



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **303604**

(13) B1

(51) Int Cl⁶ H 01 S 3/06, H 04 B 10/17

Patentstyret

(21) Søknadsnr	19910237	(86) Int. inng. dag og	
(22) Inng. dag	21.01.1991	søknadsnummer	
(24) Løpedag	21.01.1991	(85) Videreføringsdag	
(41) Alm. tilgj.	23.07.1991	(30) Prioritet	22.01.1990, IT, 19128/90
(45) Meddelt dato	03.08.1998		

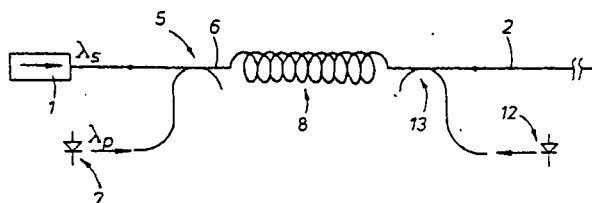
(73) Patenthaver	Pirelli Cavi SpA, Piazzale Cadorna, 5, I-20123 Milano, IT
(72) Oppfinner	Giorgio Grasso, Monza, IT Aldo Righetti, Milano, IT Fausto Meli, Piacenza, IT
(74) Fullmektig	Tandbergs Patentkontor AS, 0306 Oslo

(54) Benevnelse **Optisk effektforsterker med dopet aktiv fiber**

(56) Anførte publikasjoner NO B 179599
IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol. 1, nr. 9, september 1989, s. 267-269, IEEE, New York, US; P.C. Becker m.fl.: "High-gain and high-efficiency..."
OPTICS LETTERS, vol. 14, nr. 18, 15.09.89, s. 1002-1004, Optical Society of America; W.L. Barnes m.fl.: "High-Quantum-efficiency..."

(57) Sammendrag

En optisk effektforsterker, særlig for telekommunikasjonsledninger (2) med optiske fibrer, og av den type som omfatter en aktiv fiber (8) som er dopet med et fluorescerende stoff, særlig erbium, og som pumpes med en pumpende laser (7) med en avgitt effekt ved en bølglengde på 980 nm, hvor den aktive fiber (8) inneholder Al_2O_3 som brytningsindeksmodifiserende dopingsmiddel. Forsterkeren oppviser en særlig høy forsterkningsvirkningsgrad, nær opptil den maksimale teoretiske virkningsgrad.



Oppfinnelsen angår en optisk effektforsterker omfattende en aktiv, dopet fiber som inneholder Al_2O_3 som brytningsindeksmodifiserende dopingsmiddel, og erbium som fluorescerende dopingsmiddel i kjernen, som forsynes med pumpelys fra én eller
5 to pumpelasere via en dikroisk kopler, og som forbinder en overføringssignalsender med en fiberoptisk telekommunikasjonsledning.

For signaloverføring over lange avstander via en telekommunikasjonsledning med en optisk fiber er det nødvendig
10 at de samme signaler når frem til den mottakende stasjon med et tilstrekkelig nivå til å tillate gjenkjennelse og anvendelse. Da det ved utbredelsen i en optisk fiber skjer en demping av lyssignalet, må det signal som opprinnelig innføres i fiberen, ha høyest mulig nivå for å oppnå et signal med tilstrekkelig nivå
15 på den mottakende stasjon som ligger flere titalls eller hundretalls kilometer borte.

De lasere som benyttes for generering av overførings-signalet, har imidlertid noe begrenset effekt, ikke mer enn noen mW, mens mer kraftfulle lasere ikke er i stand til å generere
20 sådanne signaler. Man har således den krevende situasjon å benytte effektforsterkere for å motta det signal som genereres av laseren, og for å forsterke det opp til det ønskede nivå.

Det er kjent at optiske fibrer med kjerner som er dopet med spesielle stoffer, f.eks. sjeldne jordartioner, oppviser
25 egenskaper med stimulert utgangseffekt som er egnet for å benyttes i optiske forsterkere.

