럼을 결정하는 단계; 상기 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크에 입력할 리워드를 결정하는 단계; 및 상기 리워드를 입력받은 상기 뉴럴 네트워크로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06F 30/33 (2020.01)
G06F 30/367 (2020.01)
G06N 3/08 (2023.01)
G06F 2111/04 (2020.01)
G06F 2111/06 (2020.01)
G06F 2111/10 (2020.01)
Y10S 706/919 (2013.01)
Y10S 706/92 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711180000
과제번호 2021R1A2C1008452
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 테라헤르츠 펄스 레이저를 이용한 나노미터 두께 강유전체박막 내 전기분극의 초고속 동역학 연구
기 여 율 1/2
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711175771
과제번호 2022M3H4A1A04096465
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 나노소재기술개발
연구과제명 비냉각형 고속·고감도 장파장 적외선(LWIR) 센서를위한 극한 신소재, 나노기술 연구
기 여 율 1/2
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2022.10.01 ~ 2023.06.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

나노 광소자의 초기 파라미터를 설정하는 단계;

해석 모델을 이용하여 상기 나노 광소자의 투과 스펙트럼을 결정하는 단계;

상기 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크에 입력할 리워드를 결정하는 단계; 및

상기 리워드를 입력받은 상기 뉴럴 네트워크로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계하는 단계

를 포함하는 나노 광소자 역설계 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 해석 모델은,

상기 나노 광소자의 초기 파라미터에 따라 상기 나노 광소자의 전기장을 결정하고, 상기 전기장을 정규화하며, 정규화한 전기장과 상기 나노 광소자에 포함된 금속과 유전체의 비율에 기초하여 상기 나노 광소자의 투과율을 결정하는 나노 광소자 역설계 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 투과 스펙트럼을 결정하는 단계는,

상기 나노 광소자에 입사되는 전자기파와 상기 나노 광소자의 투과율을 기초로 상기 전자기파가 상기 나노 광소자를 투과한 비율을 나타내는 투과 스펙트럼을 결정하는 나노 광소자 역설계 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 리워드는,

상기 나노 광소자의 공정 주파수의 피크(peak) 위치, 디프(dip) 위치, 및 피크에서의 전기장 증폭도에 기초하여 결정되는 나노 광소자 역설계 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 피크에서의 전기장 증폭도는,

상기 나노 광소자에 포함된 금속과 유전체의 비율을 나타내는 커버리지 비율 및 상기 나노 광소자의 최대 투과율에 기초하여 결정되는 나노 광소자 역설계 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 리워드를 결정하는 단계는,

피크 위치의 목표값과 상기 공정 주파수의 피크 위치 간의 간격, 피크 위치와 디프 위치 간의 간격의 목표값과 상기 공정 주파수의 피크 위치와 디프 위치의 간격 간의 차이, 및 피크에서의 전기장 증폭도를 조합하여 상기 리워드를 결정하는 나노 광소자 역설계 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 리워드를 결정하는 단계는,

상기 나노 광소자의 목표값과 상기 투과 스펙트럼 간의 유사도에 따라 상기 리워드를 결정하는 나노 광소자 역설계 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 나노 광소자는,

복수의 다각형 구멍들이 형성된 광소자 안테나이고,

상기 뉴럴 네트워크는,

상기 다각형 구멍들 각각의 가로 길이, 상기 다각형 구멍들 각각의 세로 길이, 상기 다각형 구멍들 간의 간격, 및 상기 다각형 구멍들 각각의 깊이가 포함된 파라미터와 상기 리워드를 입력받아 상기 파라미터를 최적화하는 나노 광소자 역설계 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 나노 광소자는,

복수의 다각형 루프들이 형성되고, 루프들 각각의 변이 유전체로 형성되며, 상기 루프들 각각의 변을 제외한 나머지 영역은 금속으로 형성된 광소자 안테나이고,

상기 뉴럴 네트워크는,

상기 다각형 루프들 각각의 가로 길이, 상기 다각형 루프들 각각의 세로 길이, 상기 다각형 루프들 간의 간격, 상기 루프들 각각의 변의 폭, 및 상기 루프들 각각의 변의 깊이가 포함된 파라미터와 상기 리워드를 입력받아 상기 파라미터를 최적화하는 나노 광소자 역설계 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족하는 경우, 딥러닝 에이전트의 동작을 종료하고, 상기 역설계한 나노 광소자의 파라미터를 목표값에 대응하는 최적 파라미터로 결정하는 단계;

역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족하지 않는 경우, 상기 나노 광소자의 파라미터를 보정하는 단계;

보정된 파라미터를 이용하여 상기 나노 광소자의 투과 스펙트럼을 재결정하는 단계;

재결정된 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크에 입력할 리워드를 재결정하는 단계; 및

재결정된 리워드를 입력받은 상기 뉴럴 네트워크로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계하는 단계

를 더 포함하는 나노 광소자 역설계 방법.

청구항 11

나노 광소자의 초기 파라미터를 설정하는 파라미터 설정부;

해석 모델을 이용하여 상기 나노 광소자의 투과 스펙트럼을 결정하는 투과 스펙트럼 결정부;

상기 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크에 입력할 리워드를 결정하는 리워드 결정부; 및

상기 리워드를 입력받은 상기 뉴럴 네트워크로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계하는 딥러닝 에이전트를

포함하는 나노 광소자 역설계 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 해석 모델은,

상기 나노 광소자의 초기 파라미터에 따라 상기 나노 광소자의 전기장을 결정하고, 상기 전기장을 정규화하며, 정규화한 전기장과 상기 나노 광소자에 포함된 금속과 유전체의 비율에 기초하여 상기 나노 광소자의 투과율을 결정하는 나노 광소자 역설계 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 리워드 결정부는,

피크 위치의 목표값과 공정 주파수의 피크 위치 간의 간격, 피크 위치와 디프 위치 간의 간격의 목표값과 상기 공정 주파수의 피크 위치와 디프 위치의 간격 간의 차이, 및 피크에서의 전기장 증폭도를 조합하여 상기 리워드를 결정하는 나노 광소자 역설계 장치.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 나노 광소자는,

복수의 다각형 구멍들이 형성된 광소자 안테나이고,

상기 뉴럴 네트워크는,

상기 다각형 구멍들 각각의 가로 길이, 상기 다각형 구멍들 각각의 세로 길이, 상기 다각형 구멍들 간의 간격, 및 상기 다각형 구멍들 각각의 깊이가 포함된 파라미터와 상기 리워드를 입력받아 상기 파라미터를 최적화하는 나노 광소자 역설계 장치.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 나노 광소자는,

복수의 다각형 루프들이 형성되고, 루프들 각각의 변이 유전체로 형성되며, 상기 루프들 각각의 변을 제외한 나머지 영역은 금속으로 형성된 광소자 안테나이고,

상기 뉴럴 네트워크는,

상기 다각형 루프들 각각의 가로 길이, 상기 다각형 루프들 각각의 세로 길이, 상기 다각형 루프들 간의 간격, 상기 루프들 각각의 변의 폭, 및 상기 루프들 각각의 변의 깊이가 포함된 파라미터와 상기 리워드를 입력받아 상기 파라미터를 최적화하는 나노 광소자 역설계 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 나노 광소자를 역설계하는 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 딥러닝을 이용하여 목표값의 나노 광소자에 해당하는 최적 파라미터를 검색하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 나노 광소자가 다양한 분야에 사용됨에 따라 나노 광소자를 역설계하는 방법도 연구되고 있다.

[0003] 종래의 나노 광소자 역설계 방법은 수치 해석 시뮬레이션을 수행하여 나노 광소자의 파라미터를 결정하는 과정

을 반복함으로써, 나노 광소자를 역설계하였다.

[0004] 그러나, 수치 해석 시뮬레이션을 사용하는 나노 광소자 역설계 방법은 나노 광소자에 입사되는 전자기파의 파장과 나노 광소자의 크기 간의 차이가 일정 범위 안에 있는 경우에는 빠른 시간 안에 계산이 가능하다. 그러나, 전자기파의 파장의 크기가 100 um (3 THz) ~ 10 mm (30 GHz)인 경우, 수 nm 크기의 나노 광소자는 크기가 파장 대비 10,000~10,000,000배 까지도 차이가 나므로 시뮬레이션 시간이 매우 길어지거나, 불가능하여 나노 광소자를 역설계할 수 없는 실정이다.

[0005] 따라서, 전자기파의 파장의 크기와 나노 광소자의 크기가 일정 범위 이상으로 차이가 나는 경우에도 나노 광소자를 역설계할 수 있는 방법이 요청되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 해석 모델을 사용하여 투과율을 결정함으로써, 시뮬레이션 툴을 사용하는 역설계 장치에 비하여 처리 속도를 향상시킬 수 있는 방법 및 장치를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법은 나노 광소자의 초기 파라미터를 설정하는 단계; 해석 모델을 이용하여 상기 나노 광소자의 투과 스펙트럼을 결정하는 단계; 상기 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크에 입력할 리워드를 결정하는 단계; 및 상기 리워드를 입력받은 상기 뉴럴 네트워크로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법의 상기 해석 모델은, 상기 나노 광소자의 초기 파라미터에 따라 상기 나노 광소자의 전기장을 결정하고, 상기 전기장을 정규화하며, 정규화한 전기장과 상기 나노 광소자에 포함된 금속과 유전체의 비율에 기초하여 상기 나노 광소자의 투과율을 결정할 수 있다.

