

Οργανισμός
Βιομηχανικής
Ιδιοκτησίας (ΟΒΙ)



(21) Αριθμός αίτησης:

GR 20170100352

(12)

ΑΙΤΗΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΥΡΕΣΙΤΕΧΝΙΑΣ (Α)

(41) Ημ/νία Δημοσίευσης: **26.01.2019**

(51) Διεθνής Ταξινόμηση (Int. Cl.):

(11) Αριθμός Χορήγησης:

H04L 9/32 (2018.01)

G02B 6/28 (2018.01)

(22) Ημ/νία Κατάθεσης: **26.07.2017**

(43) Ημ/νία Δημοσίευσης της Αίτησης:
04.04.2019 ΕΔΒΙ 1/2019

(73) Δικαιούχος (οι):

EULAMBIA ADVANCED TECHNOLOGIES ΜΟΝ. ΕΠΕ; Αγ.
Ιωάννου 24,, 15342 ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ (ΑΤΤΙΚΗΣ) - GR.

(71) Αρχικός (οί) Καταθέτης (ες):
EULAMBIA ADVANCED TECHNOLOGIES ΜΟΝ. ΕΠΕ; Αγ.
Ιωάννου 24,, 15342 ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ (ΑΤΤΙΚΗΣ) - GR.

(72) Εφευρέτης (ες):
ΜΕΣΑΡΙΤΑΚΗΣ ΧΑΡΗΣ; , GR. **ΣΥΒΡΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ;** ,
GR.

(54) Τίτλος (Ελληνικά)

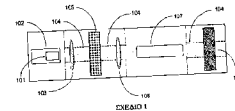
ΟΠΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΜΗ ΚΛΩΝΟΠΟΙΗΣΙΜΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΠΟΛΥΤΡΟΠΟ ΟΠΤΙΚΟ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟ

(54) Τίτλος (Αγγλικά)

OPTICAL PHYSICAL UNCLONABLE FUNCTION BASED ON A MULTIMODAL WAVEGUIDE

(57) Περίληψη

Αποκαλύπτεται μια οπτική φυσική μη-κλωνοποιήσιμη συσκευή και μέθοδος που βασίζεται στην τυχαία διέγερση και οδήγηση οπτικών τρόπων μέσα σε έναν οπτικό κυματοδηγό που περιέχει τυχαίες ατέλειες και/ή ακαθαρσίες και/ή προσμίξεις στον πυρήνα του, και/ή στην διεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα και/ή στις όψεις εισόδου και εξόδου. Η υψηλή φυσική πολυπλοκότητα της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης (ο-ΦΜΣ) και η μη-αναπαραγωγίσιμη φύση των τυχαίων ατελειών καθιστά δύσκολη την παραποίηση ή την μελέτη της συσκευής μέσω αντίστροφης μηχανικής. Διαμορφώσεις της συσκευής καθιστούν ικανή την ύπαρξη ενός συστήματος ασφαλείας δύο παραγόντων που την καθιστά ανθεκτική ενάντια σε επιθέσεις επαναληπτικής εκτέλεσης και επιθέσεις μοντελοποίησης.



GR20170100352

20170100352

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

«ΟΠΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΜΗ ΚΛΩΝΟΠΟΙΗΣΙΜΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΠΟΛΥΤΡΟΠΟ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟ»

5

ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΕΦΕΥΡΕΣΕΩΣ

[001] Η παρούσα εφεύρεση σχετίζεται με το πεδίο των Φυσικών Μη-κλωνοποιήσιμων Συναρτήσεων-ΦΜΣ (Physical Unclonable Functions - PUFs), και συγκεκριμένα με το πεδίο των οπτικών ΦΜΣ (optical PUFs). Η παρούσα εφεύρεση σχετίζεται πιο συγκεκριμένα με μία συσκευή και μέθοδο ασφαλείας κατάλληλη για την παραγωγή ζευγών διεγέρσεων-αποκρίσεων χρησιμοποιώντας έναν πολύτροπο οπτικό κυματοδηγό ως το στοιχείο της ΦΜΣ. Η αποκαλυπτόμενη συσκευή και μέθοδος οπτικών φυσικών μη-κλωνοποιήσιμων συναρτήσεων (ο-ΦΜΣ) προσφέρει αυξημένη απόδοση και ανθεκτικότητα ενάντια σε επιθέσεις επαναληπτικής εκτέλεσης (playback attacks) και επιθέσεις μοντελοποίησης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση ενός σχήματος ασφαλείας ενός ή δύο παραγόντων.

15

ΣΤΑΘΜΗ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

[002] Η παρούσα εφεύρεση σχετίζεται εν γένει με συσκευές κατά της παραποίησης/απομίμησης, με μονάδες υλικού για τη δημιουργία ψευδοτυχαίων κρυπτογραφικών κλειδιών, με τις φυσικές μη-κλωνοποιήσιμες συναρτήσεις, και συγκεκριμένα με τις οπτικές φυσικές μη-κλωνοποιήσιμες συναρτήσεις. Η οπτική φυσική μη-κλωνοποιήσιμη συνάρτηση αποτελείται από ένα οπτικό σύστημα που είναι εξοπλισμένο με έναν τυχαίο φυσικό μηχανισμό μεγάλης πολυπλοκότητας που εμποδίζει την αντιγραφή της συσκευής. Ένα εξωτερικό ερέθισμα εφαρμόζεται (διέγερση) και λαμβάνεται μία απόκριση. Οι αποκρίσεις του συστήματος πρέπει να είναι εύκολο να αξιολογηθούν αλλά αδύνατο να προβλεφθούν-μιμηθούν ή να ταυτιστούν με μια διέγερση μέσω αντίστροφης μηχανικής. Γι' αυτό, μια τέτοια οπτική συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα ή σαν ένα μέρος ενός ευρύτερου κρυπτοσυστήματος, σε εφαρμογές κατά της παραποίησης/απομίμησης, σαν ντετερμινιστική γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών, και για αυθεντικοποίηση φυσικής πρόσβασης ή πρόσβασης στον κυβερνοχώρο.

25

[003] Οπτικά συστήματα φυσικών μη-κλωνοποιήσιμων συναρτήσεων έχουν μελετηθεί στα έργα των [Pappu, R.: Physical One-Way Functions. PhD thesis, MIT (2001); Pappu, R., Recht, B., Taylor, J., Gershenfeld, N., Physical One-Way Functions, Science 297, pp. 2026-2030 (2002)]. Αυτές τις αρχικές εργασίες ακολούθησαν παρόμοιες προσεγγίσεις βασισμένες στην ανίχνευση κηλιδωτών μοτίβων (speckle patterns) σε τυχαία δομημένα υλικά, όπως απλό χαρτί [Buchanan, J. D. R., Cowburn, R. P., Jausovec, A., Petit, D., Seem, P., Xiong, G., Atkinson, D., Fenton, K., Allwood, D.A., Bryan, M. T., Forgery: 'fingerprinting' documents and packaging, Nature, Brief Communications 436, pg. 475 (2005)], οπτικούς διαχύτες διοξειδίου του πυριτίου (silica diffusers) [Rühmair, Ulrich, et al. "Revisiting Optical Physical Unclonable Functions." IACR Cryptology ePrint Archive 2013 (2013): 215.] ή στην παρακολούθηση μοτίβων φωσφόρου (monitoring phosphor patterns) [Chong, C. N., Jiang, D., Zhang, J., Guo, L., Anti-counterfeiting with a random pattern, SECURWARE 2008, pp. 146-153, IEEE, Los Alamitos (2008)]. Περισσότερο εξελιγμένες οπτικές τεχνικές περιλαμβάνουν τυχαίες επιφανειακές κατανομές συντονισμού πλασμονίων [Smith, A. F., Patton, P. & Skrabalak, S. E. Plasmonic Nanoparticles as a Physically Unclonable Function for Responsive Anti-Counterfeit Nanofingerprints. Adv. Funct. Mater. 26, 1315-1321 (2016)]

35

[004] Η εφεύρεση WO 2007/046018 περιγράφει μία οπτική φυσική μη-κλωνοποιήσιμη συνάρτηση συνδυασμένη με έναν δέκτη και μία οθόνη. Εισερχόμενο φως σκεδάζεται από ένα οπτικό στοιχείο υλικού, που περιλαμβάνει τυχαία κατανεμημένους σκεδαστές, ώστε να δημιουργείται ένα τυχαίο κηλιδωτό μοτίβο που ανιχνεύεται από οπτικούς ανιχνευτές. Η βασική ιδέα της εφεύρεσης WO 2007/046018 A1 είναι η ενσωμάτωση ανακλαστικών στοιχείων εικόνας στην συσκευή ώστε να καθίσταται δυνατή η τροποποίηση των εφαρμοζόμενων διεγέρσεων

45

μέσω ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης αυτών των στοιχείων, τροποποιώντας εν συνεχεία την αντίστοιχη απόκριση (κηλιδωτό μοτίβο). Η αποκαλυπτόμενη συσκευή δεν χρησιμοποιεί πολύτροπους κυματοδηγούς.

5 [005] Η εφεύρεση US 2006/0095773 περιγράφει μια συσκευή αυθεντικοποίησης και μια μέθοδο αυθεντικοποίησης στην οποία εφαρμόζεται μια συσκευή εκπομπής φωτός ρυθμιζόμενης γωνίας εκπομπής και ένας αντίστοιχος ανιχνευτής φωτός ρυθμιζόμενης γωνίας. Η αποκαλυπτόμενη συσκευή βασίζεται σε σχήματα διεύθυνσης δέσμης για την παραγωγή μοναδικών διεγέρσεων, έτσι υποσκάπτεται η αντοχή του συστήματος σε μηχανικές δονήσεις. Η αποκαλυπτόμενη συσκευή δεν χρησιμοποιεί πολύτροπους κυματοδηγούς.

10 [006] Στην εφεύρεση WO 2005/059629 περιγράφεται μια οπτική μέθοδος και συσκευή για την ανίχνευση μοναδικών κηλιδωτών μοτίβων που εστιάζει στον καθορισμό κριτηρίων για τον καθορισμό του μεγέθους των εικονοκυττάρων (pixels) του ανιχνευτή ώστε να δίνουν την δυνατότητα ανίχνευσης όλων των σχετικών bits (τα εικονοκύτταρα να είναι αρκετά μικρά) χωρίς πλεονασμό (τα εικονοκύτταρα να είναι αρκετά μεγάλα). Η αποκαλυπτόμενη συσκευή δεν χρησιμοποιεί πολύτροπους κυματοδηγούς.

15 [007] Η εφεύρεση WO 98/28707 περιγράφει μια μέθοδο και μια συσκευή για την ενίσχυση της ακεραιότητας της αυθεντικοποίησης με οπτικά μέσα. Ο φωτισμός ενός αντικειμένου διαμορφώνεται για την παρεμπόδιση επιθέσεων επαναληπτικής εκτέλεσης καταγεγραμμένων εικόνων. Το αντικείμενο δεν είναι ΦΜΣ. Σε μια διαμόρφωση της δικής μας εφεύρεσης οι επιθέσεις επαναληπτικής εκτέλεσης παρεμποδίζονται με τη χρήση οπτικών κοιλοτήτων πολλαπλών διελεύσεων χωρίς να υπάρχει ανάγκη για διαμόρφωση του φωτός. Επιπλέον το σύστημά μας δεν βασίζεται σε ψευδοτυχαίες διαδικασίες.

