



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2015 00822**

(22) Data de depozit: **09/05/2014**

(30) Prioritate:
11/06/2013 US 915, 166

(41) Data publicării cererii:
30/08/2016 BOPI nr. **8/2016**

(86) Cerere internațională PCT:
Nr. **US 2014/037574 09/05/2014**

(87) Publicare internațională:
Nr. **WO 2014/200639 18/12/2014**

(71) Solicitant:
• **HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC., 3000 N.SAM HOUSTON PARKWAY E., HOUSTON, TEXAS, US**

(72) Inventatori:
• **MITCHELL IAN BRADFORD, 5303 MASON ROAD #2224, KATY, TEXAS, US;**
• **JAASKELAINEN MIKKO, 4011 BELL HOLLOW LANE, KATY, TEXAS, US**

(74) Mandatar:
ROMINVENT S.A., STR. ERMIL PANGRATTI NR.35, SECTOR 1, BUCUREȘTI

(54) **GENERAREA DE LUMINĂ DE SPECTRU LARG PENTRU APLICAȚII DE FORAJ**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem și la o metodă pentru generarea de lumină de spectru larg, pentru aplicații de foraj. Sistemul conform invenției cuprinde: o sursă (106) laser ce produce un impuls de lumină având un prim spectru de lungimi de undă și un convertor (117) amplasat într-o gaură de foraj (102), sursa (106) laser fiind poziționată la distanța de convertor (117), acesta din urmă fiind configurat pentru a recepționa impulsul de lumină având un prim spectru de lungimi de undă, și pentru a genera lumină într-un al doilea spectru de lungimi de undă, ce are un domeniu mai larg decât al primului spectru de lungimi de undă. Metoda cuprinde: generarea unui impuls de lumină având un prim spectru de lungimi de undă, în afara unei găuri de foraj, transmiterea impulsului de lumină având primul spectru de lungimi de undă către un amplasament în adânc, în interiorul găurii de foraj, și conversia impulsului de lumină având primul spectru de lungimi de undă în lumină având un al doilea spectru de lungimi de undă, cu domeniu mai mare decât primul spectru de lungimi de undă.

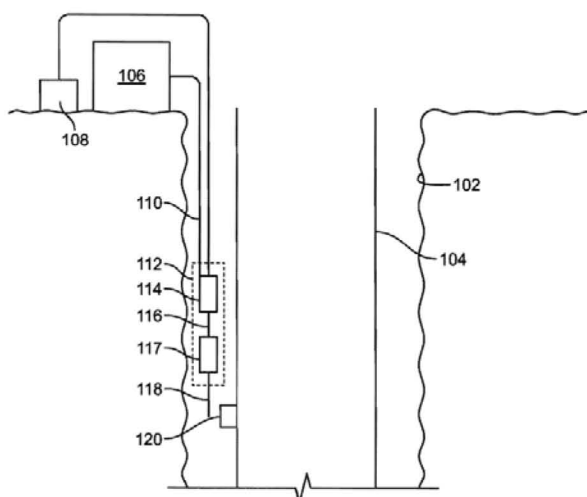
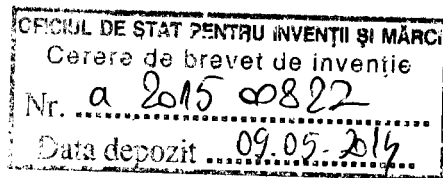


Fig. 1

Revendicări: 20
Figuri: 3

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).





GENERAREA DE LUMINĂ DE SPECTRU LARG PENTRU APLICAȚII DE FORAJ

DOMENIUL TEHNIC

[0001] Această dezvăluire se referă la sisteme cu fibre optice utilizate, de exemplu, în găurile de foraj.

FUNDAMENTE

[0002] Cablurile cu fibre optice sunt utilizate pentru a transmite lumină în comunicații pe fibră optică și detecție optică. De exemplu, în detecția optică, lumina poate reprezenta diferite tipuri de semnal, cum ar fi temperatură, presiune, deformare, accelerație și altele asemenea. În unele aplicații, detecția optică poate fi utilizată într-o gaură de foraj prin comunicația luminoasă între o sursă și senzori sau dispozitive de acționare din adânc (sau ambele). Cablurile cu fibre optice pot fi încastrate în tubajul găurii de foraj sau pot fi rulate în jos în gaura de foraj cu o unealtă de puț (de exemplu un șir de unelte de jurnalizare într-un șir de țevi de foraj). Pe măsură ce lumina trece printr-un cablu de fibră optică, unii fotoni sunt pierduți în atenuarea naturală a fibrei prin imperfecțiuni, impurități și procese de împrăștiere naturală. Rata cu care sunt pierduți fotonii depinde de factori incluzând lungimea de undă, pătrunderea hidrogenului și pierderile de curbură. Pierderea fotonilor afectează lungimea de undă a luminii disponibile în adânc pentru aplicații de detecție.