Sådanne fibrer kan i virkeligheten forsynes med en lyskilde, kalt "pumpende kilde", på en spesielle bølgelengde, i overensstemmelse med en topp av absorpsjonsspektret til dopingsstoffet, som er i stand til å bringe atomene i dopingsstoffet til
30 en eksitert energitilstand, eller et pumpebånd, fra hvilket de samme atomer på meget kort tid spontant faller tilbake til en lasereffekttilstand hvor de forblir i forholdsvis lengre tid.

Når en fiber som har et høyt antall atomer i den eksiterte tilstand i emisjonsnivået, krysses av et lyssignal med
35 en bølgelengde som svarer til en sådan laseremisjonstilstand, forårsaker signalet overgang av de eksiterte atomer til et lavere nivå, med lysemisjon som har den samme bølgelengde som signalet. En fiber av denne type kan derfor benyttes til å oppnå en

forsterkning av et optisk signal.

Spesielt er det godt kjent optiske forsterkere som benytter erbium som laseremisjons-dopingsmiddel, og som gjør bruk av fluorescensen til erbium rundt 1550 nm for forsterkning av et signal i dette område i hvilket man har de beste overføringsegenskaper for linjefiberen sett fra synspunktet med demping av signalet.

Optiske effektforsterkere som benytter fibrer som er dopet med erbium, er beskrevet i "Proceeding ECOC (European Conference on Optical Communication) 1989", side 42-43. Dette dokument beskriver en effektforsterker som benytter fibrer av kisel som er dopet med germanium og erbium, pumpet med en Nd-YAG-laser som er doblet i frekvens til 532 nm.

En sådan forsterker oppviser imidlertid en meget lav forsterkningsvirkningsgrad (beregnet som forholdet mellom effekten av overføringssignalet som utmates, og den tilførte pumpeeffekt) som er lavere enn 20 %, meget langt fra den maksimale, teoretiske virkningsgrad.

Fra EP-A-0 345 957 (NO 179 599) er det kjent fibrer av typen Al/Er, i hvilke det dopingsmiddel som benyttes til å oppnå brytningsindeksprofilen som er egnet til å lede lyset, er Al_2O_3 . Fibrene er egnet for optiske forsterkere som pumpes ved en bølgelengde på 514,5 nm, f.eks. med en argonlaser.

Ifølge det nevnte patentskrift viser Al-Er-fibrene seg å være å foretrekke fremfor de tradisjonelle Ge/Er-fibrer dersom de pumpes ved den angitte bølgelengde på 514,5 nm, på grunn av at de i den eksiterte tilstand unngår absorpsjonsfenomener som forekommer i Ge/Er-fibrene ved denne bølgelengde.

I OPTICS LETTERS, vol. 14, nr. 18, 15. september 1989, s. 1002-1004, Optical Society of America; W. L. Barnes m.fl.: "High-quantum-efficiency Er^{3+} fiber laser pumped at 980 nm", er det beskrevet en erbiumdopet kisel-fiberlaser som inneholder Al_2O_3 og P_2O_5 som pumpes ved en bølgelengde på 980 nm, og ikke en fiberoptisk forsterker. En laser er imidlertid en anordning som arbeider på en helt forskjellig måte i forhold til arbeidsmåten for en optisk forsterker.

I IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol. 1, nr. 9, september 1989, s.267-269, IEEE, New York, US; P.C. Becker m.fl.: "High-gain and high-efficiency diode laser pumped fiber amplifier

at 1.56 μm ", er det beskrevet en fiberoptisk forsterker omfattende en optisk fiber som er dopet med erbium, aluminiumoksid (Al_2O_3) og germaniumoksid (GeO_2), og som pumpes ved hjelp av en laserdiode ved en bølgelengde på 1480-1490 nm. Forsterkeren har
5 en virkningsgrad på 0,66 dB/mW (dvs. 66 %) ved en pumpebølgelengde på 1480 nm, med et signal med en bølgelengde på 1560 nm. En slik verdi ligger langt fra den maksimale, teoretiske virkningsgrad, dvs. "kvantevirkningsgraden", som er $\lambda_p/\lambda_s = 1480/1560 = 0,95$ (dvs. 95 %).