[0009] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법의 상기 투과 스펙트럼을 결정하는 단계는, 상기 나노 광소자에 입사되는 전자기파와 상기 나노 광소자의 투과율을 기초로 상기 전자기파가 상기 나노 광소자를 투과한 비율을 나타내는 투과 스펙트럼을 결정할 수 있다.

[0010] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법의 상기 리워드는, 상기 나노 광소자의 공정 주파수의 피크(peak) 위치, 디프(dip) 위치, 및 피크에서의 전기장 증폭도에 기초하여 결정될 수 있다.

[0011] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법의 상기 피크에서의 전기장 증폭도는, 상기 나노 광소자에 포함된 금속과 유전체의 비율을 나타내는 커버리지 비율 및 상기 나노 광소자의 최대 투과율에 기초하여 결정될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법의 상기 리워드를 결정하는 단계는, 피크 위치의 목표값과 상기 공정 주파수의 피크 위치 간의 간격, 피크 위치와 디프 위치 간의 간격의 목표값과 상기 공정 주파수의 피크 위치와 디프 위치의 간격 간의 차이, 및 피크에서의 전기장 증폭도를 조합하여 상기 리워드를 결정할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법의 상기 리워드를 결정하는 단계는, 상기 나노 광소자의 목표값과 상기 투과 스펙트럼 간의 유사도에 따라 상기 리워드를 결정할 수 있다.

[0014] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법의 상기 나노 광소자는, 복수의 다각형 구멍들이 형성된 광소자 안테나이고, 상기 뉴럴 네트워크는, 상기 다각형 구멍들 각각의 가로 길이, 상기 다각형 구멍들 각각의 세로 길이, 상기 다각형 구멍들 간의 간격, 및 상기 다각형 구멍들 각각의 깊이가 포함된 파라미터와 상기 리워드를 입력받아 상기 파라미터를 최적화할 수 있다.

[0015] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법의 상기 나노 광소자는, 복수의 다각형 루프들이 형성되고, 루프들 각각의 변이 유전체로 형성되며, 상기 루프들 각각의 변을 제외한 나머지 영역은 금속으로 형성된 광소자 안테나이고, 상기 뉴럴 네트워크는, 상기 다각형 루프들 각각의 가로 길이, 상기 다각형 루프들 각각의 세로 길이, 상기 다각형 루프들 간의 간격, 상기 루프들 각각의 변의 폭, 및 상기 루프들 각각의 변의 깊이가 포함된 파라미터와 상기 리워드를 입력받아 상기 파라미터를 최적화할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법은 역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족하는 경우, 딥러닝 에이전트의 동작을 종료하고, 상기 역설계한 나노 광소자의 파라미터를 목표값에 대응하는 최적 파라미터로 결정하는 단계; 역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족하지 않는 경우, 상기 나노 광소자의 파라미터를 보정하는 단계; 보정된 파라미터를 이용하여 상기 나노 광소자의 투과 스펙트럼을 재결정하는 단계; 재결정된 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크에 입력할 리워드를 재결정하는 단계; 및 재결정된 리워드를 입력받은 상기 뉴럴 네트워크로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 장치는 나노 광소자의 초기 파라미터를 설정하는 파라미터 설정부; 해석 모델을 이용하여 상기 나노 광소자의 투과 스펙트럼을 결정하는 투과 스펙트럼 결정부; 상기 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크에 입력할 리워드를 결정하는 리워드 결정부; 및 상기 리워드를 입력받은 상기 뉴럴 네트워크로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계하는 딥러닝 에이전트를 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 장치의 상기 해석 모델은, 상기 나노 광소자의 초기 파라미터에 따라 상기 나노 광소자의 전기장을 결정하고, 상기 전기장을 정규화하며, 정규화한 전기장과 상기 나노 광소자에 포함된 금속과 유전체의 비율에 기초하여 상기 나노 광소자의 투과율을 결정할 수 있다.

[0019] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 장치의 상기 리워드 결정부는, 피크 위치의 목표값과 상기 공정 주파수의 피크 위치 간의 간격, 피크 위치와 디프 위치 간의 간격의 목표값과 상기 공정 주파수의 피크 위치와 디프 위치의 간격 간의 차이, 및 피크에서의 전기장 증폭도를 조합하여 상기 리워드를 결정할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 장치의 상기 나노 광소자는, 복수의 다각형 구멍들이 형성된 광소자 안테나이고, 상기 뉴럴 네트워크는, 상기 다각형 구멍들 각각의 가로 길이, 상기 다각형 구멍들 각각의 세로 길이, 상기 다각형 구멍들 간의 간격, 및 상기 다각형 구멍들 각각의 깊이가 포함된 파라미터와 상기 리워드를 입력받아 상기 파라미터를 최적화할 수 있다.

[0021] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 장치의 상기 나노 광소자는, 복수의 다각형 루프들이 형성되고, 루프들 각각의 변이 유전체로 형성되며, 상기 루프들 각각의 변을 제외한 나머지 영역은 금속으로 형성된 광소자 안테나이고, 상기 뉴럴 네트워크는, 상기 다각형 루프들 각각의 가로 길이, 상기 다각형 루프들 각각의 세로 길이, 상기 다각형 루프들 간의 간격, 상기 루프들 각각의 변의 폭, 및 상기 루프들 각각의 변의 깊이가 포함된 파라미터와 상기 리워드를 입력받아 상기 파라미터를 최적화할 수 있다.

발명의 효과

[0022] 본 발명의 일실시예에 의하면, 해석 모델을 사용하여 투과율을 결정함으로써, 시뮬레이션 툴을 사용하는 역설계 장치에 비하여 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

[0023] 또한, 본 발명의 일실시예에 의하면, 나노 광소자의 역설계에 필요한 처리 속도를 향상시킴으로써, 대량의 처리를 필요로 하는 테라헤르츠 능동 스위치 소자, 또는 테라헤르츠 초전도 능동 소자를 역설계할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 장치를 도시한 도면이다.

도 2는 광소자 안테나의 갭에 따라 광소자 안테나에서 발생하는 전기장의 일례이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 과정의 일례이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따라 결정한 나노 광소자의 성능 일례이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 과정의 다른 일례이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따라 해석 모델을 적용하기 위하여 나노 광소자를 단순화시키는 과정의 일례이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 리워드를 생성하기 위하여 사용하는 정보들의 일례이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법을 도시한 플로우차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 실시예들에는 다양한 변경이 가해

질 수 있어서 특허출원의 권리 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 실시예들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물이 권리 범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

[0026] 실시예에서 사용한 용어는 단지 설명을 목적으로 사용된 것으로, 한정하려는 의도로 해석되어서는 안된다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0027] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0028] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0029] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 장치(100)를 도시한 도면이다.

[0030] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 장치(100)는 도 1에 도시된 바와 같이 파라미터 설정부(110), 투과 스펙트럼 결정부(120), 리워드 결정부(130), 뉴럴 네트워크(140) 및 딥러닝 에이전트(150)를 포함할 수 있다. 이때, 파라미터 설정부(110), 투과 스펙트럼 결정부(120), 리워드 결정부(130), 뉴럴 네트워크(140) 및 딥러닝 에이전트(150)는 도 1에 도시된 바와 같이 서로 다른 프로세서일 수도 있고, 하나의 프로세서에서 수행되는 프로그램에 포함된 각각의 모듈일 수 있다.

[0031] 파라미터 설정부(110)는 나노 광소자의 초기 파라미터를 설정할 수 있다.

[0032] 투과 스펙트럼 결정부(120)는 해석 모델을 이용하여 나노 광소자의 투과 스펙트럼을 결정할 수 있다. 해석 모델은 나노 광소자의 초기 파라미터에 따라 나노 광소자의 전기장을 결정하고, 전기장을 정규화하며, 정규화한 전기장과 나노 광소자에 포함된 금속과 유전체의 비율에 기초하여 나노 광소자의 투과율을 결정하는 모델일 수 있다. 그리고, 투과 스펙트럼 결정부(120)는 나노 광소자에 입사되는 전자기파와 해석 모델이 결정한 나노 광소자의 투과율을 기초로 전자기파가 나노 광소자를 투과한 비율을 나타내는 투과 스펙트럼을 결정할 수 있다. 예를 들어, 나노 광소자에 입사되는 전자기파는 통신 주파수 대역의 전자기파인 테라헤르츠파일 수 있다.