SCURTĂ DESCRIERE A DESENELOR

[0003] FIG. 1 ilustrează un exemplu de sistem pentru producerea luminii de spectru larg într-o gaură de foraj.

[0004] FIG. 2 ilustrează un exemplu de sistem pentru producerea luminii de spectru larg într-o gaură de foraj.

[0005] FIG. 3 este o diagramă de proces a unui exemplu de sistem pentru producerea luminii de spectru larg într-o gaură de foraj.

[0006] Numere de referință și denumiri similare în diferitele desene indică elemente similare.

DESCRIERE DETALIATĂ

[0007] Prezenta dezvăluire se referă la generarea luminii de spectru larg în adânc pentru aplicațiile din găurile de foraj. Lumina de spectru larg poate fi potrivită pentru aplicații de detecție în amplasamente aflate la distanță, de exemplu în adânc. Lumina în spectrul de 2–3 μm este potrivită pentru aplicațiile de detecție chimică. Totuși, se poate să nu fie fezabilă transmiterea acestei lumini de spectru larg pe distanțe lungi, de exemplu pe adâncimea unei găuri de foraj, deoarece efectele care afectează lungimea de undă pot degrada profilul spectral. Lumina la o lungime de undă mai mare de 1600 nm suferă deseori pierderi la o rată care face dificilă transmiterea luminii pe distanțe lungi, de exemplu de ordinul a câțiva kilometri. Deoarece lumina de spectru larg nu poate fi transmisă în amplasamente din adânc fără atenuare, este posibil ca lumina să nu fie disponibilă pentru anumite aplicații de detecție în amplasamentele aflate în adânc.

[0008] Prezenta dezvăluire descrie tehnici pentru crearea și transmiterea unui impuls de lumină către un amplasament din adânc, și apoi lărgirea impulsului de lumină în adânc într-o bandă largă la amplasamentul din adânc. Chiar dacă sunt descrise în contextul unei găuri de foraj, tehnicile descrise aici pot fi aplicate în orice mediu în care lumina de spectru larg este aplicată într-un amplasament care este la distanță față de sursa de lumină. Este generată lumină la o lungime de undă care poate fi transmisă pe distanțe lungi fără o atenuare semnificativă, și aceasta este transmisă către un amplasament aflat în adânc. La amplasamentul aflat la distanță, lumina este convertită într-o lungime de undă de spectru larg. Astfel, lumina de spectru larg poate fi făcută disponibilă fără o atenuare semnificativă la amplasamentele aflate în adânc. Transmiterea de lumină de spectru larg în adâncime poate permite efectuarea de operațiuni în adânc, de exemplu spectrometrie în adânc și alte tehnici de detecție, în care este aplicată lumină la lungimi de undă în afara domeniului infraroșu.

[0009] Așa cum se descrie mai jos, fibrele amplificatoare, care constau din fibre optice dopate cu ioni din pământuri rare, sunt pompate la o anumită lungime de

undă, cunoscută ca excitând ionii. Un impuls de lumină sursă este trecut prin această fibră la o energie a fotonilor care este egală cu diferența dintre stările excitată și fundamentală ale dopantului, conducând la o emisie stimulată care conduce la o amplificare a impulsului de lumină sursă într-un prim spectru de lungimi de undă. Impulsul de lumină sursă intens și coerent este lărgit la un al doilea spectru de lungimi de undă, care este mai larg decât primul spectru de lungimi de undă, utilizând materiale optice înalt neliniare, de exemplu fibre din cristale fotonice. Lărgirea poate fi obținută, de exemplu, prin împrăștiere Raman stimulată și auto-modulare/în fază transversală care conduce la lărgire.