20 [008] Η εφεύρεση EP 2693685 περιγράφει μια συσκευή και μια μέθοδο για την επαλήθευση ζευγών διεγέρσεων - αποκρίσεων. Σε αυτή την περίπτωση, η αρχή λειτουργίας βασίζεται στις κβαντικές ιδιότητες ενός πομπού λίγων φωτονίων, μιας συσκευής δημιουργίας διεγέρσεων και ενός ανιχνευτή καταμέτρησης φωτονίων. Το προτεινόμενο σύστημα είναι κβαντικά ασφαλές άρα ο περιορισμός των διαστάσεων του καθίσταται δύσκολος ενώ ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι πιο εκλεπτυσμένος σε σχέση με τον αντίστοιχο μη-κβαντικό εξοπλισμό, άρα δεν είναι αναλώσιμος. Η αποκαλυπτόμενη συσκευή δεν χρησιμοποιεί πολύτροπους κυματοδηγούς.

25 [009] Η εφεύρεση WO 2007/046037 περιγράφει μια συσκευή και μια μέθοδο ενός συστήματος φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης οπτικής σκέδασης που διαχωρίζει τα στοιχεία ανίχνευσης από το στοιχείο της φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης επιτρέποντας την βελτιστοποίηση του μεγέθους του μοναδικού κηλιδωτού μοτίβου παρέχοντας ανθεκτικότητα ενάντια σε επιθέσεις επαναληπτικής εκτέλεσης. Η αποκαλυπτόμενη συσκευή δεν χρησιμοποιεί πολύτροπους κυματοδηγούς.

30

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

[010] Τα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης συσκευής και μεθόδου συνοψίζονται ως ακολούθως και αποκαλύπτονται με σαφήνεια στην αναλυτική περιγραφή και στις αξιώσεις.

35 [011] Το στοιχείο της προτεινόμενης οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης (o-ΦΜΣ) είναι ένας οπτικός κυματοδηγός (ολοκληρωμένος ή μη) που επιτρέπει την διέλευση διαφορετικών οπτικών τρόπων. Αυτοί οι τρόποι έχουν διαφορετικές σταθερές διάδοσης άρα έχουν μια σταθερή διαφορά στην ταχύτητας φάσης. Σε τυπικές υλοποιήσεις, οι επιδόσεις των αποκρίσεων ως προς την μη-κλωνοποιησιμότητα ή την μη-προβλεψιμότητα εξαρτάται από τον αριθμό των σύμφωνων πηγών εγκλειδωμένης φάσης [Rühmair, Ulrich, et al. "Revisiting Optical Physical Unclonable Functions." IACR Cryptology ePrint Archive 2013 (2013): 215.]. Στην περίπτωση

40 μας, παρόλο που η συσκευή χρησιμοποιεί μία μόνο σύμφωνη πηγή φωτός, είναι ισοδύναμη με μία τυπική ΦΜΣ σκέδασης που διεγείρεται (φωτίζεται) ταυτόχρονα από εκατομμύρια λέιζερ εγκλειδωμένης φάσης. Αυτό παρέχει σημαντική βελτίωση στις επιδόσεις.

45 [012] Η απόκριση της συσκευής, σε αντίθεση με προηγούμενες υλοποιήσεις, βασίζεται ταυτόχρονα σε πολλαπλούς μηχανισμούς αναδιάταξης (scrambling mechanisms). Οι τυχαίες ανομοιογένειες στην όψη εισόδου επιτρέπουν την τυχαία διέγερση και ανακατανομή της ισχύος μεταξύ ενός τυχαίου αριθμού οπτικών τρόπων.

Ανομοιογένειες και/ή μη-γραμμικά στοιχεία που βρίσκονται κατά μήκος του άξονα διέλευσης επιτρέπουν την διατροπική σύζευξη (intermodal coupling) με έναν τυχαίο τρόπο, ενώ οι ανομοιογένειες δεν μπορούν να αναπαραχθούν ή ακόμα και να παρακολουθηθούν από έναν κακόβουλο κατασκευαστή. Ανομοιογένειες στην όψη εξόδου προσφέρουν έναν τρίτο μηχανισμό αναδιάταξης που βασίζεται στην τυπική σκέδαση φωτός.

5 [013] Η συσκευή χρησιμοποιεί δύο συστήματα απεικόνισης που μπορούν να επηρεάσουν την χωρική επικάλυψη των διακριτών οπτικών διεγέρσεων στην είσοδο του στοιχείου της ΦΜΣ και να ορίσουν το τμήμα του κηλιδωτού μοτίβου που προβάλλεται στον ανιχνευτή. Αυτό επιτρέπει την προσαρμογή του μεγέθους των χαρακτηριστικών του κηλιδωτού μοτίβου και την αναίρεση της γραμμικής σχέσης μεταξύ ζευγών διεγέρσεων-αποκρίσεων.

10 [014] Ο συνδυασμός της αποκαλυπτόμενης συσκευής με βιομετρικά χαρακτηριστικά (δακτυλικά αποτυπώματα, ίριδα ματιού κ.α.) επιτρέπει μια διαφορετική διαμόρφωση που παρέχει ένα σύστημα ασφαλείας δύο παραγόντων (two-token) ώστε η δημιουργία ζευγών διεγέρσεων - αποκρίσεων να βασίζεται στον σωστό συνδυασμό των βιομετρικών στοιχείων του χρήστη και του στοιχείου της οπτικής ΦΜΣ· ενός στοιχείου που ο χρήστης "είναι" (βιομετρικό) και ενός που ο χρήστης έχει (στοιχείο ο-ΦΜΣ).

15 [015] Μια άλλη διαμόρφωση της συσκευής περιλαμβάνει ένα διαφορετικό σύστημα δύο παραγόντων που επιτρέπει στην οπτική απόκριση να ανακατασκευαστεί πολλαπλές φορές μέσω πολλαπλών διελεύσεων διαμέσου των στοιχείων της ο-ΦΜΣ. Έτσι, ένας επιτιθέμενος θα πρέπει να κατέχει ταυτόχρονα και τους δύο παράγοντες ασφαλείας (και τα δύο στοιχεία της ο-ΦΜΣ) ώστε να παράγει ένα έγκυρο ζεύγος διεγέρσεως - αποκρίσεως. Αυτή η διαμόρφωση πολλαπλών διελεύσεων δυσχεραίνει τις επιθέσεις επαναληπτικής εκτέλεσης και τις επιθέσεις μοντελοποίησης.

20

ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

[016] Η παρούσα εφεύρεση περιγράφεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στη συνέχεια, στη βάση των ενσωματώσεών της, με αναφορά στα σχέδια τα οποία:

[017] ΣΧΕΔΙΟ 1 Απεικονίζονται όλα τα δομικά στοιχεία της αποκαλυπτόμενης συσκευής

25 [018] ΣΧΕΔΙΟ 2 Παρουσιάζεται ο οπτικός κυματοδηγός που αποτελεί το στοιχείο της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης (η κυκλική διατομή χρησιμοποιείται μόνο σαν παράδειγμα)

[019] ΣΧΕΔΙΟ 3 Παρουσίαση μια διαμόρφωσης του στοιχείου της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης που αποτελείται από δύο τμήματα τοποθετημένα σε διάταξη δακτυλιοειδούς κοιλότητας αποκοπής

30 [020] ΣΧΕΔΙΟ 4 Παρουσίαση μιας διαμόρφωσης του στοιχείου της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης που αποτελείται από δύο τμήματα τοποθετημένα σε διάταξη δακτυλιοειδούς κοιλότητας επανεισαγωγής - απομάστευσης

[021] ΣΧΕΔΙΟ 5 Απεικονίζονται όλα τα δομικά στοιχεία της αποκαλυπτόμενης συσκευής στην περίπτωση που περιλαμβάνεται ένα στοιχείο βιομετρικού χαρακτηριστικού

35 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΦΕΥΡΕΣΗΣ

[022] Σε μια διαμόρφωση, η παρούσα εφεύρεση αναφέρεται σε μια συσκευή για την δημιουργία ενός ή περισσότερων ζευγών διεγέρσεων-αποκρίσεων, και περιλαμβάνει:

[023] μια πηγή φωτός

[024] ένα σύστημα απεικόνισης που κατευθύνει το φως σε ένα μέσο δημιουργίας διεγέρσεων

40 [025] ένα μέσο δημιουργίας διεγέρσεων για την δημιουργία μιας οπτικής διεγερσης

[026] ένα σύστημα απεικόνισης που κατευθύνει το φως στο στοιχείο της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης

[027] ένα στοιχείο οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης που βασίζεται σε οπτικό πολύτροπο κυματοδηγό

45 [028] έναν ανιχνευτή για την λήψη της απόκρισης του στοιχείου της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης

- [029] Σε μια διαμόρφωση της παρούσας εφεύρεσης, η πηγή φωτός μπορεί να είναι μια πηγή σύμφωνου φωτός. Με τον όρο "πηγή σύμφωνου φωτός" αναφερόμαστε σε μια πηγή φωτός με στενό φασματικό εύρος δέσμης ικανή να δημιουργεί κηλιδωτά μοτίβα υψηλής αντίθεσης, για παράδειγμα ένα λέιζερ (101). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε τύπος λέιζερ, όπως για παράδειγμα λέιζερ διόδου, λέιζερ στερεάς κατάστασης, λέιζερ μεταλλικών ατμών, λέιζερ ημιαγωγών, λέιζερ αερίου, χημικά λέιζερ, λέιζερ χρωστικής. Η συχνότητα του λέιζερ μπορεί να κυμαίνεται από το βαθύ υπερίωδες στο μακρό υπέρυθρο, χωρίς περιορισμό· παρόλα αυτά προτιμάται η χρήση συχνοτήτων στο κοντινό υπέρυθρο ή στο ορατό ώστε να είναι αποδοτική η αλληλεπίδραση με στοιχεία ο-ΦΜΣ βασισμένα σε οπτικές ίνες και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν εμπορικά διαθέσιμοι οπτικοί ανιχνευτές.
- 5 [030] Σε μια διαμόρφωση της παρούσας εφεύρεσης, η πηγή σύμφωνου φωτός μπορεί να εκπέμπει σε μία συχνότητα η οποία μπορεί να ρυθμίζεται μέσω διαφόρων μηχανισμών ρύθμισης συχνότητας, όπως διαμόρφωση ρεύματος, φαινόμενα Verrier, διαμόρφωση θερμοκρασίας, ρυθμιζόμενα φίλτρα μέσα στην κοιλότητα του λέιζερ, οπτική έγχυση ή αντίστοιχους μηχανισμούς. Σε μια άλλη διαμόρφωση, το λέιζερ μπορεί να εκπέμπει ταυτόχρονα σε δύο ή περισσότερες συχνότητες για παράδειγμα μια κοιλότητα Fabry-Perot, ένας δακτύλιος συντονισμού (ring resonator) ή αντίστοιχο, που μπορεί επίσης να ρυθμίζεται μέσω των προαναφερθέντων μηχανισμών. Αυτές οι ενσωματώσεις επιτρέπουν στην πηγή φωτός να δρα, ανεξάρτητα ή συμπληρωματικά, σαν μέσο δημιουργίας διεγέρσεων όπως περιγράφεται στις επόμενες παραγράφους.
- 10 [031] Σε μια διαμόρφωση, η πηγή λέιζερ περιλαμβάνει παθητικούς ή ενεργητικούς μηχανισμούς ψύξης-θέρμανσης που επιτρέπουν την θερμική σταθεροποίηση της συσκευής και την σταθεροποίηση της συχνότητας/έντασης αυτής (102).
- 15 [032] Σε μια διαμόρφωση της παρούσας εφεύρεσης, μετά την πηγή σύμφωνου φωτός, ένα ή περισσότερα οπτικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση της εκπεμπόμενης χωρικής κατανομής του λέιζερ που παράγεται στο μέσο δημιουργίας διεγέρσεων (103). Τα οπτικά στοιχεία μπορεί να είναι φακοί, αχρωματικοί φακοί, μικρο-φακοί, υγροί κρύσταλλοι, συστοιχία φακών (αντικειμενικών ή παρόμοιων) ή αντίστοιχα στοιχεία. Σε μια διαμόρφωση, το σύστημα απεικόνισης μπορεί να κινείται σε μία ή περισσότερες διευθύνσεις (άξονες), μέσω ενός μηχανικού/ηλεκτρομηχανικού συστήματος ή ενός πιεζοηλεκτρικού στοιχείου. Σε μια διαμόρφωση, ράγες μπορεί να είναι τυπωμένες στο σασί της συσκευής, σε έναν ή περισσότερους άξονες, ώστε να μειώνονται οι μηχανικές δονήσεις και οι λανθασμένες ευθυγραμμίσεις (104). Αυτές οι ενσωματώσεις μπορεί να επιτρέπουν τον παραλληλισμό/μεγέθυνση της διαμέτρου της δέσμης του λέιζερ με στόχο την ρύθμιση του μεγέθους της δέσμης που απεικονίζεται στο μέσο δημιουργίας διεγέρσεων. Η απαραίτητη μετατόπιση του συστήματος απεικόνισης εξαρτάται από το είδος του φακού και των ιδιοτήτων του, όπως η εστιακή απόσταση, η επιθυμητή μεγέθυνση κτλ. καθώς και η ακριβής διάμετρος και απόκλιση της πηγής σύμφωνου φωτός· με βάση την εξίσωση λεπτών φακών ο επιθυμητός παράγοντας μεγέθυνσης μπορεί να εκτιμηθεί ως $1/d_o + 1/d_i = 1/f$ και $d_i/d_o = m$, όπου d_i και d_o είναι οι αποστάσεις της απεικόνισης και του αντικειμένου από τον φακό, f είναι η εστιακή απόσταση και m είναι ο παράγοντας μεγέθυνσης.
- 20 [033] Σε μια διαμόρφωση της παρούσας εφεύρεσης, το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων περιλαμβάνει έναν διαμορφωτή φωτός ενός ή περισσότερων στοιχείων (εικονοκίτταρα ή αντίστοιχα) ικανό να μεταβάλλει μία ή περισσότερες ιδιότητες της εισερχόμενης σύμφωνης οπτικής δέσμης (105). Σε μια διαμόρφωση, τα στοιχεία του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων μπορούν να μεταβάλουν την ένταση και/ή την πόλωση και/ή την φάση και/ή την διεύθυνση διάδοσης της εισερχόμενης φωτεινής δέσμης. Κάθε αλλαγή των χαρακτηριστικών της εισερχόμενης οπτικής δέσμης, μεμονωμένα ή συνδυαστικά, δημιουργεί μια διαφορετική οπτική διεύθυνση. Η αλληλεπίδραση της οπτικής διεύθυνσης με το στοιχείο της ο-ΦΜΣ επιτρέπει την παραγωγή μιας οπτικής απόκρισης και άρα ενός μοναδικού ζεύγους διεύθυνσης-απόκρισης. Το εύρος των προκαλούμενων αλλαγών της σύμφωνης φωτεινής δέσμης συνδέεται άμεσα με το επίπεδο ομοιότητας των παραγόμενων αποκρίσεων, όσον αφορά τυπικές μετρικές σύγκρισης εικόνων όπως η ετεροσυσχέτιση (cross correlation), οι Ευκλείδειες αποστάσεις ή αντίστοιχες.
- 25 [034] Σε μια διαμόρφωση της παρούσας εφεύρεσης, η πηγή σύμφωνου φωτός μπορεί να εκπέμπει σε μία ή περισσότερες συχνότητες η οποία μπορεί να ρυθμίζεται μέσω διαφόρων μηχανισμών ρύθμισης συχνότητας, όπως διαμόρφωση ρεύματος, φαινόμενα Verrier, διαμόρφωση θερμοκρασίας, ρυθμιζόμενα φίλτρα μέσα στην κοιλότητα του λέιζερ, οπτική έγχυση ή αντίστοιχους μηχανισμούς. Σε μια άλλη διαμόρφωση, το λέιζερ μπορεί να εκπέμπει ταυτόχρονα σε δύο ή περισσότερες συχνότητες για παράδειγμα μια κοιλότητα Fabry-Perot, ένας δακτύλιος συντονισμού (ring resonator) ή αντίστοιχο, που μπορεί επίσης να ρυθμίζεται μέσω των προαναφερθέντων μηχανισμών. Αυτές οι ενσωματώσεις επιτρέπουν στην πηγή φωτός να δρα, ανεξάρτητα ή συμπληρωματικά, σαν μέσο δημιουργίας διεγέρσεων όπως περιγράφεται στις επόμενες παραγράφους.
- 30 [035] Σε μια διαμόρφωση, η πηγή λέιζερ περιλαμβάνει παθητικούς ή ενεργητικούς μηχανισμούς ψύξης-θέρμανσης που επιτρέπουν την θερμική σταθεροποίηση της συσκευής και την σταθεροποίηση της συχνότητας/έντασης αυτής (102).
- 35 [036] Σε μια διαμόρφωση της παρούσας εφεύρεσης, μετά την πηγή σύμφωνου φωτός, ένα ή περισσότερα οπτικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση της εκπεμπόμενης χωρικής κατανομής του λέιζερ που παράγεται στο μέσο δημιουργίας διεγέρσεων (103). Τα οπτικά στοιχεία μπορεί να είναι φακοί, αχρωματικοί φακοί, μικρο-φακοί, υγροί κρύσταλλοι, συστοιχία φακών (αντικειμενικών ή παρόμοιων) ή αντίστοιχα στοιχεία. Σε μια διαμόρφωση, το σύστημα απεικόνισης μπορεί να κινείται σε μία ή περισσότερες διευθύνσεις (άξονες), μέσω ενός μηχανικού/ηλεκτρομηχανικού συστήματος ή ενός πιεζοηλεκτρικού στοιχείου. Σε μια διαμόρφωση, ράγες μπορεί να είναι τυπωμένες στο σασί της συσκευής, σε έναν ή περισσότερους άξονες, ώστε να μειώνονται οι μηχανικές δονήσεις και οι λανθασμένες ευθυγραμμίσεις (104). Αυτές οι ενσωματώσεις μπορεί να επιτρέπουν τον παραλληλισμό/μεγέθυνση της διαμέτρου της δέσμης του λέιζερ με στόχο την ρύθμιση του μεγέθους της δέσμης που απεικονίζεται στο μέσο δημιουργίας διεγέρσεων. Η απαραίτητη μετατόπιση του συστήματος απεικόνισης εξαρτάται από το είδος του φακού και των ιδιοτήτων του, όπως η εστιακή απόσταση, η επιθυμητή μεγέθυνση κτλ. καθώς και η ακριβής διάμετρος και απόκλιση της πηγής σύμφωνου φωτός· με βάση την εξίσωση λεπτών φακών ο επιθυμητός παράγοντας μεγέθυνσης μπορεί να εκτιμηθεί ως $1/d_o + 1/d_i = 1/f$ και $d_i/d_o = m$, όπου d_i και d_o είναι οι αποστάσεις της απεικόνισης και του αντικειμένου από τον φακό, f είναι η εστιακή απόσταση και m είναι ο παράγοντας μεγέθυνσης.
- 40 [037] Σε μια διαμόρφωση της παρούσας εφεύρεσης, το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων περιλαμβάνει έναν διαμορφωτή φωτός ενός ή περισσότερων στοιχείων (εικονοκίτταρα ή αντίστοιχα) ικανό να μεταβάλλει μία ή περισσότερες ιδιότητες της εισερχόμενης σύμφωνης οπτικής δέσμης (105). Σε μια διαμόρφωση, τα στοιχεία του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων μπορούν να μεταβάλουν την ένταση και/ή την πόλωση και/ή την φάση και/ή την διεύθυνση διάδοσης της εισερχόμενης φωτεινής δέσμης. Κάθε αλλαγή των χαρακτηριστικών της εισερχόμενης οπτικής δέσμης, μεμονωμένα ή συνδυαστικά, δημιουργεί μια διαφορετική οπτική διεύθυνση. Η αλληλεπίδραση της οπτικής διεύθυνσης με το στοιχείο της ο-ΦΜΣ επιτρέπει την παραγωγή μιας οπτικής απόκρισης και άρα ενός μοναδικού ζεύγους διεύθυνσης-απόκρισης. Το εύρος των προκαλούμενων αλλαγών της σύμφωνης φωτεινής δέσμης συνδέεται άμεσα με το επίπεδο ομοιότητας των παραγόμενων αποκρίσεων, όσον αφορά τυπικές μετρικές σύγκρισης εικόνων όπως η ετεροσυσχέτιση (cross correlation), οι Ευκλείδειες αποστάσεις ή αντίστοιχες.