[0033] 리워드 결정부(130)는 투과 스펙트럼 결정부(120)가 결정한 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크(140)에 입력할 리워드를 결정할 수 있다. 이때, 리워드 결정부(130)는 나노 광소자의 목표값과 투과 스펙트럼 간의 유사도에 따라 리워드를 결정할 수 있다. 또한, 리워드는, 나노 광소자의 공정 주파수의 피크(peak) 위치, 디프(dip) 위치, 및 피크에서의 전기장 증폭도에 기초하여 결정될 수 있다.

[0034] 피크에서의 전기장 증폭도는, 나노 광소자에 포함된 금속과 유전체의 비율을 나타내는 커버리지 비율 및 나노 광소자의 최대 투과율에 기초하여 결정될 수 있다. 그리고, 리워드 결정부(130)는 피크 위치의 목표값과 공정 주파수의 피크 위치 간의 간격, 피크 위치와 디프 위치 간의 간격의 목표값과 공정 주파수의 피크 위치와 디프 위치의 간격 간의 차이, 및 피크에서의 전기장 증폭도를 조합하여 리워드를 결정할 수 있다.

[0035] 나노 광소자가 복수의 다각형 구멍들이 형성된 광소자 안테나인 경우, 뉴럴 네트워크(140)는, 다각형 구멍들 각각의 가로 길이, 다각형 구멍들 각각의 세로 길이, 다각형 구멍들 간의 간격, 및 다각형 구멍들 각각의 깊이가 포함된 파라미터와 리워드를 입력받아 파라미터를 최적화할 수 잇다.

[0036] 나노 광소자가 복수의 다각형 루프들이 형성되고, 루프들 각각의 변이 유전체로 형성되며, 루프들 각각의 변을 제외한 나머지 영역은 금속으로 형성된 광소자 안테나인 경우, 뉴럴 네트워크(140)는, 다각형 루프들 각각의 가로 길이, 다각형 루프들 각각의 세로 길이, 다각형 루프들 간의 간격, 루프들 각각의 변의 폭, 및 루프들 각각의 변의 깊이가 포함된 파라미터와 리워드를 입력받아 파라미터를 최적화할 수 있다.

[0037] 딥러닝 에이전트(150)는 리워드를 입력받은 뉴럴 네트워크(140)로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계할 수 있다.

[0038] 역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족하는 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 딥러닝 에이전트의 동작을 종료하고, 역설계한 나노 광소자의 파라미터를 목표값에 대응하는 최적 파라미터로 결정할 수 있다.

[0039] 역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족하지 않는 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 나노 광소자의 파라미터를 보정할 수 있다. 그리고, 투과 스펙트럼 결정부(120)는 보정된 파라미터를 이용하여 나노 광소자의

투과 스펙트럼을 재결정할 수 있다. 다음으로, 리워드 결정부(130)는 재결정된 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크(140)에 입력할 리워드를 결정할 수 있다. 그리고, 딥러닝 에이전트(150)는 재결정된 리워드를 입력받은 뉴럴 네트워크(140)로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계할 수 있다.

[0040] 투과 스펙트럼 결정부(120), 리워드 결정부(130), 및 딥러닝 에이전트(150)는 역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족할 때까지 앞서 설명한 과정을 반복 수행할 수 있다.

[0041] 나노 광소자 역설계 장치(100)는 해석 모델을 사용하여 투과율을 결정함으로써, 시뮬레이션 툴을 사용하는 역설계 장치에 비하여 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

[0042] 또한, 나노 광소자 역설계 장치(100)는 나노 광소자의 역설계에 필요한 처리 속도를 향상시킴으로써, 대량의 처리를 필요로 하는 테라헤르츠 능동 스위치 소자, 또는 테라헤르츠 초전도 능동 소자를 역설계할 수 있다.

[0043] 도 2는 광소자 안테나의 갭에 따라 광소자 안테나에서 발생하는 전기장의 일례이다. 도 2에서 이미지의 좌측에 배치된 그래프는 광소자 안테나의 양단에 발생한 자기장의 색상에 대응하는 자기장의 강도를 나타낼 수 있다.

[0044] 도 2의 이미지(210, 220, 230, 240)들은 광소자 안테나의 양단 간의 거리(갭)(200)이 가장 넓은 광소자 안테나의 실시예를 도시한 이미지(210)부터 갭(200)이 광소자 안테나의 실시예를 도시한 가장 넓은 이미지(240)까지 순차적으로 도시하고 있다.

[0045] 도 2에 도시된 바와 같이 광소자 안테나의 양단에 발생한 자기장은 갭(200)이 가장 넓은 광소자 안테나에서 가장 약하고, 갭이 가장 좁은 광소자 안테나에서 가장 강할 수 있다.

[0046] 즉, 광소자 안테나의 갭(200)이 좁을수록 광소자 안테나에서 발생하는 전기장의 크기가 증가할 수 있다.

[0047] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 과정의 일례이다.

[0048] 나노 광소자 역설계 장치(100)는 도 3에 도시된 바와 같이 직사각형 구멍들을 포함하는 구멍 나노 광소자(310)를 역설계할 수 있다.

[0049] 구멍 나노 광소자(310)의 파라미터(311)는 사각형 구멍들 각각의 가로 길이 a_x, 사각형 구멍들 각각의 세로 길이 a_y, 사각형 구멍들 간의 가로 간격 l_x, 사각형 구멍들 간의 세로 간격 l_y, 및 사각형 구멍들 각각의 깊이 h를 포함할 수 있다.

[0050] 투과 스펙트럼 결정부(120)는 해석 모델을 이용하여 구멍 나노 광소자(310)의 투과율을 결정할 수 있다. 리워드 결정부(130)는 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크(320)에 입력할 리워드를 결정할 수 있다.

[0051] 뉴럴 네트워크(320)은 파라미터(311)와 리워드를 입력받을 수 있다. 그리고, 딥러닝 에이전트(150)는 뉴럴 네트워크(320)로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자의 목표값에 해당하는 최적 파라미터를 검색하는 역설계를 할 수 있다.

[0052] 역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족하지 않는 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 나노 광소자의 파라미터를 보정할 수 있다.

[0053] 뉴럴 네트워크(320)는 Q 러닝과 딥러닝이 결합된 DQN(Deep Q Network)일 수 있다. 이때, 뉴럴 네트워크(320)에서 출력되는 Q는 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

[0054] $$Q(s,a) = r(s,a) + \gamma \max_{a} Q(s',a)$$

[0055] 이때, s는 파라미터(311)이고, a는 딥러닝 에이전트(150)가 파라미터(311)의 보정을 위하여 파라미터(311)에 적용할 보정값일 수 있다. 예를 들어, a는 증가, 감소, 유지 중 하나일 수 있다. a가 증가인 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 초기 파라미터의 값을 증가시켜 보정된 파라미터로 결정할 수 있다. a가 유지인 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 초기 파라미터를 보정된 파라미터로 결정할 수 있다. a가 감소인 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 초기 파라미터의 값을 감소시켜 보정된 파라미터로 결정할 수 있다. 또한, Θ는 가중치일 수 있다.

[0056] 뉴럴 네트워크(320)의 비용 함수는 수학식 2와 같이 정의될 수 있다.

수학식 2

$$Cost = \left[Q(s,a;\theta) - \left(r(s,a) + \gamma \max_{a} Q(s',a;\theta) \right) \right]^2$$

[0057]

[0058] 시뮬레이션 환경(330)은 뉴럴 네트워크(320)에서 나노 광소자의 파라미터가 결정되면, 결정된 나노 광소자의 파라미터에 분석해(analytical solution)를 적용하여 나노 광소자의 구조물 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

[0059] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따라 결정한 나노 광소자의 성능 일례이다.

[0060] 시뮬레이션 툴을 사용하여 나노 광소자를 역설계하는 경우, 그래프(410)에 도시된 바와 같이 피크 위치(411)와 디프 위치(412)가 결정될 수 있다.

[0061] 나노 광소자 역설계 장치(100)가 나노 광소자를 역설계하는 경우, 그래프(420)에 도시된 바와 같이 피크 위치(421)와 디프 위치(422)가 결정될 수 있다.

[0062] 나노 광소자 역설계 장치(100)는 해석 모델을 이용하여 투과 스펙트럼을 결정함으로써, 그래프(410)에 비하여 더 빠른 속도로 피크 위치(421)와 디프 위치(422)가 최적화된 위치에 수렴되도록 할 수 있다.

[0063] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 과정의 다른 일례이다.

[0064] 나노 광소자 역설계 장치(100)는 도 5에 도시된 바와 같이 직사각형 루프들을 포함하고 루프의 변에 갭이 형성된 루프 나노 광소자(500)를 역설계할 수 있다.