10 For å oppnå en høy forsterkningsvirkningsgrad, er det på den annen side hensiktsmessig å benytte forholdsvis høye pumpebølgelengder, spesielt er bølgelengden på 980 nm brukbar, på grunn av at forsterkningsvirkningsgraden i en effektforsterker er i hovedsaken proporsjonal med pumpebølgelengden.

15 Formålet med oppfinnelsen er å tilveiebringe en effektforsterker som har en høy forsterkningsvirkningsgrad i overensstemmelse med forholdsvis høye pumpebølgelengder, vesentlig høyere enn 520 nm.

Ovennevnte formål oppnås med en optisk effektforsterker
20 av den innledningsvis angitte type som ifølge oppfinnelsen er kjennetegnet ved at senderen tilveiebringer et inngangssignal med høy effekt til fiberen, slik at forsterkeren arbeider under metningsforhold for det stimulerte utgangssignal fra det fluorescerende dopingsmiddelmaterialer, og at pumpelaserne har en
25 pumpebølgelengde på 980 nm.

Erbiumkonsentrasjonen i fiberen, uttrykt i vekt av Er_2O_3 , ligger mellom 30 og 2000 ppm, og fortrinnsvis mellom 30 og 1000 ppm.

Den aktive fiber kan være monomodal ved bølgelengden
30 for overføringssignalet, men ikke ved pumpebølgelengden, for å ha en høy pumpeeffekt inne i hele avsnittet av den samme fiber.

Alternativt kan den aktive fiber være monomodal ved bølgelengden for overføringssignalet og ved pumpebølgelengden, for å redusere koplingstapene med pumpelaserens dikroiske kopler.

35 I en foretrukket utførelse inneholder den optiske effektforsterker ifølge oppfinnelsen to pumpelaser som er koplet til de to ender av den aktive fiber via respektive dikroiske koplere som er orientert med innmatingsretningen til den lyseffekt som avgis av pumpelaseren, rettet mot den aktive fiber.

Oppfinnelsen skal beskrives nærmere i det følgende under henvisning til tegningene, der fig. 1 viser et riss av en optisk telekommunikasjonsledning med en effektforsterker, fig. 2 viser et riss av en optisk effektforsterker som benytter en aktiv fiber, fig. 3 viser et diagram av energiovergangene til en fiber for en forsterker ifølge risset på fig. 2, som er egnet til å generere en stimulert (laser-)utgangseffekt, fig. 4 viser et diagram av utgangseffekten i forhold til pumpeeffekten i en effektforsterker som benytter en aktiv fiber ifølge oppfinnelsen, fig. 5 viser et diagram av utgangseffekten som funksjon av pumpeeffekten i en effektforsterker som benytter en aktiv fiber av Ge/Er-typen, og fig. 6 viser fluorescensspektret for en fiber ifølge oppfinnelsen og for en Ge/Er-fiber.

En telekommunikasjonsledning med optiske fibrer, som er skjematisk vist på fig. 1, omfatter vanligvis en stasjon 1 for utsendelse av overføringssignaler, en fiberoptisk ledning 2 som er egnet til å transportere de signaler som innmates i denne, over en lang avstand, og en mottakende stasjon 3 til hvilken signalene ankommer.

For å innføre i den fiberoptiske telekommunikasjonsledning 2 optiske signaler som har et innledende effektnivå som er tilstrekkelig høyt til å tillate signalene å nå frem til den mottakende stasjon 3 som er plassert flere titalls eller hundretalls kilometer på avstand fra kilden 1, og som har et akseptabelt effektnivå for følsomheten til de mottakende innretninger som er beliggende i mottaksstasjonen, på tross av den uunngåelige dempning på grunn av den lange bane inne i fiberen, blir de optiske signaler som genereres av en lasersender som er til stede i sendestasjonen 1, hensiktsmessig forsterket ved hjelp av en effektforsterker 4.

De brukbare lasere for generering av overføringssignalene, og som arbeider på den bølgelengde ved hvilken fiberens overføringsegenskaper er de beste, dvs. i overensstemmelse med det såkalte tredje vindu, rundt 1500-1600 nm, er i virkeligheten halvlederlasere som er modulerbare og har god spektraloppførsel. Sådanne lasere har imidlertid et utgangssignalnivå som er noe lavt, idet det ikke overskrider ca. 3 dBm (ca. 5 mW). Av denne grunn må det signal som de genererer, hensiktsmessig forsterkes til et høyere nivå, f.eks. opp til 15-20 dBm, før signalet

innføres i ledningen.