- [034] Σε μια διαμόρφωση, το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων περιλαμβάνει έναν χωρικό διαμορφωτή φωτός βασισμένο σε υγρούς κρυστάλλους ή ισοδύναμο και έτσι δρα σαν μια δευτερογενή πηγή σύμφωνης ακτινοβολίας, ενός ή πολλών στοιχείων, ικανή να αλλάζει την ένταση και/ή την φάση του φωτός σε ένα ή περισσότερα στοιχεία.
- 5 Ο αριθμός των στοιχείων στο μέσο δημιουργίας διεγέρσεων περιλαμβάνει N εικονοκύτταρα που μπορούν να μια διαμόρφωση που το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων περιλαμβάνει N εικονοκύτταρα που μπορούν να βρίσκονται σε κατάσταση μέγιστης ή ελάχιστης διαπερατότητας ο αριθμός των διεγέρσεων είναι 2^N . Στην περίπτωση που η ένταση μπορεί να λάβει C διακριτές καταστάσεις ο χώρος διεγέρσεων είναι ίσος με C^N . Στην γενική περίπτωση όπου πολλαπλά χαρακτηριστικά M (πόλωση, ένταση, κτλ.) μπορούν να αλλαχθούν σε κάθε στοιχείο (N) και κάθε χαρακτηριστικό μπορεί να βρίσκεται σε C_i διαφορετικές καταστάσεις ο χώρος διεγέρσεων είναι ίσος με $\prod_i^M (C_i)^N$.
- 10 [035] Σε μια διαμόρφωση όπου η διατομή της δέσμης της πηγής σύμφωνου φωτός πάνω στην επιφάνεια του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων μπορεί να μεταβληθεί (103, 104, 105) ο αριθμός των στοιχείων του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων που διαμορφώνουν την οπτική διέγερση μπορεί επίσης να μεταβληθεί, δημιουργώντας έτσι έναν μεταβλητό χώρο διεγέρσεων. Στην περίπτωση που η συχνότητα της πηγής σύμφωνης ακτινοβολίας μπορεί να μεταβληθεί τότε ο χώρος διεγέρσεων μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω. Στην περίπτωση όπου V διακριτές συχνότητες μπορούν να δημιουργηθούν από την οπτική πηγή ο χώρος διεγέρσεων ισούται με $V * \prod_i^M (C_i)^N$. Αυτές οι ενσωματώσεις επιτρέπουν την δημιουργία ενός εκθετικά αυξανόμενου χώρου διαθέσιμων οπτικών διεγέρσεων.
- 15 [036] Σε μια διαμόρφωση της παρούσας εφεύρεσης, μετά το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων, ένα ή περισσότερα οπτικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να απεικονιστούν, πλήρως ή μερικώς, τα στοιχεία του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων στην είσοδο του στοιχείου της ο-ΦΜΣ, επιτρέποντας μια προκαθορισμένη περιοχή του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων να απεικονιστεί στην όψη εισόδου του στοιχείου της ο-ΦΜΣ (106). Σε μια διαμόρφωση, το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία (εικονοκύτταρα ή αντίστοιχα) άρα το σύστημα απεικόνισης στοχεύει στην προβολή ενός ή περισσότερων στοιχείων στην όψη εισόδου του στοιχείου της ο-ΦΜΣ. Με βάση το νόμο του Abbe $d = \lambda / 2n \sin \theta$, όπου λ είναι το μήκος κύματος της πηγής σύμφωνου φωτός, και $n \sin \theta$ είναι το αριθμητικό άνοιγμα, η προαναφερθείσα διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μέσω αλλαγών των χαρακτηριστικών του συστήματος απεικόνισης (αριθμητικό άνοιγμα, μεγέθυνση, εστιακή απόσταση, απόσταση μεταξύ της εισόδου του στοιχείου της ο-ΦΜΣ και του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων, κτλ.) ώστε σχέδια της περιθλασης (δίσκοι Airy ή αντίστοιχα) να απεικονίζονται ή όχι στην επιφάνεια του στοιχείου της ο-ΦΜΣ. Σε μια διαμόρφωση, η χωρική επικάλυψη των εικόνων των διακριτών στοιχείων του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων στην όψη εισόδου του στοιχείου της ο-ΦΜΣ μπορεί να είναι ρυθμιστεί μέσω δομών περίθλασης ή μέσω απο-εστιασμένης απεικόνισης. Τα οπτικά στοιχεία μπορεί να είναι φακοί, αχρωματικοί φακοί, μικρο-φακοί, υγροί κρύσταλλοι, συστοιχίες φακών (οπτικοί αντικειμενικοί ή παρόμοιοι) ή αντίστοιχα. Σε μια διαμόρφωση, το σύστημα απεικόνισης μπορεί να κινείται σε μία ή περισσότερες διευθύνσεις (άξονες), μέσω ενός μηχανικού/ηλεκτρομηχανικού συστήματος ή ενός πιεζοηλεκτρικού στοιχείου. Σε μια διαμόρφωση, ράγες σε έναν ή περισσότερους άξονες μπορούν να είναι τυπωμένες στο σασί της συσκευής για την μείωση των μηχανικών δονήσεων και λανθασμένων ευθυγραμμίσεων.
- 20 [037] Σε μια διαμόρφωση της παρούσας εφεύρεσης, το στοιχείο της ο-ΦΜΣ είναι ένας οπτικός κυματοδηγός, οι διαστάσεις και το υλικό του οποίου επιτρέπουν την οδήγηση διαφορετικών οπτικών τρόπων (107). Στην γενική περίπτωση, ο οπτικός κυματοδηγός μπορεί να έχει κυκλική διατομή ή διατομή οποιουδήποτε σχήματος, επιδεικνύοντας δύο διαφορετικές περιοχές με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης, τον πυρήνα (δείκτης διάθλασης n_1) και τον μανδύα (δείκτης διάθλασης n_2) (201). Η χωρική κατανομή του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου υπολογίζεται από τις εξισώσεις του Maxwell με οριακές συνθήκες που βασίζονται στους δείκτες διάθλασης και την διατομή του κυματοδηγού (202). Στην περίπτωση κυλινδρικού κυματοδηγού, οπτικής ίνας ή αντίστοιχου, η χωρική κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου (αντίστοιχα και για το μαγνητικό πεδίο) που διαδίδεται στον άξονα-z
- 25
30
35
40
45

- σε κυλινδρικές συντεταγμένες δίνεται από τη σχέση $E_i(r, \varphi, z) = A_i(r, \varphi) e^{i(\omega t - \beta_i z)}$, όπου A_i είναι οι χωρικές κατανομές του πλάτους, ω είναι η κυκλική συχνότητα της πηγής σύμφωνου φωτός και β_i είναι η σταθερά διάδοσης. Οι σταθερές διάδοσης υπακούουν στη σχέση $\beta_i^2 = (n_i \omega / c)^2$, όπου n_i είναι ο ενεργός συντελεστής διάθλασης και c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Κατ' αρχήν, αυτοί οι τρόποι έχουν το ίδιο μήκος κύματος ($\lambda = 2\pi c / \omega$), με βάση την συχνότητα της πηγής, αλλά ο κάθε ένας παρουσιάζει διαφορετική καθυστέρηση άφιξης, για δεδομένο μήκος κυματοδηγού. Εάν οι τρόποι αλληλοεπιδράσουν σύμφωνα σε έναν οπτικό ανιχνευτή θα δημιουργήσουν ένα χωρικό προφίλ οπτικής έντασης (intensity), το οποίο θα καθορίζεται από το πλάτος και τη φάση του (ηλεκτρικού ή μαγνητικού) πεδίου κάθε τρόπου μετά από ένα συγκεκριμένο μήκος διάδοσης. Σε μια διαμόρφωση στην οποία ο κυματοδηγός επιτρέπει την ταυτόχρονη οδήγηση μεγάλου αριθμού τέτοιων τρόπων, το μοτίβο συμβολής που γεννιέται είναι σύνθετο (κηλιδωτό μοτίβο). Αυτό το μοτίβο συμβολής που γεννιέται (κηλιδωτό μοτίβο) θεωρείται η απόκριση της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης. Ο αριθμός των τρόπων που ενεργοποιούνται εξαρτάται από τις συνθήκες φωτισμού στην είσοδο του στοιχείου της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης με την πηγή σύμφωνου φωτός. Πιο λεπτομερώς, η αλληλοεπικάλυψη αυτών των τρόπων και της εισερχόμενης δέσμης μπορεί να υπολογιστεί ώστε να εκτιμηθεί η κατανομή της ισχύος της εισερχόμενης δέσμης σε κάθε οπτικό τρόπο. Εάν το μήκος διάδοσης είναι αρκετά μεγάλο (για παράδειγμα σε μια πλαστική οπτική ίνα το μήκος σύζευξης μπορεί να είναι από 15m έως 25m) η αρχική κατανομή ισχύος μεταξύ των τρόπων θα αλλάζει επιτρέποντας την ενεργοποίηση όλων των υποστηριζόμενων τρόπων με ίση ισχύ. Έτσι θα δημιουργηθεί στην έξοδο μια απόκριση με απλή κανονική κατανομή ισχύος (κατανομή Gauss) χωρίς ευκρινή χαρακτηριστικά. Αντίθετα, εάν το μήκος του στοιχείου της ο-ΦΜΣ είναι περιορισμένο, δεν έχουμε αποκατάσταση ισορροπίας της ισχύος και ο αριθμός των ενεργοποιημένων τρόπων καθώς και η κατανομή ισχύος εξαρτάται έντονα από τις συνθήκες φωτισμού.
- [038] Σε μια διαμόρφωση, το προαναφερθέν μέσο δημιουργίας διεγέρσεων λειτουργεί σαν μια δευτερογενή πηγή σύμφωνου φωτός, όπου αλλάζοντας τα χαρακτηριστικά των στοιχείων της δημιουργείται μια διαφορετική διεγερση, δηλαδή δημιουργούνται διαφορετικές συνθήκες φωτισμού στην όψη εισόδου του στοιχείου της ο-ΦΜΣ (203). Αυτές οι διαφορετικές συνθήκες φωτισμού (διεγέρσεις) αλλάζουν με την σειρά τους τον αριθμό των τρόπων που διεγείρονται καθώς και την μεταξύ τους κατανομή ισχύος. Γι' αυτό το λόγο, για κάθε διεγερση δημιουργείται μια διαφορετική απόκριση στην όψη εξόδου του στοιχείου της ο-ΦΜΣ. Στην ιδανική περίπτωση που το στοιχείο της ο-ΦΜΣ είναι ένας τέλειος οπτικός κυματοδηγός (απουσία ατελειών, ακαθαρσιών, μηχανικών κυρτώσεων κτλ.) χρησιμοποιώντας τις ακριβείς συνθήκες φωτισμού και τις εξισώσεις του Maxwell μπορεί να γίνει αναλυτική αντιστοίχιση μεταξύ της εισόδου (διεγερση) και της εξόδου (απόκριση). Παρά το ότι η σχέση εισόδου-εξόδου είναι αιτιοκρατική, στην περίπτωση που τα χαρακτηριστικά του κυματοδηγού επιτρέπουν την διάδοση μεγάλου αριθμού τρόπων η ανάλυση αυτή είναι υπολογιστικά απαιτητική. Ο αριθμός των τρόπων που υποστηρίζονται δίνεται προσεγγιστικά από τη σχέση $N=2(NA)^2/(\pi R/\lambda)^2$, όπου N είναι ο αριθμός των υποστηριζόμενων τρόπων, NA είναι το αριθμητικό άνοιγμα του κυματοδηγού, R είναι η ακτίνα του πυρήνα και λ είναι το μήκος κύματος της πηγής σύμφωνου φωτός. Για παράδειγμα, εάν ο οπτικός κυματοδηγός είναι μια τυπική πλαστική οπτική ίνα (με διάμετρο πυρήνα 980μm και πάχος μανδύα 20μm) και το μήκος κύματος της πηγής είναι 650 nm, η προηγούμενη σχέση δίνει πάνω από 2.5×10^6 υποστηριζόμενους οπτικούς τρόπους (συμπεριλαμβανομένου του εκφυλισμού πόλωσης).
- [039] Σε μια διαμόρφωση, η όψη εισόδου του στοιχείου του ο-PUF (203) παρουσιάζει τυχαίες ατέλειες, εκ προθέσεως ή μη, όπως ρωγμές, φυσαλίδες, γρατζουνιές, επιφανειακές ανωμαλίες, ακαθαρσίες, προσμείξεις ή παρόμοιες. Αυτές οι ατέλειες μπορεί να έχουν μέγεθος μικρότερο, παρεμφερές, ή μεγαλύτερο από το μήκος κύματος του εισερχόμενου σύμφωνου φωτός. Αυτές οι ατέλειες δρουν σαν σκεδαστές και αναλόγως του μεγέθους τους προκαλούν σκέδαση Mie ή Rayleigh, ενεργοποιώντας ένα ευρύ φάσμα χωρικών κατανομών στην είσοδο του στοιχείου της ο-ΦΜΣ. Με βάση την προαναφερθείσα ανάλυση, αυτό θα επιτρέψει την τυχαία διεγερση και την τυχαία κατανομή ισχύος μεταξύ των υποστηριζόμενων οπτικών τρόπων. Σε αυτή την διαμόρφωση οι ατέλειες

στην όψη εισόδου παρέχουν έναν μηχανισμό αναδιάταξης που είναι υπεύθυνος για την οπτική χωρική κατανομή που καταγράφεται στην έξοδο (απόκριση). Στην ιδανική περίπτωση που υπάρχουν ατέλειες μόνο στην όψη εισόδου, η παραγόμενη απόκριση καθορίζεται από τις τυχαίες συνθήκες φωτισμού, μέσω του συνδυασμού του

5 διαμόρφωση η φύση του συστήματος είναι ντετερμινιστική, είναι υπολογιστικά ανέφικτο να επιλυθούν όλες οι πιθανές οπτικές χωρικές κατανομές για κάθε ατέλεια στην όψη εισόδου. Αυτό καθιστά την παρούσα διαμόρφωση ανθεκτική ενάντια σε επιθέσεις μοντελοποίησης.

[040] Σε μια διαμόρφωση, οι προαναφερθείσες ατέλειες δημιουργούνται μέσω μια τυχαίας μηχανικής και/ή χημικής και/ή θερμικής διαδικασίας και/ή εκτομής με λέιζερ ή ισοδύναμες διεργασίες. Η τυχαιότητα των διεργασιών μπορεί να είναι θορυβικής φύσης: λέιζερ υψηλής έντασης, πηγές θερμότητας, ή συστήματα μηχανικής τριβής.