[0065] 투과 스펙트럼 결정부(120)는 해석 모델을 이용하여 루프 나노 광소자(500)의 투과율(530)을 결정할 수 있다. 그리고, 투과 스펙트럼 결정부(120)는 루프 나노 광소자(500)에 입사되는 전자기파(510)와 해석 모델이 결정한 나노 광소자의 투과율(530)을 기초로 루프 나노 광소자(500)에서 투과된 전자기파(520)가 나노 광소자를 투과한 비율을 나타내는 투과 스펙트럼을 결정할 수 있다. 이때, 루프 나노 광소자(500)의 파라미터(550)는 사각형 루프들 각각의 가로 길이 a_x, 사각형 루프들 각각의 세로 길이 a_y, 사각형 루프들 간의 가로 간격 l_x, 사각형 루프들 간의 세로 간격 l_y 사각형 루프들 각각의 변의 폭 w, 및 사각형 루프들 각각의 변의 깊이 h를 포함할 수 있다.

[0066] 리워드 결정부(130)는 투과 스펙트럼 결정부(120)가 결정한 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크(560)에 입력할 리워드(540)를 결정할 수 있다. 이때, 리워드 결정부(130)는 나노 광소자의 목표값과 투과 스펙트럼 간의 유사도에 따라 리워드(540)를 결정할 수 있다.

[0067] 뉴럴 네트워크(560)은 파라미터(550)와 리워드(540)를 입력받을 수 있다. 그리고, 딥러닝 에이전트(150)는 뉴럴 네트워크(560)로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자의 목표값에 해당하는 최적 파라미터를 검색하는 역설계를 할 수 있다.

[0068] 이때, 딥러닝 에이전트(150)는 뉴럴 네트워크(560)의 출력에 따라 파라미터(550)를 보정할 수 있다. 그리고, 투과 스펙트럼 결정부(120)는 보정된 파라미터(550)에 따른 투과율(530)을 계산하여 투과 스펙트럼을 재결정할 수 있다. 또한, 리워드 결정부(130)는 재결정된 투과 스펙트럼을 기초로 리워드(540)를 재결정할 수 있다.

[0069] 이때, 뉴럴 네트워크(560)는 재결정된 리워드(540)과 보정된 파라미터(550)를 입력받아 딥러닝을 수행할 수 있다. 딥러닝 에이전트(150)는 뉴럴 네트워크(560)의 출력이 최적 조건을 만족할 때까지 앞서 설명한 과정을 반복 수행할 수 있다.

[0070] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따라 해석 모델을 적용하기 위하여 나노 광소자를 단순화시키는 과정의 일례이다.

[0071] 실제 나노 광소자는 이미지(610)에 도시된 바와 같이 루프의 변들 각각의 하면이 루프의 변들을 구성하는 유전체로 연결된 구조일 수 있다. 다만, 실제 나노 광소자의 구조를 고려하여 투과율을 결정한다면 금속의 하면을 통과하는 유전체로 인하여 해석 모델의 적용이 어려울 수 있다. 따라서, 투과 스펙트럼 결정부(120)는 이미지

(620)에 도시된 바와 같이 루프의 변들 각각에만 유전체들이 배치된 구조의 나노 광소자로 설정하여 투과율을 결정할 수 있다.

[0072] 나노 광소자의 갭에서 발생하는 전기장의 크기는 경계 조건에 따라 결정될 수 있다. 예를 들어, 나노 광소자의 갭에서 발생하는 전기장 E_{gap} 은 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다. 이때, E_{gap}은 전기장이 구조물에 입사하였을 때 구조물 근처에서 발생하는 전기장(near field에서의 증폭된 전기장)을 의미할 수 있다.

수학식 3

[0073]
$$E_{gap} = \frac{G_V I_0}{(G_1 - \Sigma)(G_3 - \Sigma) - G_V^2}$$

[0074] 이때, G_V , Σ , $G_{1,3}$ 은 각각 수학식 4, 5, 6과 같이 정의될 수 있다.

수학식 4

[0075]
$$G_V = \frac{1}{k_0 h\left(1 + \frac{k_m^2}{\epsilon_d k_0^2}\right) \times sinc(\beta h)},$$

수학식 5

[0076]
$$\Sigma = G_V \cos\beta h \ , \beta = \sqrt{\epsilon_d k_0^2 + k_m^2 - \left(\frac{\pi}{a_x + a_y}\right)^2}$$

수학식 6

[0077]
$$G_{1,3} = \frac{i(a_x + a_y)w}{2(l_x + l_y)} \left(\frac{\varepsilon_{1,3} k_0 (k_0 + Z_s k_{1z,3z}) - k_y^2}{(k_0 + Z_s k_{1z,3z})(k_{1z,3z} + Z_s k_0)}\right) J^2$$

[0078] 이때, $\epsilon_{m,d}$ 는 금속(metal) 및 유전체(dielectric)의 유전율 함수(dielectric function)를 나타내며 유전체가 갭 물질일 수 있다. 또한, k_m 은 빛이 금속으로 누설되는 누설 파수벡터(leaking wavevector)를 나타낼 수 있

다. k_m는 수학식 7과 같이 나타낼 수 잇다.

수학식 7

$$k_m^2 = -\frac{2\left(1+\sqrt{1-k_0^2\left(\frac{w\epsilon_m}{\epsilon_d}\right)^2\times(\epsilon_m-\epsilon_d)}\right)}{\left(\frac{w\epsilon_m}{\epsilon_d}\right)^2}$$

[0079]

[0080] 또한, 수학식 6의 $k_{1z,3z}$는 수학식 8과 같이 정의될 수 있다.

수학식 8

$$k_{1z,3z} = \sqrt{\varepsilon_{1,3}k_0^2-(k_x^2+k_y^2)}$$

[0081]

[0082] 이때, k_x 는 $2\pi/a_x$의 정수 합(integer multiple)이고, k_y 는 $2\pi/a_y$의 정수 합일 수 있다. 또한, a_x 는 직사각형 루프의 가로 길이이고 a_y 는 직사각형 루프의 세로 길이일 수 있다. 그리고, h 는 금속 박막의 두께이고, w 는 나노 갭의 갭 너비일 수 있다. 또한, 도 6의 J는 수학식 9에 도시된 바와 같은 싱크 함수(sinc function)일 수 있다.

수학식 9

$$J = sinc(k_x w/2)\left\{sinc\left(\frac{\pi+k_y(a_x+a_y)}{2}\right)+sinc\left(\frac{\pi-k_y(a_x+a_y)}{2}\right)\right\}$$

[0083]

[0084] 최종적으로 밖에서의 전기장 E_{out}은 정규화 과정에 따라 수학식 10과 같이 표시할 수 있다. 이때, 밖에서의 전기장 E_{out}는 투과 실험에서 관측할 수 있는 far field 전기장을 의미할 수 있다.

수학식 10

$$E_{out} = \frac{E_{gap}(n_1+n_3)(a_x+a_y)}{2a_x\pi}\int_{\frac{\pi}{2}-\frac{a_x}{a_x+a_y}}^{\frac{\pi}{2}+\frac{a_x}{a_x+a_y}}\cos x\ dx$$

[0085]

[0086] 그리고, 해석 모델은 밖에서의 전기장 E_{out}을 나노 광소자에서 금속에 의해 덮여진 부분과 유전체가 배치된 부분의 비율로 정규화 하여 수학식 11과 같은 루프 나노 갭 구조물의 투과율 t를 결정할 수 있다.

수학식 11

[0087] $$t = E_{out}\frac{w(a_x + a_y)}{l_x l_y}$$

[0088] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 리워드를 생성하기 위하여 사용하는 정보들의 일례이다.

[0089] 역설계 과정(inverse design process)의 리워드는 나노 광소자의 공정 주파수의 피크(peak) 위치, 디프(dip) 위치, 및 피크에서의 전기장 증폭도에 기초하여 결정될 수 있다.

[0090] 이때, 리워드 결정부(130)는 수학식 12와 같이 커버리지 비율(coverage ratio) 및 투과율 t를 사용하여 전기장 증폭도 (field enhancement)를 결정할 수 있다.

수학식 12

[0091] $$E_{enhancement} = t \,/\, coverage\ ratio$$

[0092] 커버리지 비율은 나노 광소자에서 금속에 의해 덮여진 부분과 유전체가 배치된 부분의 비율이며, 수학식 13과 같이 정의될 수 있다.

수학식 13

[0093] $$coverage\ ratio = \frac{2(a_x + a_y)w}{l_x l_y}$$

[0094] 따라서, 리워드 결정부(130)는 수학식 14에 따라 피크에서의 전기장 증폭도 $E_{enhancement}^{max}$ 를 결정할 수 잇다.

수학식 14

[0095] $$E_{enhancement}^{max} = t_{max} / \ coverage\ ratio$$

[0096] 이때, 피크에서의 전기장 증폭도 $E_{enhancement}^{max}$ 는 값이 수십~수만 ($10^1 \sim 10^4$)으로 변하므로 변화폭이 매우 클 수 있다. 리워드 결정부(130)는 피크에서의 전기장 증폭도를 리워드에 포함시키기 위하여 수학식 15와 같이 로그 함수를 적용할 수 있다.

수학식 15

[0097] $$R_{enhancement} = \log(E^{max}_{enhancement})$$

[0098] 리워드 결정부(130)는 수학식 16과 같이 피크 위치의 목표값 (target position(목표 위치), x_{target})과 공정 주파수의 피크 위치 x_{peak} 간의 간격 R_{dist} 를 결정할 수 있다.