For å realisere en optisk forsterkning av signaler som skal innføres i en ledning med optiske fibrer for telekommunikasjon, benyttes effektforsterkere med optiske fibrer.

5 Oppbygningen av en forsterker med en optisk fiber er skjematisk vist på fig. 2. Et overføringssignal med en bølgelengde λ_s sendes til en dikroisk kopler 5 hvor det på en eneste utgående fiber 6 forenes med et pumpesignal som har en bølgelengde λ_p og genereres av en pumpende laser 7. En aktiv fiber 8
10 med passende lengde, og som er koplet til fiberen 6 som utgår fra kopleren, utgjør forsterkeren for signalet som deretter innføres på ledningsfiberen 2 for å sendes mot sitt bestemmelsessted.

En optisk forsterker av den beskrevne type sørger vanligvis for anvendelse av en optisk, aktiv fiber 8 av dopet
15 kisel i oppløsning med Er_2O_3 som bidrar til å oppnå en forsterkning av overføringssignalet, under utnyttelse av de stimulerte overganger til erbium.

Som vist i diagrammet på fig. 3, som på symbolsk måte representerer den tilgjengelige energitilstand for ett erbium-ion
20 i oppløsning i fiberens kiselholdige grunnmasse, introduserer innføringen i den aktive fiber av en lyseffekt ved pumpebølgelengden λ_p , som er lavere enn overføringssignalets bølgelengde λ_s , et visst antall ioner Er^{3+} som er til stede som dopingsstoff i fiberglassgrunnmassen i en eksitert energitilstand 9, eller
25 "pumpebånd", fra hvilket ionene spontant faller tilbake til et energinivå 10 som utgjør et laseremisjonsnivå.

I utgangslasernivået 10 kan Er^{3+} -ionene forbli i en forholdsvis lang tid før de gjennomgår en spontan overgang til grunn- eller basisnivået 11.

30 Mens overgangen fra båndet 9 til nivået 10 er knyttet til en varmeavgivelse som spres til det ytre av fiberen (fononstråling), genererer som kjent overgangen fra nivået 10 til basisnivået 11 en lysemisjon bestående av et foton med en bølgelengde som svarer til energiverdien av laseremisjonsnivået
35 10. Dersom en fiber som inneholder et stort kvantum ioner på laseremisjonsnivået, krysses av et signal med en bølgelengde som svarer til et slikt emisjonsnivå, forårsaker signalet stimulert overgang av vedkommende ioner fra emisjonsnivået til basisnivået, før deres spontane tilbakefall, som er knyttet til en tilsvarende

avgivelse av fotoner i fase med signalets fotoner, hvilket gir opphav til et "vannfall"- eller kaskadefenomen som på utgangen fra den aktive fiber frembringer utsendelse av et kraftig forsterket overføringssignal.

5 Ved tilstedeværelse av signaler på inngangen til den aktive fiber med et lavt effektnivå, for eksempel et signal som er blitt dempet etter å ha vandret en lang avstand inne i en optisk fiber, og under forhold med lave utgangseffekter, er lyseffekten P_u av overføringssignalet med bølgelengde λ_s på
10 utgangen fra den aktive fiber proporsjonal med effekten P_i av det samme signal på inngangen til fiberen, og proporsjonalitetskonstanten mellom disse er definert som forsterkningsfaktor G i overensstemmelse med relasjonen $P_u = G \cdot P_i$.

Sådanne driftsforhold er typiske for linjeforsterkere
15 som er plassert langs en optisk fiber i en telekommunikasjonsledning, for å føre tilbake til et tilstrekkelig nivå et signal som er dempet etter en viss bane i fiberen.