[0010] Figurile 1 și 2 ilustrează un exemplu de sistem pentru producerea luminii de spectru larg într-o gaură de foraj subterană 102. Așa cum se descrie mai sus, lumina de spectru larg poate fi potrivită pentru aplicații de detecție la amplasamentele de adâncime dintr-o gaură de foraj, aflate la distanță. Figurile 1 și 2 ilustrează un exemplu de sursă laser care este dispusă într-un amplasament (de exemplu la suprafață, în afara găurii de foraj) care este la distanță de amplasamentul sau amplasamentele la care este utilizată lumina de spectru larg, de exemplu pentru aplicații de detecție. Transmiterea luminii de spectru larg de la amplasamentul sursei laser la amplasamentele din adânc, aflate la distanță, fără atenuare (sau cu un nivel acceptabil de atenuare) a luminii de spectru larg poate fi costisitoare. Alternativ sau suplimentar, o astfel de transmisie poate necesita sisteme de fibre optice nestandard, surse laser nestandard, alte echipamente nestandard sau combinații ale acestora. Așa cum se descrie mai jos, sursa laser de la suprafață, în afara găurii de foraj 102, produce un impuls de lumină sursă care este amplificat spre adânc și apoi lărgit în lumină de spectru larg care este utilizată la amplasamentele de adâncime, aflate la distanță. Aceasta poate elimina problemele de atenuare a semnalului.

[0011] Figurile 1 și 2 prezintă un exemplu de amplasament al sursei laser și un exemplu de amplasament de detecție în adânc, aflat la distanță, unde este utilizată lumina de spectru larg. În unele implementări, sursa laser poate fi dispusă în interiorul găurii de foraj 102, de exemplu între suprafață și amplasamentele din adânc, aflate la distanță, în care este utilizată lumina de spectru larg. FIG. 3 este o diagramă de proces a unui exemplu de proces 300 pentru producerea luminii de bandă largă în gaura de foraj 102 care include un tubaj 104. La 302, un impuls de lumină sursă este produs la o primă lungime de undă și, la 304, este transmis în

adânc. Așa cum se descrie mai jos, impulsul de lumină sursă la primul spectru de lungimi de undă este convertit în lumină la un al doilea spectru de lungimi de undă care are un domeniu mai larg decât primul spectru de lungimi de undă.

[0012] Un generator de impuls laser 108 aflat la suprafață poate produce impulsul laser sursă. La 306, este generată lumină cu un al treilea spectru de lungimi de undă la suprafața pământului, în afara găurii de foraj 102. În unele implementări, sursa laser 106 include un laser 202, de exemplu un laser cu undă continuă de 50 W, cu o lungime de undă de 1064, pentru a genera o primă lumină și un laser 204, de exemplu un laser cu impulsuri de 30 ns, cu 2,0 μm și un vârf de 30 W, pentru a genera o a doua lumină. Un combinator 206, de exemplu un combinator cu armătură dublă, recepționează și combină prima lumină și cea de-a doua lumină în lumină având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă. În unele implementări, primul spectru de lungimi de undă este o undă continuă de substanțial 800 nm sau substanțial 1 μm până la 1,08 μm . Chiar dacă descrierea se referă la două lasere, în alte cazuri se poate utiliza un laser sau se pot utiliza mai mult de două lasere pentru a genera lumina la primul spectru de lungimi de undă.

[0013] La 308, lumina având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă este transmisă în adânc în gaura de foraj 102. Lumina pompată este transmisă de la sursa laser 106 de-a lungul unui cablu de fibră optică 110. De exemplu, cablul de fibră optică 110 poate include o fibră de 9/105/125 cu armătură dublă 207. În unele implementări, cablul de fibră optică 110 poate fi dispus într-un tub metalic, de exemplu o fibră în tub metalic (FIMT).

[0014] La 310, impulsul de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă este transmis în adânc și este amplificat, la amplasamentul din adânc, utilizând lumina având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă. Așa cum se descrie mai sus, impulsul de lumină sursă are o energie a fotonilor egală cu diferența dintre stările excitată și fundamentală ale dopantului din cablul de fibră optică 110 conducând la o emisie stimulată care amplifică impulsul de lumină sursă. În unele implementări, un modul de adâncime 112 este dispus în amplasamentul din adânc pentru a recepționa impulsul de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă. Pentru a obține generarea supercontinuuă, puterea de vârf a luminii care părăsește modulul de adâncime 112 poate fi de peste un kilowatt. Sursa laser 106

poate avea suficientă putere pentru a obține această generare supercontinuă. În unele implementări, nivelul de vârf al puterii sursei laser poate fi între 30 W și 100 W.

[0015] Modulul de adâncime 112 include un amplificator 114 și un cablu de fibră optică 116, care prezintă o absorbție puternică în cel de-al treilea spectru de lungimi de undă. De exemplu, amplificatorul 114 poate fi un amplificator cu fibră dopată cu tului (TDFA) 208, iar cablul de fibră optică 116 poate fi o fibră cu armătură dublă dopată cu tului. Atunci când impulsul de lumină sursă este livrat amplificatorului 114, va avea loc emisia stimulată crescând puterea impulsului de lumină sursă la primul spectru de lungimi de undă de la prima putere la o a doua putere care este mai mare decât prima putere. În unele implementări, toată fibra dopată cu tului poate fi continuată în interiorul amplificatorului 114. Cablul de fibră optică 116 poate livra lumină unui convertor 117 (descriș mai jos) pentru lărgire. În aceste implementări, nu este necesară o dopare specială a cablului de fibră optică 116.