[041] Σε μια διαμόρφωση, παρόμοιες ατέλειες (φυσαλίδες, ρωγμές κτλ.) υπάρχουν στον πυρήνα και/ή στον μανδύα και/ή στην διεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα του στοιχείου της ο-ΦΜΣ με μέγεθος μικρότερο, παρόμοιο, ή μεγαλύτερο από το μήκος κύματος του σύμφωνου φωτός. Σε μια διαμόρφωση, οι προαναφερθείσες ατέλειες μπορεί να προκύπτουν σαν υποπροϊόν της διαδικασίας κατασκευής του κυματοδηγού ή μπορεί να έχουν δημιουργηθεί εκ προθέσεως. Σε αυτή την διαμόρφωση, οι ατέλειες στο εσωτερικό του οπτικού κυματοδηγού δρουν σαν στοιχεία σκέδασης που επιτρέπουν την διέγερση επιπλέον τρόπων και/ή την ανακατανομή της ισχύος μεταξύ των ήδη υπάρχοντων τρόπων (διατροπική σύζευξη). Έτσι η αρχική τυχαία κατανομημένη ισχύς ανακατανέμεται. Αυτές οι ατέλειες συντελούν έναν δεύτερο μηχανισμό αναδιάταξης που δεν μπορεί να ελεγχθεί ή να παρακολουθηθεί από τον κατασκευαστή, προστατεύοντας περαιτέρω τη συσκευή ενάντια σε επιθέσεις μοντελοποίησης.

[042] Σε μια διαμόρφωση, μηχανικές μικρο-κάμψεις και/ή μηχανικές μικρο-τάσεις, εκ προθέσεως ή μη, στο στοιχείο της ο-ΦΜΣ αλλάζουν τις οριακές συνθήκες στον κυματοδηγό επηρεάζοντας τις ιδιότητες οδήγησης, επηρεάζοντας έτσι την οπτική απόκριση.

[043] Σε μια διαμόρφωση, παρόμοιες ατέλειες (φυσαλίδες, ρωγμές κτλ.) βρίσκονται στην όψη εξόδου του στοιχείου της ο-ΦΜΣ με μέγεθος μικρότερο, παρόμοιο, ή μεγαλύτερο από το μήκος κύματος του εισερχόμενου σύμφωνου φωτός. Και αυτές οι ατέλειες δρουν σαν στοιχεία σκέδασης Rayleigh και/ή Mie μεταβάλλοντας με τυχαίο τρόπο τη φάση και την ένταση των οδηγούμενων οπτικών τρόπων. Αυτή η διαμόρφωση είναι παρόμοια με μια τυπική ΦΜΣ σκέδασης που φωτίζεται ταυτόχρονα από μια σειρά σύμφωνων πηγών εγγλειδωμένης φάσης. Σε αυτή την περίπτωση ο αριθμός των πηγών είναι ίσος με τον αριθμό των οδηγούμενων τρόπων· επιπλέον κάθε πηγή δεν έχει μια απλή κανονική κατανομή ισχύος (κατανομή Gauss) αλλά επιδεικνύει μια σύνθετη χωρική κατανομή. Γι' αυτό το λόγο, η προτεινόμενη συσκευή επιδεικνύει πολλαπλούς μηχανισμούς αναδιάταξης και βελτιωμένη απόδοση όσο αφορά την πολυπλοκότητα της απόκρισης, συγκρινόμενη με προηγούμενες υλοποιήσεις.

[044] +++ Σε μια διαμόρφωση της συσκευής ένα ή περισσότερα μηχανικά στοιχεία όπως έμβολα, κοχλίες ή συναφείς δομές μπορούν να ενταχθούν στη προαναφερθείσα διάταξη με σκοπό να εφαρμόζουν ελεγχόμενη μηχανική τάση πάνω στο σώμα του οπτικού κυματοδηγού, όπως εφελκυσμό, θλίψη, κάμψη κλπ. Μέσω αυτής της διαδικασίας θα επιτρέπεται η μηχανική παραμόρφωση (πλαστική ή ελαστική) του κυματοδηγού με αποτέλεσμα τη διαταραχή των κυματοδηγικών ιδιοτήτων του, όπως τη στρόφη της οπτικής πόλωσης για κάθε εγκάρσιο τρόπο και την αναδιανομή της ισχύος. Σε αυτή τη διαμόρφωση της διάταξης κάθε διακριτή τιμή μηχανικής τάσης που εφαρμόζεται στο κυματοδηγό, επάγει μια μεταβολή σε ένα συγκεκριμένο σύνολο μηχανικών ιδιοτήτων και ως εκ τούτου επιτρέπει την παραγωγή μιας διακριτής σειράς ζευγών διεγέρσεων-αποκρίσεων. Συνεπώς αλλάζοντας τις μηχανικές ιδιότητες η συσκευή μπορεί να καταστεί επαναδιατάξιμη, και ως εκ τούτου να επιτρέπει τη δημιουργία νέων σειρών διεγέρσεων-αποκρίσεων οι οποίες είναι στατιστικά ανεξάρτητες μεταξύ τους.

- [045] Σε μια διαμόρφωση της συσκευής όπου το στοιχείο της ο-ΦΜΣ περιλαμβάνει όλους τους προαναφερθέντες μηχανισμούς αναδιάταξης (ατέλειες στις όψεις και στον πυρήνα και στο μανδύα του κυματοδηγού) η υπολογιστική πολυπλοκότητα της συσκευής λαμβάνει κοσμολογικά μεγάλες διαστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, θεωρώντας στοιχείο της ο-ΦΜΣ μια πλαστική οπτική ίνα μήκους 10cm, που διεγείρεται από πηγή 5 σύμφωνου φωτός που εκπέμπει στα 650nm, βρίσκουμε πως μπορούν να οδηγηθούν περίπου 2.5×10^6 οπτικοί τρόποι (συμπεριλαμβανομένου του εκφυλισμού πόλωσης). Επιπλέον, εάν οι σκεδάσεις Mie είναι επικρατείς στο στοιχείο της ο-ΦΜΣ τότε η χωρική κατανομή του φωτός μπορεί να επηρεαστεί από ατέλειες μεγέθους ίσου ή μεγαλύτερου από το μήκος κύματος λ . Θεωρώντας voxels (στοιχειώδης μονάδες όγκου) διάστασης λ τότε κάθε voxel έχει όγκο $0.274 \times 10^{-18} \text{m}^3$, ενώ ο συνολικός όγκος του στοιχείου είναι $31.4 \times 10^{-8} \text{m}^3$ (κύλινδρος ακτίνας 1mm και μήκους 10cm). Έτσι στο στοιχείο της ο-ΦΜΣ περιλαμβάνονται 115×10^{26} διαφορετικές καταστάσεις· αυτός ο αριθμός είναι μια θεωρητική απλοποιημένη προσέγγιση της πολυπλοκότητας, αγνοώντας τις σκεδάσεις Rayleigh και θεωρώντας πως κάθε voxel μπορεί να αντιπροσωπεύει μόνο δύο διαφορετικές καταστάσεις (ύπαρξη ή απουσία ατέλειας). Εάν κάθε voxel μπορεί να αντιπροσωπεύει C διαφορετικές καταστάσεις (που να επηρεάζουν την ένταση της ακτινοβολίας, την φάση την πόλωση κτλ.) τότε η θεωρητική πολυπλοκότητα αγγίζει το $(115 \times 10^{26})^C$. Επιπλέον, αυτή η πολυπλοκότητα προκύπτει υποθέτοντας μοναδική πηγή σύμφωνου φωτός ενώ στην παρούσα συσκευή επιτρέπεται η διέγερση ενός μεγάλου αριθμού οπτικών χωρικών κατανομών (οπτικών τρόπων) με σταθερή διαφορά ταχύτητας φάσης. Συνεπώς το συνολικό μέγεθος του προβλήματος μοντελοποίησης (πολυπλοκότητα) γίνεται $2.5 \times 10^6 \times (115 \times 10^{26})^C$. Ακόμα και στην απλή περίπτωση όπου $C=1$, ένας επιτιθέμενος θα πρέπει να λύσει 10 περίπου $10^{38} \times 2^{128}$ εξισώσεις Maxwell, μια διαδικασία που είναι σήμερα υπολογιστικά μάταιη.
- [046] Σε μια διαμόρφωση όπου η συχνότητα της πηγής σύμφωνης ακτινοβολίας μπορεί να ρυθμιστεί, το κηλιδωτό μοτίβο θα μεταβάλλεται σημαντικά λόγω της εξάρτησης της συχνότητας από τη σταθερά διάδοσης κάθε τρόπου, έτσι μοναδικά κηλιδωτά μοτίβα θα σχηματίζονται στον οπτικό ανιχνευτή, δημιουργώντας μοναδικές οπτικές αποκρίσεις. Σε αυτή την περίπτωση τα διακριτά ζεύγη διεγέρσεων - αποκρίσεων μπορούν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας την πηγή σύμφωνου φωτός σαν μέσο δημιουργίας διεγέρσεων. Σε μια διαμόρφωση, η πηγή λέιζερ ρυθμιζόμενου μήκους κύματος μπορεί να συνδυαστεί με ένα μέσο δημιουργίας διεγέρσεων, όπως περιγράφεται προηγουμένως, με στόχο την μεγέθυνση του χώρου διεγέρσεων.
- [047] Σε μια διαμόρφωση, η χωρική επικάλυψη των στοιχείων (πχ εικονοκυττάρων) του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων στην όψη του στοιχείου της ο-ΦΜΣ μπορεί να μεταβληθεί μέσω διαθλαστικής απεικόνισης (δίσκοι Airy) ή μέσω από-εστιασμένης απεικόνισης (106) κάθε στοιχείου (εικονοκυττάρου). Σε μια διαμόρφωση όπου ένα μοναδικό στοιχείο του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων καταναίμει την ισχύ του σε έναν συγκεκριμένο αριθμό οπτικών τρόπων, η ισχύς των οποίων θα είναι κάτω από το κατώφλι του ανιχνευτή (noise-equivalent power), το μοτίβο παρεμβολής που γεννιέται από αυτούς τους τρόπους δεν μπορεί να ανιχνευτεί και δεν αποτελεί τμήμα της οπτικής απόκρισης. Εάν ένα επιπλέον στοιχείο του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων, που έχει ισχυρή υπέρθεση με το πρώτο στοιχείο, ενεργοποιηθεί (με αύξηση της οπτικής έντασης ή αντίστοιχη μέθοδο), η συνδυασμένη ισχύς τους μπορεί αυξήσει την ισχύ των οπτικών τρόπων πάνω από το κατώφλι του ανιχνευτή. Σε αυτή την περίπτωση, η οπτική απόκριση του συστήματος θα περιέχει επιπλέον χαρακτηριστικά και δεν θα είναι γραμμικός συνδυασμός των αποκρίσεων που δημιουργούνται από μεμονωμένα στοιχεία του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων. Αυτή η λειτουργία μπορεί να επιτευχθεί κινώντας το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων μακριά από το σύστημα απεικόνισης (106) (ενεργοποίηση διάθλασης) ή απομακρύνοντας ή πλησιάζοντας το σύστημα απεικόνισης στο στοιχείο της ο-ΦΜΣ (εκτός εστίασης) αλλά διατηρώντας σταθερή την απόσταση του συστήματος απεικόνισης από το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων. Μέσω αυτής της ρύθμισης, η συσκευή θα παρέχει οπτικές αποκρίσεις για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των στοιχείων του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων που δεν θα είναι γραμμικά εξαρτημένοι, με βάση την προηγούμενη ανάλυση, και άρα η συσκευή θεωρείται ενάντια σε επιθέσεις γραμμικής 45 παλινδρόμησης (linear regression).