수학식 16

[0099] $$R_{dist} = (2.5 - |x_{target} - x_{peak}|)$$

[0100] 리워드 결정부(130)는 수학식 17과 같이 피크 위치와 디프 위치 간의 간격의 목표값 Δx_{target} 과 공정 주파수의 피크 위치 x_{peak} 와 디프 위치 x_{dip} 간의 간격 간의 차이 R_{dip} 를 결정할 수 있다.

수학식 17

[0101] $$R_{dip} = (2.5 - (|x_{peak} - x_{dip}| - \Delta x_{target}))$$

[0102] 리워드 결정부(130)는 수학식 15, 수학식 16, 및 수학식 17에서 결정한 값들을 조합하여 리워드를 결정할 수 있다. 예를 들어, 리워드 결정부(130)는 수학식 18과 같이 정의된 토탈 리워드(total reward)를 뉴럴 네트워크에 입력할 수 있다.

수학식 18

[0103] $$Total\ Reward = 10 \times R_{enhancement} + R^5_{dist} + R^5_{dip}$$

[0104] 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 광소자 역설계 방법을 도시한 플로우차트이다.

[0105] 단계(810)에서 파라미터 설정부(110)는 나노 광소자의 초기 파라미터를 설정할 수 있다.

[0106] 단계(820)에서 투과 스펙트럼 결정부(120)는 해석 모델을 이용하여 나노 광소자의 투과 스펙트럼을 결정할 수 있다. 투과 스펙트럼 결정부(120)는 나노 광소자에 입사되는 전자기파와 해석 모델이 결정한 나노 광소자의 투과율을 기초로 전자기파가 나노 광소자를 투과한 비율을 나타내는 투과 스펙트럼을 결정할 수 있다.

[0107] 단계(830)에서 리워드 결정부(130)는 단계(820)에서 결정한 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크(140)에 입력할 리워드를 결정할 수 있다. 이때, 리워드 결정부(130)는 나노 광소자의 목표값과 투과 스펙트럼 간의 유사도에 따라 리워드를 결정할 수 있다.

[0108] 단계(840)에서 딥러닝 에이전트(150)는 리워드를 입력받은 뉴럴 네트워크(140)로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계할 수 있다.

[0109] 단계(850)에서 딥러닝 에이전트(150)는 단계(840)에서 역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족하는지 여부를 확인할 수 있다. 단계(840)에서 역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족하는 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 딥러닝 에이전트의 동작을 종료하고, 역설계한 나노 광소자의 파라미터를 목표값에 대응하는 최적 파라미터로 결정할 수 있다.

[0110] 역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족하지 않는 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 단계(860)를 수행할 수 있다.

[0111] 단계(860)에서 딥러닝 에이전트(150)는 나노 광소자의 파라미터의 보정 방향을 결정할 수 있다. 이때, 딥러닝 에이전트(150)는 나노 광소자의 파라미터들 각각에 대하여 증가, 감소, 유지 중 하나의 보정 방향을 결정할 수 있다.

[0112] 단계(860)에서 딥러닝 에이전트(150)는 나노 광소자의 파라미터를 초기 파라미터에서 보정 방향에 따른 파라미터로 보정할 수 있다. 예를 들어, 보정 방향이 증가인 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 초기 파라미터의 값을 증가시켜 보정된 파라미터로 결정할 수 있다. 보정 방향이 유지인 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 초기 파라미터를 보정된 파라미터로 결정할 수 있다. 보정 방향이 감소인 경우, 딥러닝 에이전트(150)는 초기 파라미터의 값을 감소시켜 보정된 파라미터로 결정할 수 있다.

[0113] 이때, 투과 스펙트럼 결정부(120)는 보정된 파라미터를 이용하여 나노 광소자의 투과 스펙트럼을 재결정할 수 있다. 다음으로, 리워드 결정부(130)는 재결정된 투과 스펙트럼을 기초로 뉴럴 네트워크(140)에 입력할 리워드를 결정할 수 있다. 그리고, 딥러닝 에이전트(150)는 재결정된 리워드를 입력받은 뉴럴 네트워크(140)로 딥러닝을 수행하여 나노 광소자를 역설계할 수 있다.

[0114] 투과 스펙트럼 결정부(120), 리워드 결정부(130), 및 딥러닝 에이전트(150)는 역설계한 나노 광소자의 파라미터가 최적 조건을 만족할 때까지 앞서 설명한 과정을 반복 수행할 수 있다.

[0115] 나노 광소자 역설계 장치(100)는 해석 모델을 사용하여 투과율을 결정함으로써, 시뮬레이션 툴을 사용하는 역설계 장치에 비하여 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

[0116] 또한, 나노 광소자 역설계 장치(100)는 나노 광소자의 역설계에 필요한 처리 속도를 향상시킴으로써, 대량의 처리를 필요로 하는 테라헤르츠 능동 스위치 소자, 또는 테라헤르츠 초전도 능동 소자를 역설계할 수 있다.

[0118] 한편, 본 발명에 따른 발화 데이터에 기초한 나노 광소자 역설계 장치 또는 발화 데이터에 기초한 나노 광소자 역설계 방법은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램으로 작성되어 마그네틱 저장매체, 광학적 판독매체, 디지털 저장매체 등 다양한 기록 매체로도 구현될 수 있다.

[0119] 본 명세서에 설명된 각종 기술들의 구현들은 디지털 전자 회로조직으로, 또는 컴퓨터 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어로, 또는 그들의 조합들로 구현될 수 있다. 구현들은 데이터 처리 장치, 예를 들어 프로그램가능 프로세서, 컴퓨터, 또는 다수의 컴퓨터들의 동작에 의한 처리를 위해, 또는 이 동작을 제어하기 위해, 컴퓨터 프로그램 제품, 예를 들어 기계 판독가능 저장 장치(컴퓨터 판독가능 매체)에서 유형적으로 구체화된 컴퓨터 프로그램으로서 구현될 수 있다. 상술한 컴퓨터 프로그램(들)과 같은 컴퓨터 프로그램은 컴파일된 또는 인터프리트된 언어들을 포함하는 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 기록될 수 있고, 독립형 프로그램으로서 또는 모듈, 구성요소, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서의 사용에 적절한 다른 유닛으로서 포함하는 임의의 형태로 전개될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 사이트에서 하나의 컴퓨터 또는 다수의 컴퓨터들 상에서 처리되도록 또는 다수의 사이트들에 걸쳐 분배되고 통신 네트워크에 의해 상호 연결되도록 전개될 수 있다.

[0120] 컴퓨터 프로그램의 처리에 적절한 프로세서들은 예로서, 범용 및 특수 목적 마이크로프로세서들 둘 다, 및 임의의 종류의 디지털 컴퓨터의 임의의 하나 이상의 프로세서들을 포함한다. 일반적으로, 프로세서는 판독 전용 메모리 또는 랜덤 액세스 메모리 또는 둘 다로부터 명령어들 및 데이터를 수신할 것이다. 컴퓨터의 요소들은 명령어들을 실행하는 적어도 하나의 프로세서 및 명령어들 및 데이터를 저장하는 하나 이상의 메모리 장치들을 포함할 수 있다. 일반적으로, 컴퓨터는 데이터를 저장하는 하나 이상의 대량 저장 장치들, 예를 들어 자기, 자기-광 디스크들, 또는 광 디스크들을 포함할 수 있거나, 이것들로부터 데이터를 수신하거나 이것들에 데이터를 송신하거나 또는 양쪽으로 되도록 결합될 수도 있다. 컴퓨터 프로그램 명령어들 및 데이터를 구체화하는데 적절한 정

보 캐리어들은 예로서 반도체 메모리 장치들, 예를 들어, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(Magnetic Media), CD-ROM(Compact Disk Read Only Memory), DVD(Digital Video Disk)와 같은 광 기록 매체(Optical Media), 플롭티컬 디스크(Floptical Disk)와 같은 자기-광 매체(Magneto-Optical Media), 롬(ROM, Read Only Memory), 램(RAM, Random Access Memory), 플래시 메모리, EPROM(Erasable Programmable ROM), EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM) 등을 포함한다. 프로세서 및 메모리는 특수 목적 논리 회로조직에 의해 보충되거나, 이에 포함될 수 있다.

[0121] 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용매체일 수 있고, 컴퓨터 저장매체를 모두 포함할 수 있다.