[0016] În unele implementări, TDFA 208 poate include un izolator 210 și o grilă Bragg pentru fibră (FBG) 212 pentru a îmbunătăți performanța prin reflectarea luminii având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă pentru a face mai multe treceri între TDFA 208 și sursa laser 106 prin zona fibrei active 214. FBG poate fi o FBG modulată sau o FBG naturală, care are un spectru de reflexie mai îngust decât cel al FBG modulate. Zona fibrei active 214 poate include o lungime, de exemplu 10 m, de fibră 9/105/125 dopată cu tului+. Cablul de fibră optică din zona fibrei active 214 poate include de asemenea orificii pentru aer. Exemplul de sistem din Figurile 1 și 2 prezintă un singur etaj de amplificare. Unele implementări pot include mai multe etaje de amplificare. De exemplu, o ieșire a unui prim etaj de amplificare poate fi folosită ca impuls de lumină sursă pentru un al doilea etaj de amplificare, care include o sursă laser și o fibră optică corespunzătoare.

[0017] La 312, domeniul impulsului de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă poate fi lărgit în lumină având un al doilea spectru de lungimi de undă care este mai larg decât primul spectru de lungimi de undă. Un convertor 117 este dispus în amplasamentul din adânc pentru a recepționa lumina amplificată, de exemplu impulsul de lumină sursă având lungimea de undă de 2 μm , de la amplificatorul 114 și pentru a converti impulsul de lumină sursă în lumină având cel de-al doilea spectru de lungimi de undă prin lărgirea luminii având primul spectru de lungimi de undă în

mod supercontinuu. Pentru a converti lumina, convertorul 117 poate include o fibră din cristal fonic (PCF) 216 de lungime corespunzătoare și dispersie zero la lungimea de undă de substanțial 2 μm . Pot fi implementate diferite fibre din cristale fonice pentru a converti lumina pe baza diferiților gradienti ai indicelui fibrelor. În unele implementări, cel de-al doilea spectru de lungimi de undă poate fi deplasat către un al patrulea spectru de lungimi de undă care este diferit de cel de-al doilea prin deplasarea unei frecvențe a luminii având cel de-al doilea spectru de lungimi de undă pentru a obține domeniul dorit, adică lumină având cel de-al doilea spectru de lungimi de undă. Frecvența poate fi deplasată în sus sau în jos. Cel de-al patrulea spectru de lungimi de undă poate să aibă sau nu același domeniu ca și cel de-al doilea spectru de lungimi de undă, dar va avea un domeniu mai mare decât primul spectru de lungimi de undă.

[0018] Cu configurația descrisă aici, o putere de vârf în impuls de 1 kW poate fi furnizată convertorului 117 pentru a genera lumină de spectru larg având o lungime de undă care este de între două și patru ori mai mare decât o lungime de undă a impulsului de lumină sursă transmis în adânc de la sursa laser 106 la o distanță de până la 5 km de sursa laser 106. De exemplu, pentru un prim spectru de lungimi de undă de aproximativ 800 nm, cel de-al doilea spectru de lungimi de undă al luminii de spectru larg poate fi în domeniu de la 2 μm până la 3 μm . Lumina de spectru larg care iese din convertorul 117 este trecută printr-un cablu de fibră optică de ieșire 118 și livrată unei ținte 120, de exemplu un senzor optic dispus la adâncime la un amplasament al tubajului 104. Lumina împrăștiată înapoi de către ținta 120 poate fi transmisă către suprafață, de exemplu către un spectrometru (care nu este prezentat) care recepționează și evaluează lumina împrăștiată înapoi.

[0019] Alegerea primului spectru de lungimi de undă poate depinde de dopantul din cablul de fibră optică prin care este transmisă lumina în adânc, către amplasamentul aflat la distanță. Lungimea de undă de 800 nm este aleasă pentru fibra dopată cu tuluiu. Se poate alege o lungime de undă diferită pentru cabluri de fibră optică având dopanți diferiți, de exemplu 1150 nm pentru fibra dopată cu holmiu.