- [048] Σε μια διαμόρφωση, η οπτική απόκριση που δημιουργείται από το στοιχείο της ο-ΦΜΣ ανιχνεύεται από έναν οπτικό ανιχνευτή που αποτελείται από μια διάταξη συζευγμένου φορτίου (charge-coupled Device), ή από μια κάμερα τεχνολογίας συμπληρωματικού ημιαγωγού μετάλλου-οξειδίου (complementary metal-oxide-semiconductor), ή από μια κάμερα τεχνολογίας καθοδικού σωλήνα τύπου Vidicon ή ισοδύναμες τεχνολογίες
- 5 (108). Σε μια διαμόρφωση, το μέγεθος των στοιχείων του ανιχνευτή είναι μικρότερο ή παρόμοιο με το μέγεθος των διακριτών χαρακτηριστικών του κηλιδωτού μοτίβου σε μια συγκεκριμένη απόσταση από την επιφάνεια του στοιχείου της ο-ΦΜΣ, ώστε να απεικονίζονται όλα τα οπτικά χαρακτηριστικά και να διατηρείται η πολυπλοκότητα της εικόνας. Σε μια διαμόρφωση, το σύστημα απεικόνισης μπορεί να κινείται σε μία ή περισσότερες διευθύνσεις (άξονες), μέσω ενός μηχανικού/ηλεκτρομηχανικού συστήματος, ή ενός
- 10 πιεζοηλεκτρικού στοιχείου.
- [049] Σε μια διαμόρφωση της αποκαλυπτόμενης συσκευής, το στοιχείο της ο-ΦΜΣ περιλαμβάνει μια οπτική κοιλότητα, όπου μια πιθανή υλοποίηση περιλαμβάνει μια δακτυλιοειδή κοιλότητα παρόμοια με ένα οπτικό φίλτρο εγκοπής (notch optical filter) ή ισοδύναμο (ΣΧΕΔΙΟ 3). Μια πιθανή υλοποίηση μπορεί να είναι μια δακτυλιοειδής κοιλότητα πλαστικής οπτικής ίνας. Οι ιδιότητες κυματοδότησης μια τέτοιας υλοποίησης είναι σε
- 15 συμφωνία με την περιγραφή του στοιχείου της ο-ΦΜΣ όπως έχει ήδη περιγραφεί. Αυτή η υλοποίηση περιλαμβάνει έναν 2x2 οπτικό συζεύκτη (301) με προκαθορισμένο συντελεστή ζεύξης r και συντελεστή μετάδοσης $t=1-r$. Η οπτική διέγερση από το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων προβάλλεται στο ένα σκέλος του συζεύκτη (304), ενώ η οπτική απόκριση λαμβάνεται από το άλλο σκέλος (305). Τα δύο εναπομείναντα σκέλη (303) συνδέονται μέσω ενός ξεχωριστού πολύτροπου οπτικού κυματοδηγού (302). Αυτή η διάταξη λειτουργεί σαν
- 20 ένα στοιχείο της ο-ΦΜΣ δύο τμημάτων, όπου το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει τον οπτικό συζεύκτη (304, 305, 303, 301) ενώ το δεύτερο τμήμα είναι ο ξεχωριστός οπτικός κυματοδηγός (302). Σε αυτή την περίπτωση, η παραγόμενη απόκριση είναι το προϊόν αλληλεπίδρασης πολλαπλών διελεύσεων μεταξύ των δύο τμημάτων λόγω της δακτυλιοειδούς κοιλότητας. Λαμβάνοντας υπόψη πως το διαδιδόμενο φως κατανέμεται σε έναν μεγάλο αριθμό οπτικών τρόπων με διαφορετικές σταθερές μετάδοσης (οπτικές ταχύτητες φάσης), η οπτική κοιλότητα
- 25 αυτής της διαμόρφωσης δεν παρουσιάζει συντονισμό. Άρα, υποθέτοντας πως ο χρόνος διέλευσης από την περιφέρεια του στοιχείου της ο-ΦΜΣ είναι πολύ μικρός ($t=c/nL$, όπου c η ταχύτητα του φωτός στο κενό, n ο ενεργός δείκτης διάθλασης και L το μήκος της περιφέρειας) σε σχέση με τον χρόνο απόκτησης αποκρίσεων από τον οπτικό ανιχνευτή, η οπτική απόκριση προκύπτει ως προϊόν από: την διέλευση από το (304) στο (305) με ένα τμήμα της ισχύος t , της απόκρισης που δημιουργείται από την πρώτη διέλευση στο (303) και στο (302) με ισχύ ανάλογη του r^2 , της απόκρισης που δημιουργείται από την δεύτερη διέλευση με ισχύ ανάλογη του r^4 κτλ. Οι αποκρίσεις που δημιουργούνται από πολλαπλές διελεύσεις μέσα στην δακτυλιοειδή κοιλότητα, επιδρούν εκθετικά
- 30 όλο και λιγότερο στην τελική οπτική απόκριση, με βάση τον λόγο ζεύξης.
- [050] Σε μια άλλη διαμόρφωση, η δακτυλιοειδής κοιλότητα που προαναφέρθηκε μπορεί να διαμορφωθεί ως φίλτρο επανεισαγωγής - απομάστευσης (ΣΧΕΔΙΟ 4). Σε αυτή την περίπτωση, η δακτυλιοειδής κοιλότητα περιλαμβάνει δύο 2x2 οπτικούς συζεύκτες (404) με προκαθορισμένες αναλογίες ζεύξης, οι οποίες μπορεί να είναι ίδιες ή διαφορετικές. Οι ιδιότητες κυματοδότησης μια τέτοιας υλοποίησης είναι σε συμφωνία με την περιγραφή
- 35 του στοιχείου της ο-ΦΜΣ όπως έχει ήδη περιγραφεί. Η οπτική διέγερση από το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων προβάλλεται στο ένα σκέλος του πρώτου συζεύκτη (401), ενώ η οπτική απόκριση λαμβάνεται από το ένα σκέλος του δεύτερου συζεύκτη (402). Για να σχηματιστεί η κοιλότητα επανεισαγωγής - απομάστευσης δύο σκέλη των ζευκτών συνδέονται (403), ενώ τα δύο εναπομείναντα σκέλη διασυνδέονται μέσω ενός ξεχωριστού κυματοδηγού (405). Αυτή η υλοποίηση επίσης δρα σαν ένα στοιχείο ο-ΦΜΣ δύο τμημάτων, όπου το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει μέρος της κοιλότητας (403, 404) και το δεύτερο τμήμα περιλαμβάνει τα εναπομείναντα μέρη της κοιλότητας (405). Η οπτική απόκριση που λαμβάνεται στην έξοδο (402) προκύπτει ως άθροισμα των πολλαπλών διελεύσεων του σύμφωνου φωτός από τα δύο τμήματα. Η περίπτωση κάθε διέλευσης στην τελική απόκριση
- 40

καθορίζεται και εδώ από τις αναλογίες ζεύξης όμως σε αυτή την περίπτωση η τελική απόκριση δεν περιλαμβάνει χαρακτηριστικά που προκύπτουν από την άμεση διέλευση όπως στην προηγούμενη διαμόρφωση (ΣΧΕΔΙΟ 3).

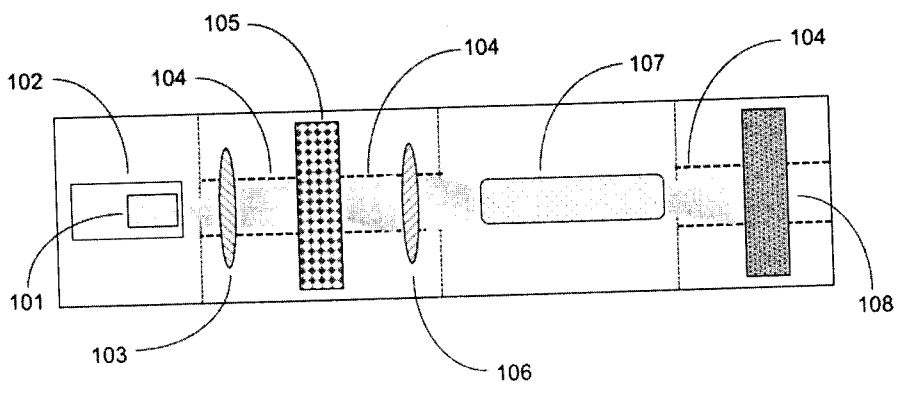
- [051] Οι δύο δακτυλοειδείς ενσωματώσεις των προηγούμενων παραγράφων επιτρέπουν την λήψη οπτικής απόκρισης που προέρχεται από πολλαπλές διελεύσεις στην οπτική κοιλότητα. Έτσι εάν θεωρήσουμε μέρος της κοιλότητας ως μια μορφή «κλειδαρότρυπας» (301, 303 – 403, 404), και τους ανεξάρτητους κυματοδηγούς μια μορφή «κλειδιού», ο συνδυασμός αυτών των τμημάτων δημιουργούν ένα σύστημα (κλειδαριά) που είναι προστατευμένο ενάντια σε επιθέσεις επαναληπτικής εκτέλεσης. Στην περίπτωση που ένας κακόβουλος χρήστης αποκτήσει πρόσβαση στο "κλειδί" (302 – 405) και εγχύσει φως με παρόμοια χαρακτηριστικά (πηγή φωτός και μέσο δημιουργίας διεγέρσεων) η απόκριση που δημιουργείται δεν θα είναι συσχετισμένη με την απόκριση που λαμβάνεται από το συνδυασμό των δύο τμημάτων ("κλειδί" και "κλειδαρότρυπα"), λόγω της διαδικασίας αλληλεπίδρασης πολλαπλών διελεύσεων. Μια τέτοια διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συστήματα ελέγχου φυσικής πρόσβασης ή πρόσβασης στον κυβερνοχώρο. Σε μια διαμόρφωση, το ίδιο "κλειδί" μπορεί να συνδυαστεί με πολλαπλές "κλειδαρότρυπες" ώστε να δημιουργηθούν πολλά μοναδικά ζεύγη "κλειδαριών". Επιπλέον, η ύπαρξη των δύο τμημάτων και η διαμόρφωση πολλαπλών διελεύσεων αυξάνει δραστικά την φυσική πολυπλοκότητα της συσκευής καθιστώντας ανέφικτες τις επιθέσεις μοντελοποίησης.
- [052] Σε μια διαμόρφωση, ένα στοιχείο βιομετρικού χαρακτηριστικού όπως αποτύπωμα, οφθαλμική ίριδα, δακτυλικοί αγγειακοί μικρο-πυλώνες, αμφιβληστροειδής, αποτύπωμα παλάμης, περιοφθαλμική περιοχή ή αντίστοιχο (507) τοποθετείται μεταξύ του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων (503) και του στοιχείου της ο-ΦΜΣ (509) επιτρέποντας την αλληλεπίδραση του χωρικού προφίλ του σύμφωνου φωτός μαζί του, πριν την μετάδοση στο κυρίως στοιχείο της ο-ΦΜΣ (508). Σε μια τέτοια διαμόρφωση, η οπτική διέγερση προκύπτει από το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων και το στοιχείο βιομετρικού χαρακτηριστικού. Πιο λεπτομερώς, το φως που εξέρχεται από το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων (505) κατευθύνεται στο βιομετρικό στοιχείο όπου σκεδάζεται και/ή ανακλάται και/ή απορροφάται από τα δομικά χαρακτηριστικά του βιομετρικού στοιχείου μέσω μιας επιπλέον διαφανούς ή ημι-διαφανούς επιφανείας (506). Η οπτική διέγερση προβάλλεται στο στοιχείο της ο-ΦΜΣ και έτσι γεννάται η οπτική απόκριση (510). Σε μια τέτοια διαμόρφωση το ζεύγος διέγερσης - απόκρισης εξαρτάται από κάτι που ο χρήστης έχει (στοιχείο της ο-ΦΜΣ) και από κάτι που ο χρήστης "είναι" (βιομετρικό στοιχείο). Με βάση την προηγούμενη ανάλυση μια τέτοια διαμόρφωση περιλαμβάνει ένα σύστημα ασφαλείας δύο παραγόντων, όπου μόνο ο σωστός συνδυασμός του βιομετρικού στοιχείου και του στοιχείου της ο-ΦΜΣ παρέχει ένα έγκυρο ζεύγος. Μια τέτοια διαμόρφωση αυξάνει την φυσική πολυπλοκότητα της συσκευής καθιστώντας ανέφικτες τις επιθέσεις μοντελοποίησης.
- [053] Η μέθοδος για την δημιουργία ενός ή περισσότερων ζευγών διεγέρσεων - αποκρίσεων σχετίζεται άμεσα με την συσκευή που αποκαλύφθηκε στις προηγούμενες παραγράφους. Πιο λεπτομερώς, ο χρήστης ζητά από την συσκευή μια οπτική διέγερση, η οποία παρέχεται τροποποιώντας τα χαρακτηριστικά εκπομπής της πηγής σύμφωνου φωτός και/ή διαμορφώνοντας τα χωρικά χαρακτηριστικά του φωτός μέσω ενός μέσου δημιουργίας διεγέρσεων. Η οπτική διέγερση οδηγείται στο στοιχείο της ο-ΦΜΣ το οποίο αποτελείται από έναν πολύτροπο οπτικό κυματοδηγό. Αυτή η διαμόρφωση διαφέρει από τις τυπικές ΦΜΣ με απλούς σκεδαστές καθώς επιτρέπει την ταυτόχρονη ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού οπτικών τρόπων που αλληλοεπιδρούν μέσα στο στοιχείο της ο-ΦΜΣ. Τέλος, οι οπτικές αποκρίσεις ανιχνεύονται από έναν οπτικό ανιχνευτή και συνεπώς δημιουργούνται τα ζεύγη διεγέρσεων-αποκρίσεων.
- [054] Σε μια διαμόρφωση της μεθόδου, η ο-ΦΜΣ αποτελεί ένα σχήμα ασφαλείας δύο παραγόντων που περιλαμβάνει δύο διακριτούς πολύτροπους κυματοδηγούς που σχηματίζουν μια οπτική κοιλότητα και πιο συγκεκριμένα μια δακτυλοειδή κοιλότητα. Μια πιθανή διαμόρφωση περιλαμβάνει μια κοιλότητα παρόμοια με ένα οπτικό φίλτρο εγκοπής ή μια κοιλότητα παρόμοια με ένα φίλτρο επανεισαγωγής - απομάστευσης. Η γενική αρχή λειτουργίας και των δύο ενσωματώσεων είναι παρόμοια. Η οπτική διέγερση δημιουργείται όπως περιγράφεται στις προηγούμενες παραγράφους και προβάλλεται στην όψη εισόδου του στοιχείου της ο-ΦΜΣ. Η