[0122] 본 명세서는 다수의 특정한 구현물의 세부사항들을 포함하지만, 이들은 어떠한 발명이나 청구 가능한 것의 범위에 대해서도 제한적인 것으로서 이해되어서는 안되며, 오히려 특정한 발명의 특정한 실시형태에 특유할 수 있는 특징들에 대한 설명으로서 이해되어야 한다. 개별적인 실시형태의 문맥에서 본 명세서에 기술된 특정한 특징들은 단일 실시형태에서 조합하여 구현될 수도 있다. 반대로, 단일 실시형태의 문맥에서 기술한 다양한 특징들 역시 개별적으로 혹은 어떠한 적절한 하위 조합으로도 복수의 실시형태에서 구현 가능하다. 나아가, 특징들이 특정한 조합으로 동작하고 초기에 그와 같이 청구된 바와 같이 묘사될 수 있지만, 청구된 조합으로부터의 하나 이상의 특징들은 일부 경우에 그 조합으로부터 배제될 수 있으며, 그 청구된 조합은 하위 조합이나 하위 조합의 변형물로 변경될 수 있다.

[0123] 마찬가지로, 특정한 순서로 도면에서 동작들을 묘사하고 있지만, 이는 바람직한 결과를 얻기 위하여 도시된 그 특정한 순서나 순차적인 순서대로 그러한 동작들을 수행하여야 한다거나 모든 도시된 동작들이 수행되어야 하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 특정한 경우, 멀티태스킹과 병렬 프로세싱이 유리할 수 있다. 또한, 상술한 실시형태의 다양한 장치 컴포넌트의 분리는 그러한 분리를 모든 실시형태에서 요구하는 것으로 이해되어서는 안되며, 설명한 프로그램 컴포넌트와 장치들은 일반적으로 단일의 소프트웨어 제품으로 함께 통합되거나 다중 소프트웨어 제품에 패키징 될 수 있다는 점을 이해하여야 한다.

[0124] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시 예들은 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시 예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

부호의 설명

[0125] 110: 파라미터 설정부

120: 투과 스펙트럼 결정부

130: 리워드 결정부

140: 뉴럴 네트워크

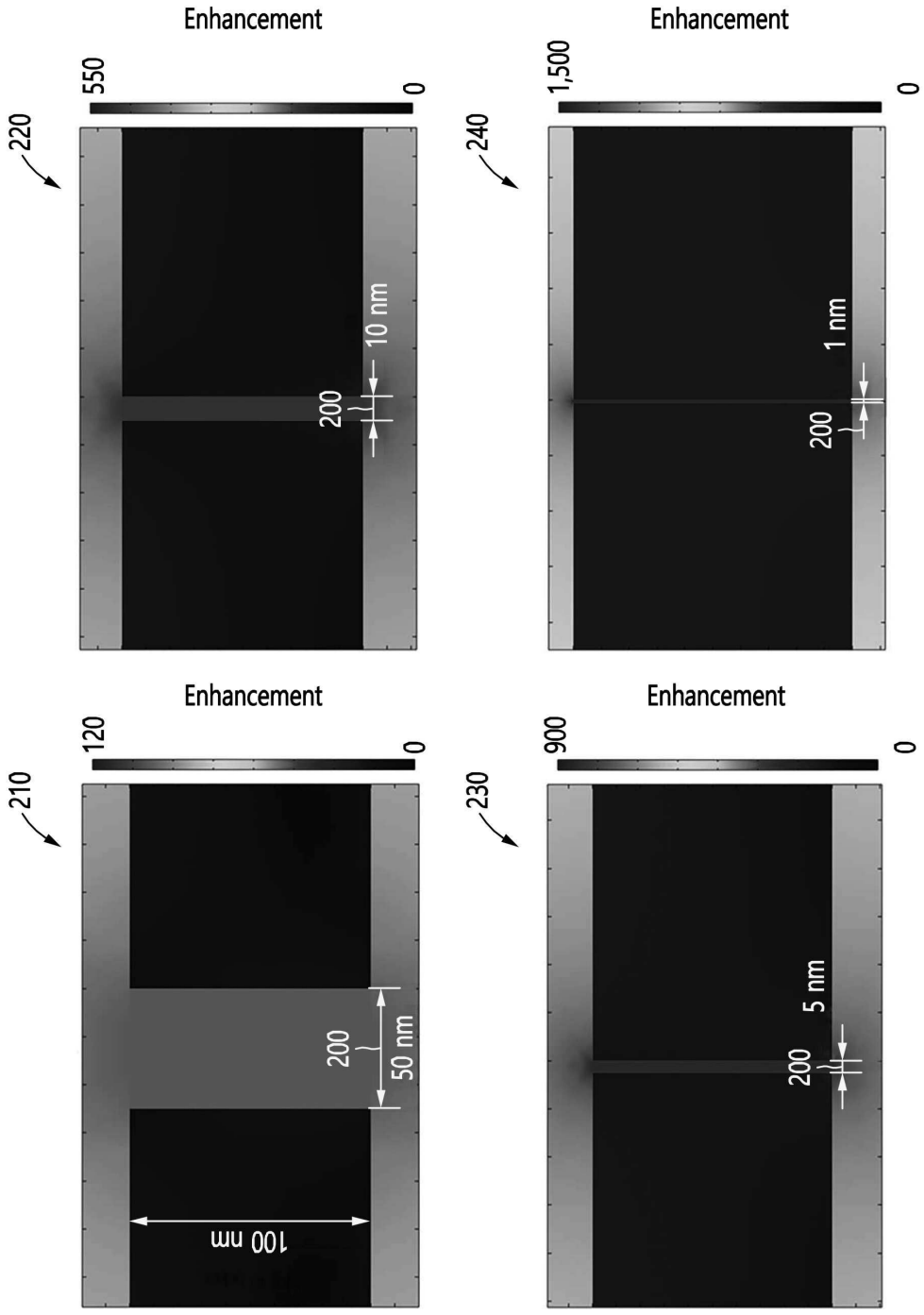
150: 딥러닝 에이전트

도면

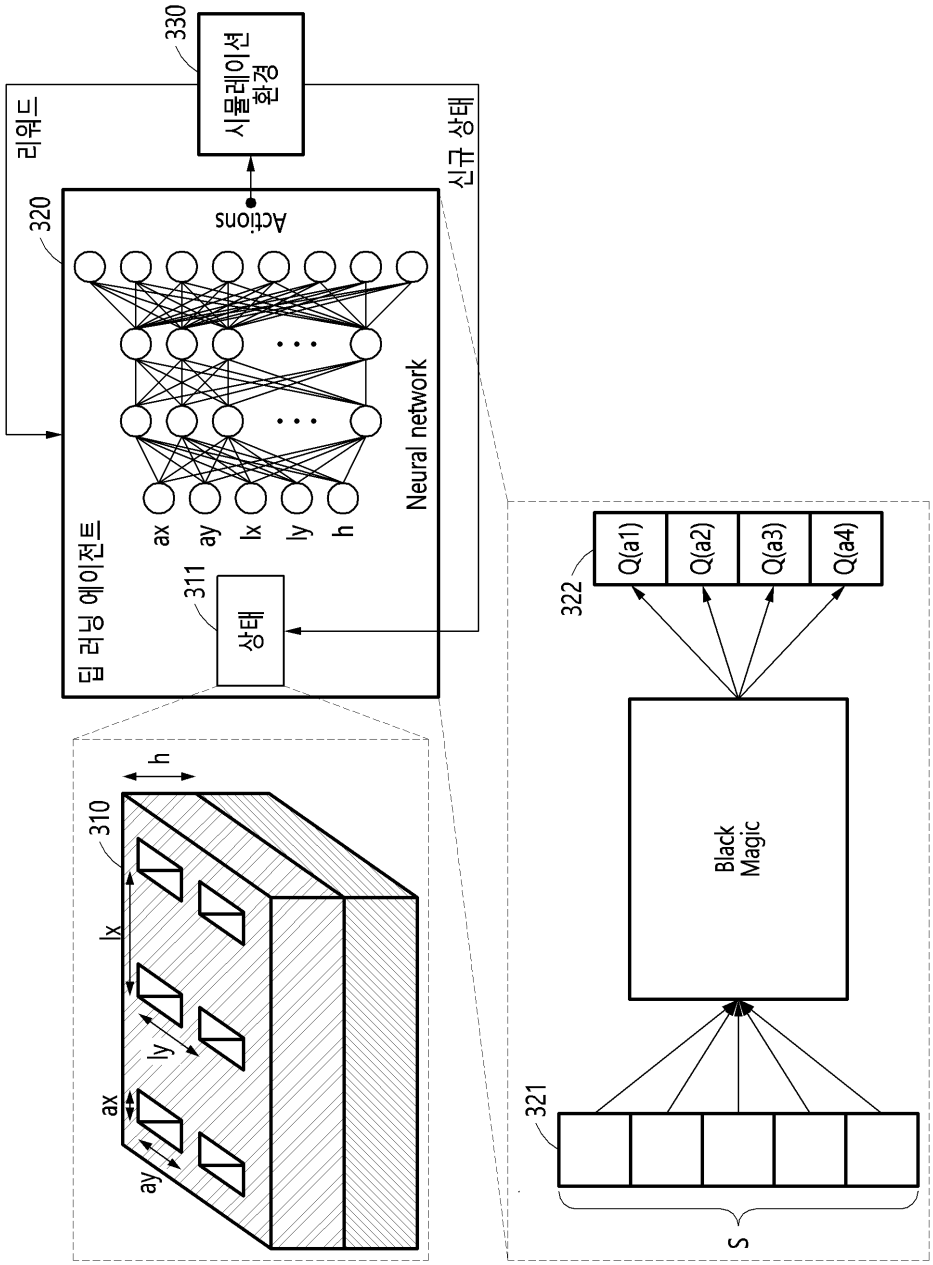
도면1


100
나노 광소자 역 설계 장치
110
파라미터 설정부
120
투과 스펙트럼 결정부
130
리워드 결정부
140
뉴럴 네트워크
150
딥 러닝 에이전트