Ved tilstedeværelse av et inngangssignal med høy effekt og med høy utgangseffekt, vesentlig mer enn 5 % av den pumpeeffekt som innføres, arbeider den optiske forsterker under
20 metningsforhold og avgir en utgangseffekt som praktisk talt ikke lenger avhenger av inngangseffekten, men utelukkende av pumpeeffekten. Ved tilstedeværelse av et stort antall fotoner inne i den aktive fiber er i virkeligheten fiberens kapasitet til å
25 avgi nye fotoner på grunn av stimulerte overganger til lasernivået 10, begrenset av muligheten, korrelert til den innførte pumpeeffekt, til å gjøre tilgjengelig et tilstrekkelig antall erbium-ioner i lasernivået 10, og den avhenger ikke av antallet av fotoner i inngangssignalet, dvs. av inngangseffekten inn i
30 fiberen.

Sådanne driftsforhold er typiske for effektforsterkerne, og for disse har man en relasjon $P_u = K \cdot P_p$, hvor P_u er effekten på utgangen, P_p er pumpeeffekten og K en proporsjonalitetskonstant som i hovedsaken representerer forsterkerens
35 virkningsgrad.

Den maksimale virkningsgrad for forsterkeren er teoretisk den virkningsgrad som svarer til den situasjon der det for hvert foton som tilføres inne i fiberen med pumpebølgelengden λ_p , som forårsaker en overgang av dopingsmiddelet fra basisnivået

11 til lasernivået 10, forekommer en fotonemisjon, ved tilstedeværelse av et signal, med overføringsbølglengden λ_s . Slike tilstander svarer til en forsterkningsvirkningsgrad som kalles "Kvante-virkningsgrad", dvs. en virkningsgrad som er lik
5 forholdet mellom energien av fotonet på utgangen og energien av fotonet på inngangen, eller nærmere bestemt mellom bølglengden av inngangsfotonet, dvs. pumpefotonet, og bølglengden av utgangsfotonet, dvs. overføringsfotonet: $E_q = \lambda_p / \lambda_s$.

Når det dreier seg om en bølglengde av overføringssignalet på ca. 1550 nm og en pumpebølglengde på 980 nm, er
10 kvantevirkningsgraden ca. 63 % (980/1550).

For å oppnå en høy forsterkningsvirkningsgrad, er det derfor nødvendig å arbeide under tilsvarende forhold, med høy kvantevirkningsgrad, idet det benyttes pumpebølglengder som er
15 forholdsvis høye, og videre å nærme seg kvantevirkningsgraden så mye som mulig.

Spesielt gir anvendelsen av lave pumpebølglengder, vesentlig lavere enn 520 nm, en meget lav kvantevirkningsgrad (lavere enn 33 %) og en meget dårlig forsterkningsvirkningsgrad
20 selv om det, i de beste av tilfellene, benyttes forsterkere med en virkningsgrad som er lik kvantevirkningsgraden.

For realisering av en effektforsterker av den ovenfor omtalte type har man oppdaget at aktive kiselfibrer, som er dopet med Al_2O_3 for å oppnå den ønskede brytningsindeksprofil, og som
25 inneholder erbium som dopingsmiddel med laseremisjon, oppviser en meget høy virkningsgrad, nesten lik den ovenfor omtalte kvantevirkningsgrad, i overensstemmelse med pumpebølglengder som er høyere enn 520 nm, og spesielt i overensstemmelse med absorpsjonstoppen til erbium ved 980 nm.

30 De ovenfor beskrevne fibrer oppnås med teknikken med oppløsningsdoping, som er velkjent innen faget, ved hjelp av hvilken hoveddopingsmiddelet, dvs. Al_2O_3 , og det fluorescerende dopingsmiddel, dvs. Er^{3+} , innarbeides i fiberens kjerne ved nedsenkning i en vandig oppløsning, som tilsvarende inneholder
35 salter, av en rørformet forhåndsform som har ett indre sintret lag, som deretter smeltes og faller sammen, idet fiberen trekkes ut fra denne.

En beskrivelse av denne type fiber og av den tilhørende fremstillingsmetode er gitt i GB patentsøknad nr. 8813769.

For realisering av effektforsterkere ifølge den foreliggende oppfinnelse inneholder fibrene som er dopet med Al_2O_3 , en erbiummengde, uttrykt som konsentrasjon i vekt av Er_2O_3 , mellom 30 ppm og 2000 ppm, og fortrinnsvis mellom 30 og 1000 ppm.