- δακτυλοειδής διαμόρφωση των δύο παραγόντων επιτρέπει στην οπτική διέγερση να πραγματοποιήσει πολλαπλές διελεύσεις μέσα στην κοιλότητα. Έτσι, η τελική οπτική απόκριση, μετά την αποκατάσταση ισορροπίας, προκύπτει ως προϊόν όλων των ξεχωριστών οπτικών αποκρίσεων μετά από κάθε διέλευση. Σε μια τέτοια διαμόρφωση της μεθόδου, το πρώτο τμήμα του στοιχείου της ο-ΦΜΣ μπορεί να θεωρηθεί ως "κλειδί" και το δεύτερο τμήμα ως "κλειδαρότρυπα", ενώ το συνολικό σύστημα μπορεί να θεωρηθεί μια οπτική "κλειδαριά". Χρησιμοποιώντας διαφορετικές οπτικές διεγέρσεις το σύστημα μπορεί να παράγει πολλαπλά ζεύγη διεγέρσεων - αποκρίσεων, όπως στην αρχική μέθοδο, ή το ίδιο "κλειδί" μπορεί να συνδυαστεί με διαφορετικές "κλειδαρότρυπες" για την δημιουργία διαφορετικών "κλειδαριών". Μια τέτοια διαμόρφωση θα μπορούσε να αποτελεί τμήμα ενός σχήματος αυθεντικοποίησης όπου ένας χρήστης που κατέχει το μοναδικό "κλειδί" μπορεί να αυθεντικοποιηθεί σε διαφορετικές "κλειδαρότρυπες". Το βασικό πλεονέκτημα της παρούσας διαμόρφωσης είναι η ανθεκτικότητα ενάντια σε επιθέσεις επαναληπτικής εκτέλεσης. Στην περίπτωση που ένας μη εξουσιοδοτημένος χρήστης αποκτήσει πρόσβαση στο "κλειδί" και χρησιμοποιήσει ένα μέσο δημιουργίας διεγέρσεων ταυτόσημο με το γνήσιο η οπτική απόκριση θα διαφέρει σημαντικά από την έγκυρη, που έχει δημιουργηθεί από τον σωστό συνδυασμό "κλειδιού" - "κλειδαρότρυπας".
- 5 [055] Μια άλλη διαμόρφωση της μεθόδου για δημιουργία ζευγών διεγέρσεων-αποκρίσεων περιλαμβάνει ένα σχήμα ασφαλείας δύο παραγόντων, με τον πρώτο παράγοντα να είναι το στοιχείο της ο-ΦΜΣ (είτε σε διαμόρφωση απλού κυματοδηγού είτε σε δακτυλοειδή διαμόρφωση) και τον δεύτερο να είναι ένα στοιχείο βιομετρικού χαρακτηριστικού όπως αποτύπωμα, οφθαλμική ίριδα, δακτυλικοί αγγειακοί μικρο-πυλώνες, αμφιβληστροειδής, αποτύπωμα παλάμης, περιοφθαλμική περιοχή ή αντίστοιχο. Σε αυτή την περίπτωση, η οπτική διέγερση που δημιουργείται από το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων και/ή την πηγή σύμφωνου φωτός προβάλλεται στην επιφάνεια του στοιχείου βιομετρικού χαρακτηριστικού. Μέσω αυτής της διαδικασίας τα μοναδικά δομικά χαρακτηριστικά του στοιχείου βιομετρικού ανακλούν/σκεδάζουν/απορροφούν το εισερχόμενο σύμφωνο φως τροποποιώντας περαιτέρω τις ιδιότητές του. Η τροποποιημένη οπτική διέγερση οδηγείται στον οπτικό κυματοδηγό για την δημιουργία οπτικής απόκρισης. Σε αυτή τη διαδικασία δύο παραγόντων ένα έγκυρο ζεύγος διέγερσης - απόκρισης μπορεί να δημιουργηθεί μόνο από τη χρήση του σωστού συνδυασμού βιομετρικού στοιχείου και στοιχείου της ο-ΦΜΣ, αυξάνοντας την πολυπλοκότητα του όλου σχήματος ασφαλείας.
- 10 20 25 30 [056] Σε μια άλλη διαμόρφωση, το στοιχείο της ο-ΦΜΣ μπορεί να αποτελεί μια δακτυλοειδή κοιλότητα. Σε αυτή την περίπτωση ο πρώτος οπτικός κυματοδηγός θεωρείται μια μορφή "κλειδαρότρυπας" ενώ το βιομετρικό στοιχείο και ο δεύτερος κυματοδηγός θεωρούνται δύο ανεξάρτητα "κλειδιά". Η δημιουργία έγκυρου ζεύγους διέγερσης-απόκρισης μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τον σωστό συνδυασμό "κλειδαρότρυπας", "κλειδιού" και βιομετρικού στοιχείου. Επιπλέον, αυτή η διαμόρφωση αυξάνει δραστικά την φυσική πολυπλοκότητα του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα, όπως και στην διαμόρφωση απλής δακτυλοειδούς κοιλότητας, προστατεύει την μέθοδο από επιθέσεις επαναληπτικής εκτέλεσης λόγω της διαδικασίας πολλαπλών διελεύσεων.

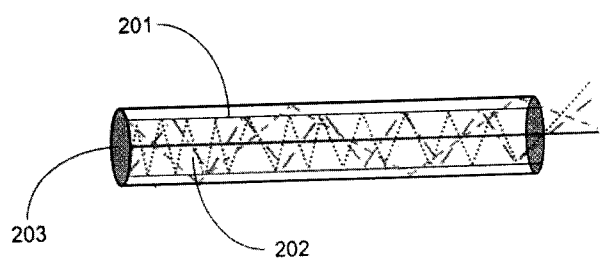
ΑΞΙΩΣΕΙΣ

1. Μια συσκευή για την δημιουργία τουλάχιστον ενός ζεύγους διεγέρσεων-αποκρίσεων (Σχέδιο 1), που αποτελείται από:
- 5
- μια πηγή σύμφωνου φωτός·
 - ένα πρώτο μέσο απεικόνισης διαμορφωμένο ώστε να απεικονίζει το σύμφωνο φως σε ένα μέσο δημιουργίας διεγέρσεων·
 - το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων διαμορφωμένο ώστε να μεταβάλλει την ένταση και/ή την φάση και/ή την πόλωση και/ή την χωρική κατανομή του εισερχόμενου σύμφωνου φωτός ώστε να δημιουργεί μια
- 10
- οπτική διέγερση·
 - ένα δεύτερο μέσο απεικόνισης διαμορφωμένο ώστε να απεικονίζει το μεταβληθέν σύμφωνο φως στο στοιχείο μιας οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης·
 - το στοιχείο της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης διαμορφωμένο να δημιουργεί μια οπτική απόκριση, μέσω διέλευσης της οπτικής διέγερσης από έναν πολύτροπο οπτικό κυματοδηγό· και
- 15
- έναν οπτικό ανιχνευτή διαμορφωμένο ώστε να ανιχνεύει την χωρική κατανομή και την ένταση του φωτός που μεταδίδεται μέσω του στοιχείου της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης
2. Η συσκευή σύμφωνα με την αξίωση 1, χαρακτηρίζεται από το ότι η πηγή σύμφωνου φωτός είναι διαμορφωμένη να εκπέμπει σε μία ή περισσότερες κεντρικές συχνότητες.
- 20
3. Η συσκευή σύμφωνα με τις αξιώσεις 1 και 2, χαρακτηρίζεται από το ότι το πρώτο μέσο απεικόνισης είναι διαμορφωμένο να προβάλλει και/ή να αλλάζει το μέγεθος του χωρικού προφίλ του σύμφωνου φωτός πάνω στην όψη εισόδου του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων
- 25
4. Η συσκευή σύμφωνα με τις αξιώσεις 1-3, χαρακτηρίζεται από το ότι το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων είναι διαμορφωμένο ώστε να αλλάζει την χωρική κατανομή και/ή το πλάτος και/ή την πόλωση και/ή την φάση και/ή την διεύθυνση διάδοσης του εισερχόμενου σύμφωνου φωτός· το μέσο δημιουργίας διεγέρσεων αποτελείται από ένα ή περισσότερα διακριτά στοιχεία (εικονοκύτταρα), όπου κάθε στοιχείο μπορεί να επηρεάσει ένα ή περισσότερα από τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά του σύμφωνου φωτός
- 30
5. Η συσκευή σύμφωνα με οποιαδήποτε από τις προηγούμενες αξιώσεις, χαρακτηρίζεται από το ότι το δεύτερο μέσο απεικόνισης είναι διαμορφωμένο να προβάλλει και/ή να μεταβάλλει το μέγεθος της οπτικής διέγερσης πάνω στο στοιχείο της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης.
- 35
6. Η συσκευή σύμφωνα με οποιαδήποτε από τις προηγούμενες αξιώσεις, χαρακτηρίζεται από το ότι το στοιχείο της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης (Σχέδιο 2) αποτελείται από έναν οπτικό κυματοδηγό, το υλικό, οι οπτικές ιδιότητες, και οι διαστάσεις του οποίου επιτρέπουν την οδήγηση οπτικών τρόπων· ο οπτικός κυματοδηγός περιέχει δομικές ατέλειες και/ή ακαθαρσίες και/ή προσμίξεις· η διέλευση της οπτικής διέγερσης διαμέσου του στοιχείου της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης επιτρέπει την
- 40
- δημιουργία μια οπτικής απόκρισης που σε συνδυασμό με την οπτική διέγερση συνιστούν ένα μοναδικό ζεύγος.
7. Η συσκευή σύμφωνα με οποιαδήποτε από τις προηγούμενες αξιώσεις, χαρακτηρίζεται από το ότι οι όψεις και/ή ο πυρήνας και/ή ο μανδύας και/ή η διεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα του στοιχείου της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης περιέχουν τυχαίες δομικές ατέλειες και/ή ακαθαρσίες και/ή προσμίξεις, και/ή μηχανικές παραμορφώσεις η θέση και τα χαρακτηριστικά των οποίων δεν μπορούν να καθοριστούν από τον κατασκευαστή.
- 45
8. Η συσκευή σύμφωνα με οποιαδήποτε από τις προηγούμενες αξιώσεις, χαρακτηρίζεται από το ότι το στοιχείο της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης περιλαμβάνει έναν οπτικό κυματοδηγό διαμορφωμένο σε δακτυλιοειδή κοιλότητα που αποτελείται από δύο διακριτά τμήματα της ίδιας δομής και υλικού.
- 50