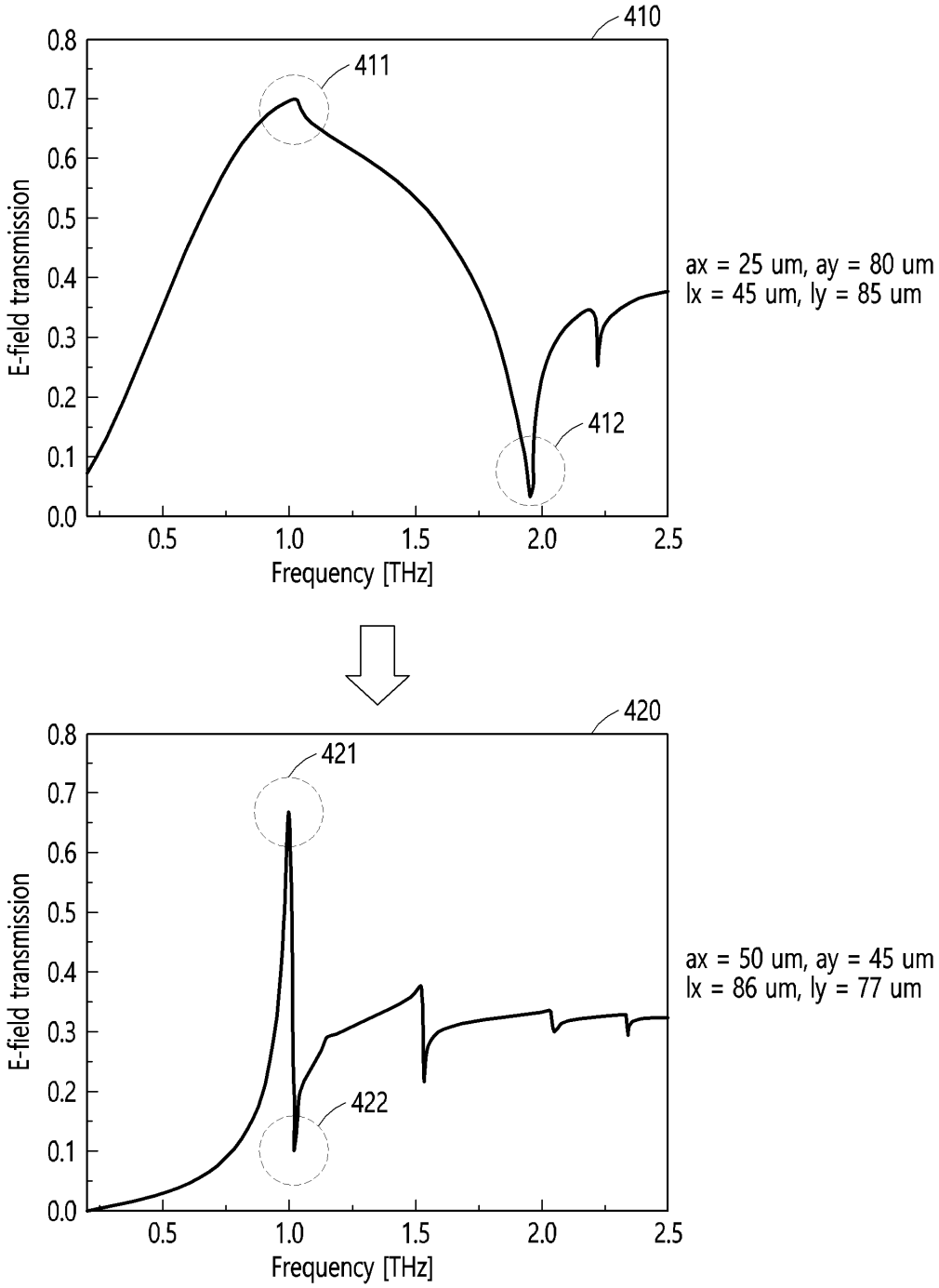
도면2


Enhancement
550
0
220
10 nm
200
Enhancement
1,500
0
240
1 nm
200
Enhancement
120
0
210
200
50 nm
100 nm
Enhancement
900
0
230
5 nm
200

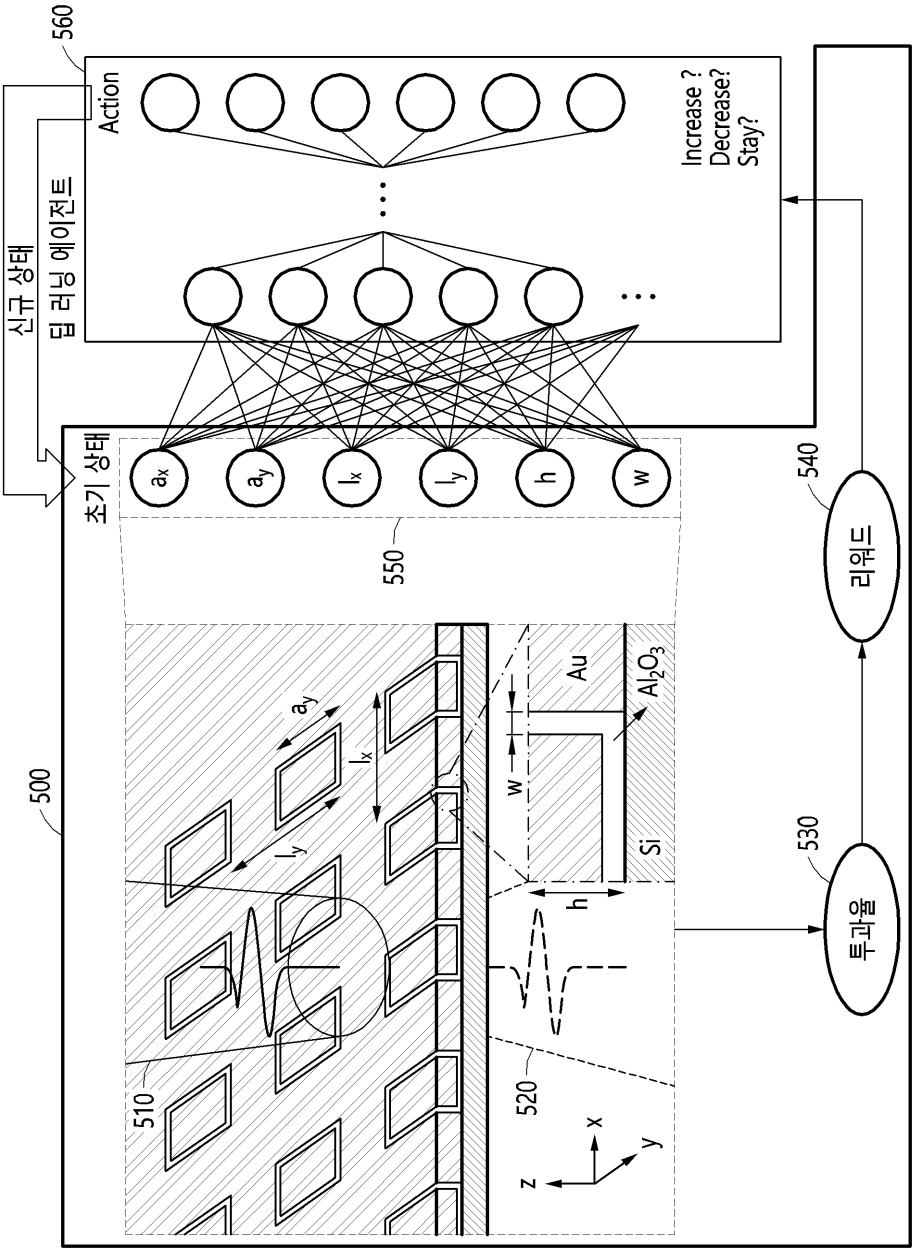
도면3


330
시뮬레이션 환경
리워드
신규 상태
320
Actions
Neural network
ax
ay
lx
ly
h
딥 러닝 에이전트
311
상태
310
h
lx
ly
ax
ay
322
Q(a1)
Q(a2)
Q(a3)
Q(a4)
Black Magic
321
S