5 Innholdet av det brytningsindeksmodifiserende dopingsmiddel, dvs. Al_2O_3 , og den radiale profil av brytningsindeksen i fiberen, kan velges på grunnlag av de spesielle anvendelseskrav og er ikke betinget av formålene med den foreliggende oppfinnelse.

Spesielt blir fiberens numeriske apertur og modusdia-
10 meter passende valgt på en slik måte at det tillates en kopling med lavt tap med linjefiberen, mens erbiuminnholdet og dets radiale fordeling i fiberen kan velges i korrelasjon med lengden av den valgte aktive fiber, inngangseffekten og liknende, i overensstemmelse med kjente kriterier.

15 Den aktive fiber er en fiber som er monomodal ved overføringsbølgelengden. Den kan være ikke-monomodal ved pumpebølgelengden, for det formål å tillate innmating i fiberen av størst mulig pumpeeffekt, fordelt i hele tverrsnittet. Anvendelsen av en fiber som er monomodal ved pumpebølgelengden
20 λ_p , kan imidlertid være hensiktsmessig for å forenkle og redusere fiberens koplingstap med den dikroiske kopler 5.

Med slike fibrer er det mulig å tilveiebringe en effektforsterker i overensstemmelse med det skjema som er vist på fig. 2 og beskrevet i den foregående beskrivelse. For det
25 formål å opprettholde en høy verdi av pumpeeffekten over hele lengden av den aktive fiber 8, og for å øke den totale pumpeeffekt som innføres i fiberen, er det hensiktsmessig mulig å tilveiebringe en andre pumpelaser 12 nedstrøms av den aktive fiber, med en tilhørende dikroisk kopler 13 orientert mot den
30 samme fiber.

Dette gjør det spesielt mulig å benytte pumpelaseren på en ikke altfor høy effekt, for ikke å få tilhørende forringelse av signalet, samtidig som hele den nødvendige effekt tilføres til den aktive fiber.

35 Anvendelsen av en fiber som er dopet med Al_2O_3 og Er^{3+} , pumpet ved 980 nm (± 5 nm), har gjort det mulig å oppnå en meget høy forsterkningsvirkningsgrad, nær opp til den foran angitte kvantevirkningsgrad, og også høyere enn 60 % av denne verdi. De tradisjonelle fibrer som er dopet med germanium, har i stedet

oppvist en meget lav virkningsgrad, lavere enn 30 % av kvantevirkningsgraden.

Fig. 4 viser et diagram av utgangseffekten P_u som funksjon av pumpeeffekten P_p for en forsterker som ble realisert ved anvendelse av en fiber ifølge oppfinnelsen (Al/Er). Fiberen hadde følgende karakteristika:

Numerisk apertur:	0,16
Erbiuminnhold (vekt av Er_2O_3):	350 ppm
Kritisk bølgelengde (λ_{kritisk}):	930 nm

Modusfeltdiameter (MFD) ved 1536 nm: 8,14 μm

Effekten av overføringssignalet, med en bølgelengde $\lambda_s = 1536$ nm, på forsterkerinngangen var $P_i = -2$ dBm, pumpebølgelengden var $\lambda_p = 980$ nm, og den aktive fiber hadde en lengde på 3,7 m.

Under slike forhold har man oppnådd en forsterkningsvirkningsgrad som er i hovedsaken lik kvantevirkningsgraden.

Til sammenlikning viser fig. 5 et diagram av utgangseffekten P_u som funksjon av pumpeeffekten P_p for en forsterker som ble realisert ved anvendelse av en tradisjonell fiber (Ge/Er). Fiberen hadde følgende karakteristika:

Numerisk apertur:	0,21
Erbiuminnhold (vekt av Er_2O_3):	300 ppm
Kritisk bølgelengde (λ_{kritisk}):	980 nm
Modusfeltdiameter (MFD) ved 1536 nm:	5,82 μm

Effekten av overføringssignalet, med en bølgelengde $\lambda_s = 1536$ nm, på forsterkerinngangen var $P_i = 0$ dBm, pumpebølgelengden var $\lambda_p = 980$ nm, og den aktive fiber hadde en lengde på 4 m.