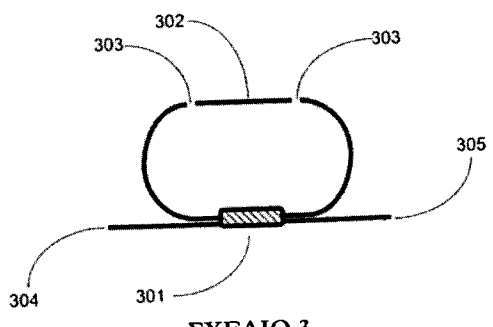
9. Η συσκευή σύμφωνα με την αξίωση 8, χαρακτηρίζεται από το ότι το στοιχείο δακτυλιοειδούς κοιλότητας της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης είναι διαμορφωμένο ως ένα φίλτρο εγκοπής (notch filter) (Σχέδιο 3), που περιλαμβάνει έναν κυκλικό και έναν ευθύ οπτικό κυματοδηγό.
- 5
10. Η συσκευή σύμφωνα με τις αξιώσεις 8, 9, χαρακτηρίζεται από το ότι το στοιχείο δακτυλιοειδούς κοιλότητας της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης είναι διαμορφωμένο ως ένα φίλτρο επανεισαγωγής-απομάστευσης (add-drop) (Σχέδιο 4), που περιλαμβάνει έναν κυκλικό και δύο ευθείς οπτικούς κυματοδηγούς.
- 10
11. Η συσκευή σύμφωνα με οποιαδήποτε από τις προηγούμενες αξιώσεις, χαρακτηρίζεται από το ότι ένα στοιχείο βιομετρικού χαρακτηριστικού περιλαμβάνεται μεταξύ του μέσου δημιουργίας διεγέρσεων και του στοιχείου της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης (Σχέδιο 5) που επιτρέπει την αλληλεπίδραση του χωρικού προφίλ του σύμφωνου φωτός (ανάκλαση και/ή σκέδαση και/ή απορρόφηση) με αυτό, πριν την μετάδοση στο στοιχείο της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης.
- 15
12. Η συσκευή σύμφωνα με οποιαδήποτε από τις προηγούμενες αξιώσεις, χαρακτηρίζεται από το ότι ο οπτικός ανιχνευτής (108) περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα στοιχεία ικανά να συλλάβουν μερικώς ή πλήρως το χωρικό προφίλ του σύμφωνου φωτός που εξέρχεται από το στοιχείο της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης.
- 20
13. Μία μέθοδος για την δημιουργία τουλάχιστον ενός ζεύγους διεγέρσεων αποκρίσεων που περιλαμβάνει τα βήματα:
- παροχή μιας πηγής σύμφωνου φωτός·
 - δημιουργία μια οπτικής διεγερσης φωτίζοντας ένα μεταβαλλόμενο τμήμα ενός μέσου δημιουργίας διεγέρσεων·
 - απεικόνιση της οπτικής διεγερσης στην είσοδο του στοιχείου της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης·
 - δημιουργία μιας οπτικής απόκρισης μέσω της μετάδοσης της οπτικής διεγερσης μέσω του στοιχείου της οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης·
 - ανίχνευση του συνόλου ή μέρους της απόκρισης μέσω ενός οπτικού ανιχνευτή·
- 25
- 30
14. Η μέθοδος σύμφωνα με την αξίωση 13, χαρακτηρίζεται από το ότι το ζεύγος διεγερσης-απόκρισης δημιουργείται από ένα στοιχείο οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης που περιλαμβάνει δύο οπτικούς κυματοδηγούς, σχηματίζοντας μια διαδικασία δύο παραγόντων.
- 35
15. Η μέθοδος σύμφωνα με τις αξιώσεις 13 και 14, χαρακτηρίζεται από το ότι Το ζεύγος διεγερσης-απόκρισης δημιουργείται από ένα στοιχείο οπτικής φυσικής μη-κλωνοποιήσιμης συνάρτησης και ένα στοιχείο βιομετρικού χαρακτηριστικού σχηματίζοντας μια διαδικασία δύο παραγόντων.



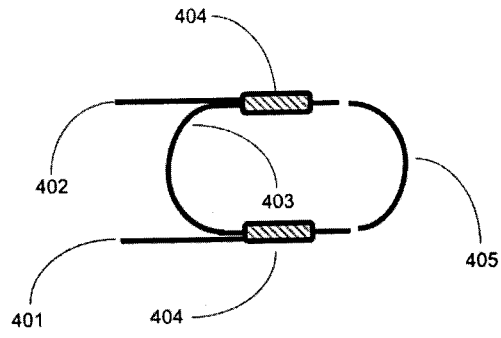
ΣΧΕΔΙΟ 1



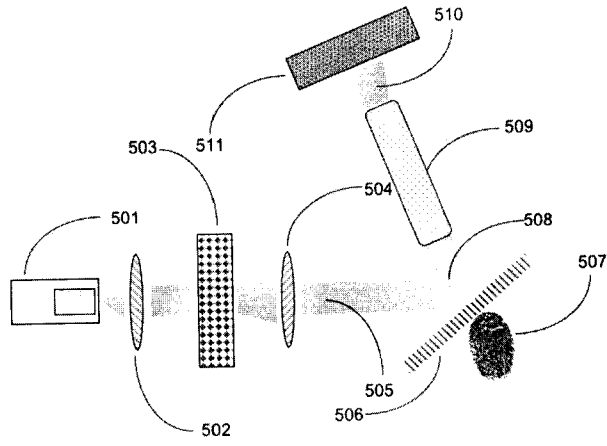
ΣΧΕΔΙΟ 2



ΣΧΕΔΙΟ 3



ΣΧΕΔΙΟ 4



ΣΧΕΔΙΟ 5



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΣ
(Ο.Β.Ι.)

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Αριθμός αίτησης
20170100352

ΕΓΓΡΑΦΑ ΘΕΩΡΟΥΜΕΝΑ ΩΣ ΣΧΕΤΙΚΑ			
Κατηγορία	Σχετικό έγγραφο με επισήμανση, όπου χρειάζεται, των σχετικών παραγράφων	Σχετικό με αξίωση	Διεθν. Ταξινόμηση Int. Cl. 01/01/2018(AL)
	.. /		
	ΕΛΛΕΙΨΗ ΕΝΟΤΗΤΑΣ της ΕΦΕΥΡΕΣΗΣ (βλέπε ΦΥΛΛΟ Β)		
X	XP55480829 / MOUSSA N'GOM ET AL 1/1/2017	1-7,12-14	H04L 9/32 G02B 6/28
Y	"Non-Holographic Method to Compute the Transmission matrix of a Multimode Fiber for Mode Control", FRONTIERS IN OPTICS 2017, σελιδα FTh4A.1, Washington, D.C. DOI: 10.1364/FIO.2017,FTh4A.1, ISBN: 978-1-943580-33-0, *ολόκληρο το έγγραφο*	8-10	
Y	US2015/215115A1 / PIKUS FEDOR 30/7/2015 *παράγραφος [0036] - παράγραφος [0039], σχέδια 6,7*	8-10	
			Τεχνικά πεδία που ερευνήθηκαν
			G02B H04L
<p>Η Έκθεση Έρευνας συντάχθηκε με τη συνδρομή του ΕΓΔΕ σύμφωνα με το άρθρο 8, παρ. 9 του Ν. 1733/87</p>			
Ημερομηνία περάτωσης της έρευνας :		05/10/2018	
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΗΛΟΥΜΕΝΩΝ ΕΓΓΡΑΦΩΝ X: ιδιαίτερα σχετικό αν ληφθεί μεμονωμένα Y: ιδιαίτερα σχετικό αν συνδυαστεί με άλλο έγγραφο της ίδιας κατηγορίας A: τεχνολογικό υπόβαθρο O: μη έγγραφη αποκάλυψη P: ενδιάμεσο έγγραφο T: βασική θεωρία ή αρχή στην οποία βασίζεται η εφεύρεση E: προγενέστερο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, το οποίο δημοσιεύτηκε την ημερομηνία κατάθεσης ή μετά από αυτήν D: έγγραφο αναφερόμενο στην αίτηση L: έγγραφο αναφερόμενο για άλλους λόγους &: μέλος της ίδιας οικογένειας ευρεσιτεχνιών, αντίστοιχο έγγραφο			



Αριθμός αίτησης
20170100352

**ΕΛΛΕΙΨΗ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΦΕΥΡΕΣΗ
ΦΥΛΛΟ Β**

Η Διεύθυνση Ελέγχου Τίτλων (ΔΕΤ) θεωρεί ότι η παρούσα αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας δεν συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις για ενότητα της εφεύρεσης και ότι αυτή αναφέρεται σε περισσότερες εφευρέσεις ή ομάδες εφευρέσεων, δηλαδή:

1) Αξίωση 1-10, 12-14

Το αντικείμενο 1 της εφεύρεσης αναφέρεται σε μια συσκευή για την παραγωγή οπτικού σήματος αναγνώρισης με χρήση ενός στοιχείου φυσικής μη κλωνοποιήσιμης συνάρτησης σε μορφή πολύτροπου κυματοδηγού, σε επιπλέον λειτουργίες φίλτρου του κυματοδηγού μέσω συζευγμένων οπτικών κοιλοτήτων, καθώς και στην αντίστοιχη μέθοδο.

2) Αξιώσεις 11,15

Το αντικείμενο 2 της εφεύρεσης αναφέρεται, επίσης, σε μια συσκευή για την παραγωγή σήματος οπτικής αναγνώρισης με χρήση ενός στοιχείου φυσικής μη κλωνοποιήσιμης συνάρτησης, σε λεπτομέρειες ενός συστήματος αναγνώρισης βιομετρικού χαρακτηριστικού το οποίο σύστημα είναι συνδεδεμένο στη συσκευή, καθώς και στην αντίστοιχη μέθοδο.

Η έρευνα περιορίστηκε στο πρώτο αντικείμενο της εφεύρεσης.