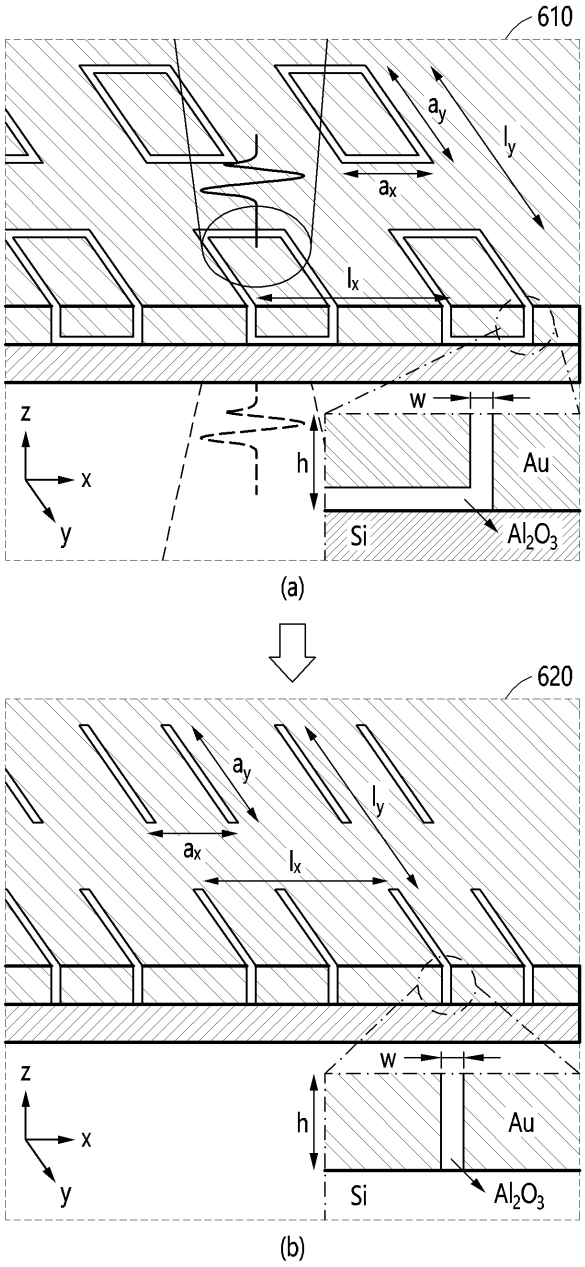
도면4


410
411
412
E-field transmission
Frequency [THz]
ax = 25 um, ay = 80 um
lx = 45 um, ly = 85 um
420
421
422
E-field transmission
Frequency [THz]
ax = 50 um, ay = 45 um
lx = 86 um, ly = 77 um

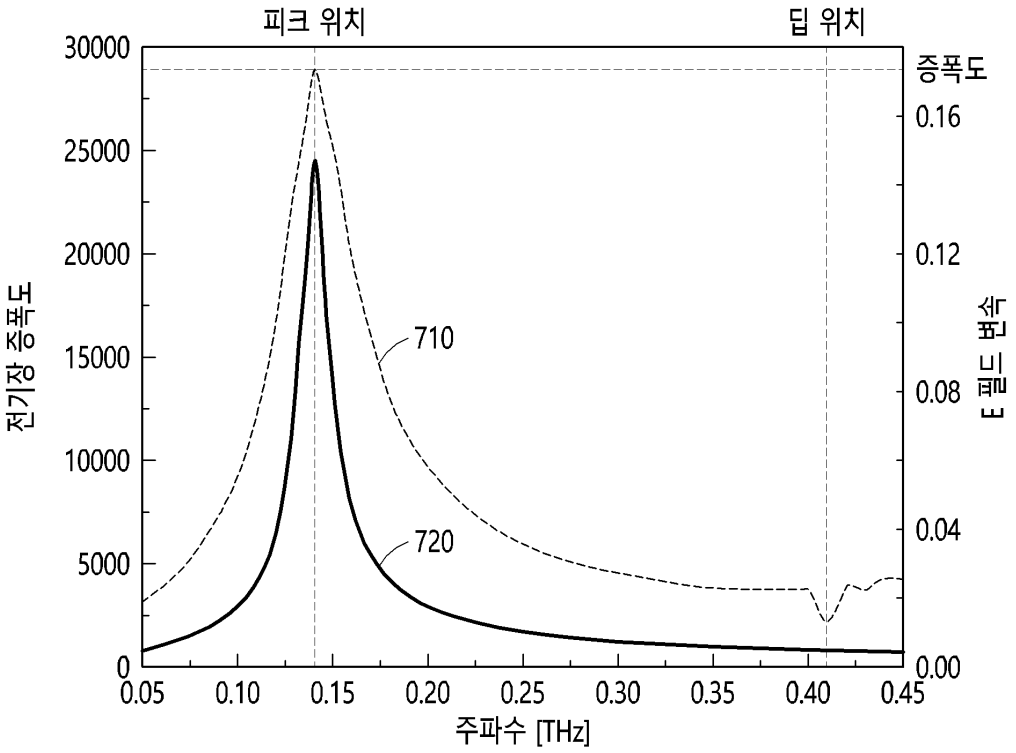
도면5


560
Action
Increase ?
Decrease?
Stay?
딥 러닝 에이전트
신규 상태
초기 상태
a_x
a_y
l_x
l_y
h
w
550
500
540
리워드
530
투과율
510
520
Au
Al_2O_3
Si
x
y
z

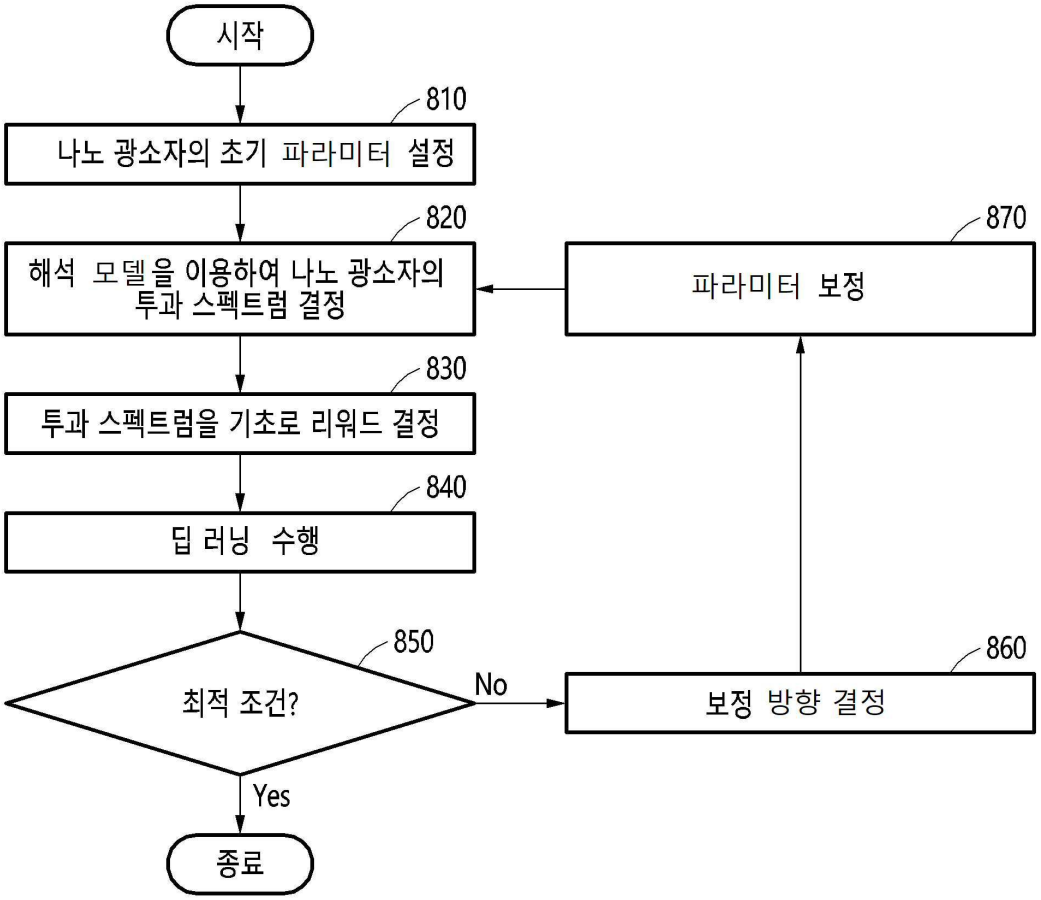
도면6


610
a_y
l_y
a_x
l_x
w
z
x
y
h
Au
Si
Al_2O_3
(a)
620
a_y
l_y
a_x
l_x
w
z
x
y
h
Au
Si
Al_2O_3
(b)

도면7


피크 위치
딥 위치
증폭도
전기장 증폭도
필드 크기
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
0.16
0.12
0.08
0.04
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
0.45
710
720
주파수 [THz]

도면8


시작
810
나노 광소자의 초기 파라미터 설정
820
해석 모델을 이용하여 나노 광소자의 투과 스펙트럼 결정
830
투과 스펙트럼을 기초로 리워드 결정
840
딥 러닝 수행
850
최적 조건?
No
Yes
종료
870
파라미터 보정
860
보정 방향 결정