Den oppnådde forsterkningsvirkningsgrad var i dette tilfelle 16 %, omtrent lik 25 % av kvantevirkningsgraden.

Slik det også fremkommer ved sammenlikning av diagrammene, har Al/Er-fiberen oppvist en bedre ytelse enn Ge/Er-fiberen.

En Al/Er-fiber oppviser et fluorescensspektrum som er bredere enn fluorescensspektret for en tilsvarende Ge/Er-fiber, slik det fremgår av de respektive kurver A og G på fig. 6. Dette gjør slike aktive fibrer til kilder for større støy sammenliknet med Ge/Er-fibrene, som følge av det spontane tilbakefall av erbiumionene med bølgelengder som er forskjellige fra signal-

bølgelengdene, i tilfelle de anvendes som linjeforsterkere, dvs. for lav utgangseffekt sammenliknet med pumpeeffekten.

For anvendelse som effektforsterkere har man i stedet observert at Al/Er-fibre ikke oppviser vesentlig utgangsstøy sammenliknet med Ge/Er-fibre. Man er av den oppfatning at dette skyldes det faktum at i metningstilstanden, i hvilken en effektforsterker arbeider, slik som tidligere omtalt, bringes i hovedsaken alle erbiumioner som bringes til lasernivået i Al/Er-fibre, til å falle tilbake til basisnivået ved hjelp av et foton av signalet, hvilket bekrefter forsterkningsvirkningsgraden som ligger nær kvantevirkningsgraden som oppvises av slike fibrer, og således ligger praktisk talt ikke noe ion under for spontant tilbakefall, en støyårsak, som videre viser seg å være neglisjerbart under alle omstendigheter når nivået av signalets utgangseffekt er gitt.

Utvidelsen av fiberens fluorescensspektrum har videre den fordel å tillate en større valgfrihet i overføringsbølgelengden, hvilket eksempelvis gjør det mulig å akseptere en videre produksjonstoleranse i signallaseren.

Fibrene ifølge oppfinnelsen har således vist seg å være særlig fordelaktige for anvendelse i optiske forsterkere med aktiv fiber, idet de tilbyr en forsterkningsvirkningsgrad som er vesentlig høyere enn for de kjente fibrer.

P a t e n t k r a v

1. Optisk effektforsterker omfattende en aktiv, dopet fiber (8) som inneholder Al_2O_3 som brytningsindeksmodifiserende dopingsmiddel, og erbium som fluorescerende dopingsmiddel i kjernen, som forsynes med pumpelys fra én eller to pumpelasere (7, 12) via en dikroisk kopler (5, 13), og som forbinder en overføringssignalsender (1) med en fiberoptisk telekommunikasjonsledning (2), **KARAKTERISERT VED** at senderen (1) tilveie-

bringer et inngangssignal med høy effekt til fiberen (8), slik at forsterkeren (4) arbeider under metningsforhold for det stimulerte utgangssignal fra det fluorescerende dopingsmiddel-materiale, og at pumpelaserne (7, 12) har en pumpebølgelengde på
5 980 nm.

2. Optisk effektforsterker ifølge krav 1, **KARAKTERISERT VED** at erbiumkonsentrasjonen i fiberen uttrykt i vekt av Er_2O_3 , ligger mellom 30 og 2000 ppm.

3. Optisk effektforsterker ifølge krav 2, **KARAKTERISERT**
10 **VED** at erbiumkonsentrasjonen i fiberen, uttrykt i vekt av Er_2O_3 , ligger mellom 30 og 1000 ppm.

4. Optisk effektforsterker ifølge krav 1, **KARAKTERISERT VED** at den aktive fiber (8) er monomodal ved bølgelengden for overføringssignalet, men ikke ved pumpebølgelengden.

15 5. Optisk effektforsterker ifølge krav 1, **KARAKTERISERT VED** at den aktive fiber (8) er monomodal ved bølgelengden for overføringssignalet og ved pumpebølgelengden.