[0020] Inversia completă poate fi obținută prin utilizarea unei puteri de pompare mai mici de 300 mW/m la 1064 nm datorită absorbției slabe la această lungime de undă. Această valoare corespunde unei energii stocate de aproximativ 8 $\mu\text{J}/\text{m}$ cu concen-

trații de dopant de substanțial 1000 ppm. La o eficacitate de 30% a conversiei, o fibră de 10 m va furniza 24 μ J sau 800 W putere de vârf într-un impuls de 30 nm, cu condiția ca puterea impulsului de lumină sursă inițial să fie de magnitudine suficientă, de exemplu cu un vârf de câțiva wați. În unele implementări, pot fi încorporate tehnici de suprimare Raman pentru a diminua deplasarea energiei fotonilor în afara benzii de absorbție a tuluiului, obținându-se o eficacitate a conversiei la putere mai mică.

[0021] Au fost descrise un număr de implementări. Cu toate acestea, se va înțelege că se pot face diferite modificări fără îndepărtarea de la spiritul și domeniul de acoperire al dezvoltării.

CEEA CE SE REVENDICĂ ESTE

1. Sistem pentru producerea de lumină de spectru larg într-o gaură de foraj, sistemul cuprinzând:

o sursă laser care produce un impuls de lumină sursă având un prim spectru de lungimi de undă; și

un convertor configurat pentru a fi recepționat într-o gaură de foraj, sursa laser adaptată pentru a fi poziționată la distanță de convertor, convertorul pentru a recepționa impulsul de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă și a genera lumină la un al doilea spectru de lungimi de undă care are un domeniu mai larg decât cel al primului spectru de lungimi de undă.

2. Sistem conform revendicării 1, în care sursa laser este configurată pentru a fi poziționată în afara găurii de foraj.

3. Sistem conform revendicării 2, în care impulsul de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă are o primă putere, sistemul cuprinzând mai departe un amplificator configurat pentru a fi recepționat în adânc, amplificator care amplifică impulsul de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă la o a doua putere mai mare decât prima putere, în care convertorul lărgeste impulsul de lumină sursă având cea de-a doua putere în lumină având cel de-al doilea spectru de lungimi de undă.

4. Sistem conform revendicării 3, cuprinzând mai departe un cablu de fibră optică incluzând un miez interior și un miez exterior pentru a transporta impulsul de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă prin miezul interior și o lumină având o a treia lungime de undă prin miezul exterior.

5. Sistem conform revendicării 3, cuprinzând mai departe o sursă laser la suprafață pentru a produce lumina la cea de-a treia lungime de undă, în care cablul de fibră optică este configurat pentru a absorbi lumina la cea de-a treia lungime de undă pentru a amplifica impulsul de lumină sursă.

6. Sistem conform revendicării 5, în care sursa laser care produce lumină la cea de-a treia lungime de undă include un prim laser pentru a genera o primă lumină, un al doilea laser pentru a genera o a doua lumină, și un combinator pentru a combina

prima lumină și cea de-a doua lumină în lumină având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă.

7. Sistem conform revendicării 5, cuprinzând mai departe o grilă Bragg pentru fibră pentru a reflecta lumina la cea de-a treia lungime de undă pentru a face mai multe treceri între amplificator și sursa laser pentru a produce lumina la cea de-a treia lungime de undă.

8. Sistem conform revendicării 3, în care cablul de fibră optică este dopat cu un ion de pământ rar configurat pentru a absorbi lumina la cea de-a treia lungime de undă.

9. Sistem conform revendicării 8, în care cablul de fibră optică include o fibră de 9/105/125 cu armătură dublă dispusă într-un tub metalic.

10. Metodă de producere a luminii de spectru larg într-o gaură de foraj, metoda cuprinzând:

generarea unui impuls de lumină sursă având un prim spectru de lungimi de undă în afara unei găuri de foraj;

transmiterea impulsului de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă către un amplasament în adânc în interiorul găurii de foraj; și

la amplasamentul din adânc, conversia impulsului de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă în lumină având un al doilea spectru de lungimi de undă care are un domeniu mai mare decât primul spectru de lungimi de undă.

11. Metodă conform revendicării 10, în care impulsul de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă are o primă putere, metoda cuprinzând mai departe:

amplificarea, în adânc, a impulsului de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă la o a doua putere mai mare decât prima putere; și

lărgirea impulsului de lumină având cea de-a doua putere în lumină având cel de-al doilea spectru de lungimi de undă.

12. Metodă conform revendicării 11, în care cel de-al doilea spectru de lungimi de undă este substanțial de două până la patru ori mai mare decât primul spectru de lungimi de undă.

13. Metodă conform revendicării 11, în care lărgirea impulsului de lumină sursă având cea de-a doua putere în lumină având cel de-al doilea spectru de lungimi de undă cuprinde lărgirea impulsului de lumină sursă având cea de-a doua putere într-un mod supercontinuu.

14. Metodă conform revendicării 11, cuprinzând mai departe recepționarea impulsului de lumină sursă având primul spectru de lungimi de undă și luminii având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă utilizând o fibră optică dopată care prezintă absorbție la cel de-al treilea spectru de lungimi de undă.

15. Metodă conform revendicării 14, cuprinzând mai departe producerea luminii având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă, în care impulsul de lumină sursă este amplificat pentru a genera lumină având cea de-a doua putere ca răspuns la o absorbție a luminii având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă de către fibra optică dopată.

16. Metodă conform revendicării 14, cuprinzând mai departe reflectarea luminii având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă utilizând o grilă Bragg pentru fibră înainte de amplificarea impulsului de lumină sursă.

17. Metodă conform revendicării 14, cuprinzând mai departe transmiterea luminii având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă printr-un miez exterior al unui cablu de fibră optică și a impulsului de lumină sursă printr-un miez interior al cablului de fibră optică către fibra optică dopată.

18. Metodă conform revendicării 14, în care generarea luminii având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă la suprafață cuprinde:

generarea unei prime lumini;

generarea unei a doua lumini; și

combinarea primei lumini și celei de-a doua lumini în lumină având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă.

19. Sistem pentru producerea luminii de spectru larg într-o gaură de foraj, sistemul cuprinzând:

un generator de impuls laser adaptat pentru a fi poziționat la o suprafață în exteriorul găurii de foraj, care produce un impuls de lumină sursă având un prim spectru de lungimi de undă, impulsul de lumină sursă având o primă putere;

o sursă laser pentru a genera o lumină având un al treilea spectru de lungimi de undă de lungime de undă mai mică decât primul spectru de lungimi de undă;

un amplificator de adâncime pentru a amplifica impulsul de lumină sursă într-un impuls având primul spectru de lungimi de undă, impulsul având o a doua putere care este mai mare decât prima putere; și

un convertor de adâncime adaptat pentru a fi poziționat în adânc în interiorul găurii de foraj, convertorul de adâncime lărgind impulsul având cea de-a doua putere în lumină având o a doua lungime de undă care are un domeniu mai mare decât impulsul având primul spectru de lungimi de undă.

20. Sistem conform revendicării 19, cuprinzând mai departe o fibră optică dopată care prezintă absorbție în cel de-al treilea spectru de lungimi de undă, fibră optică dopată fiind conectată la amplificatorul de adâncime pentru a recepționa lumina având cel de-al treilea spectru de lungimi de undă.

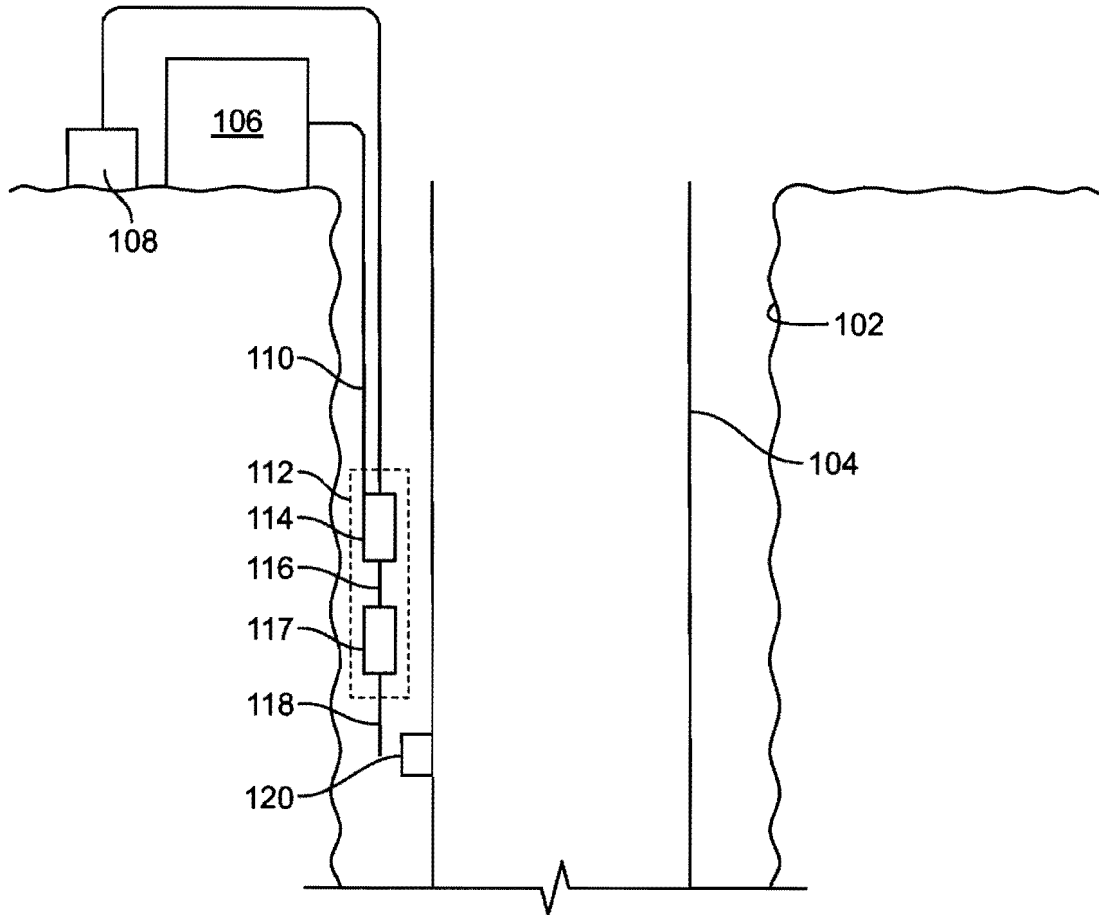


FIG. 1

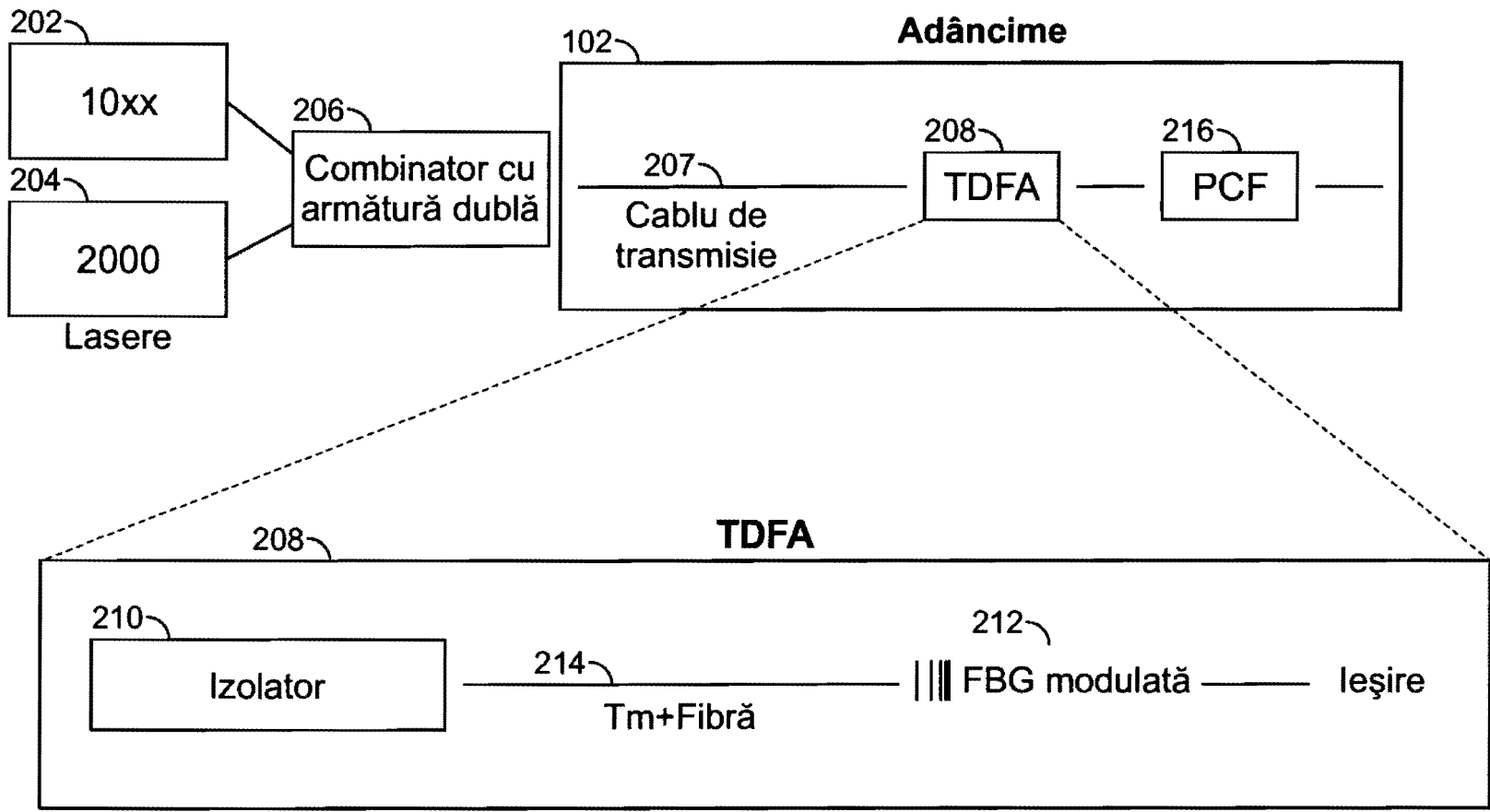


FIG. 2

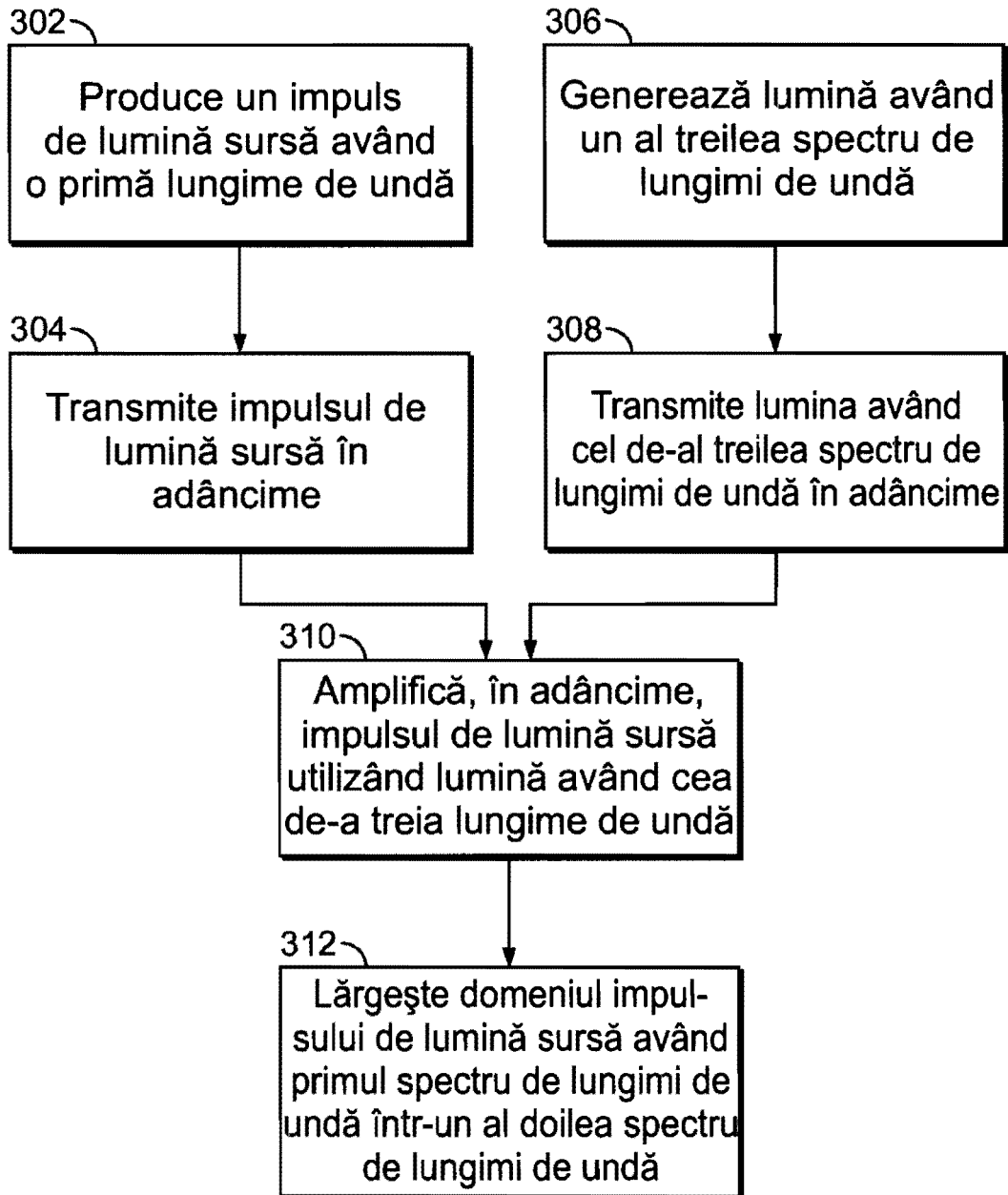


FIG. 3