6. Optisk effektforsterker ifølge krav 1, **KARAKTERISERT VED** at den omfatter to pumpelasere (7, 12) som er tilkopleet til
20 de to ender av den aktive fiber (8) via respektive dikroiske koplere (5, 13) som er orientert med inngangsretningen av den lyseffekt som avgis av pumpelaseren (7, 12), rettet mot den aktive fiber (8).

25

30

35

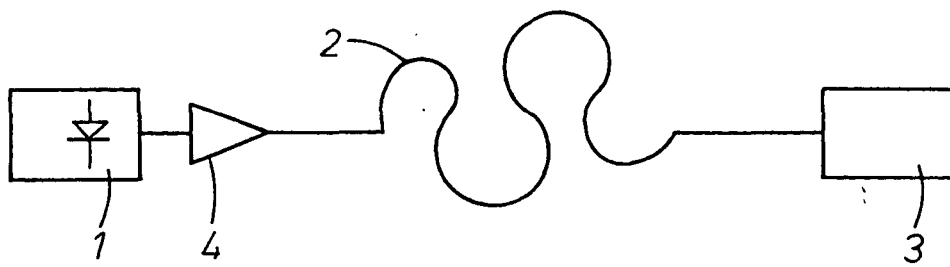


FIG. 1

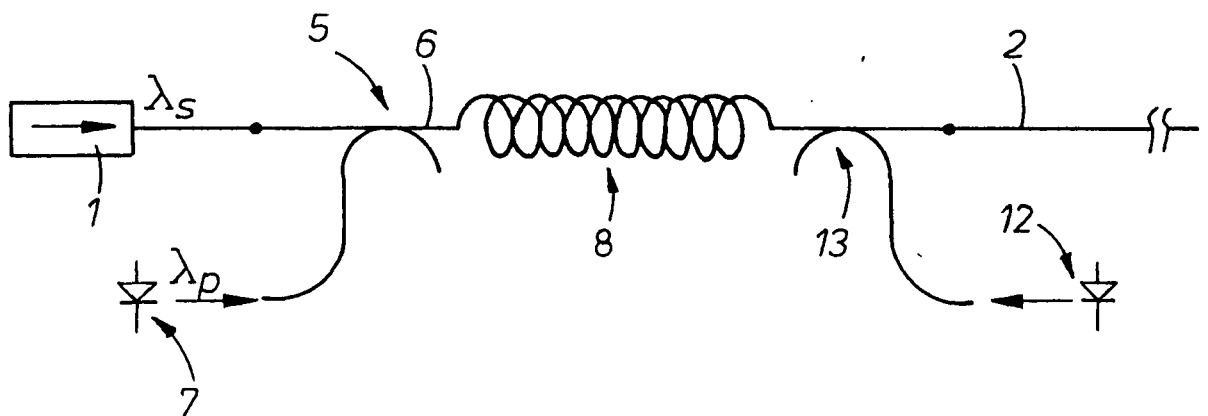


FIG. 2

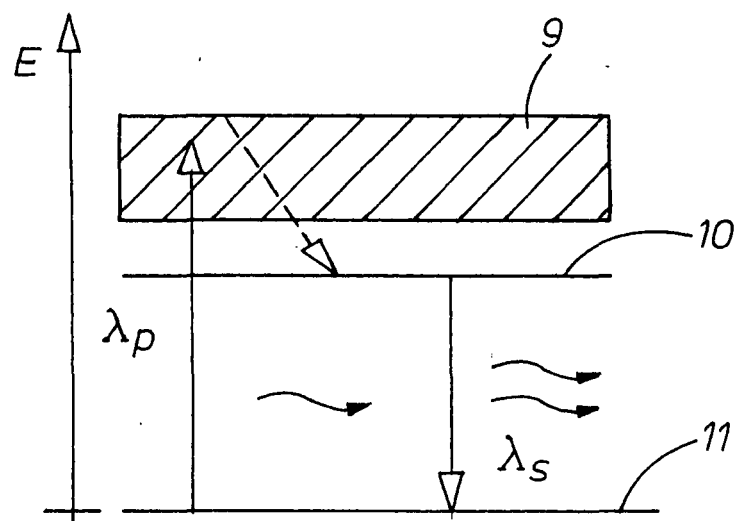


FIG. 3

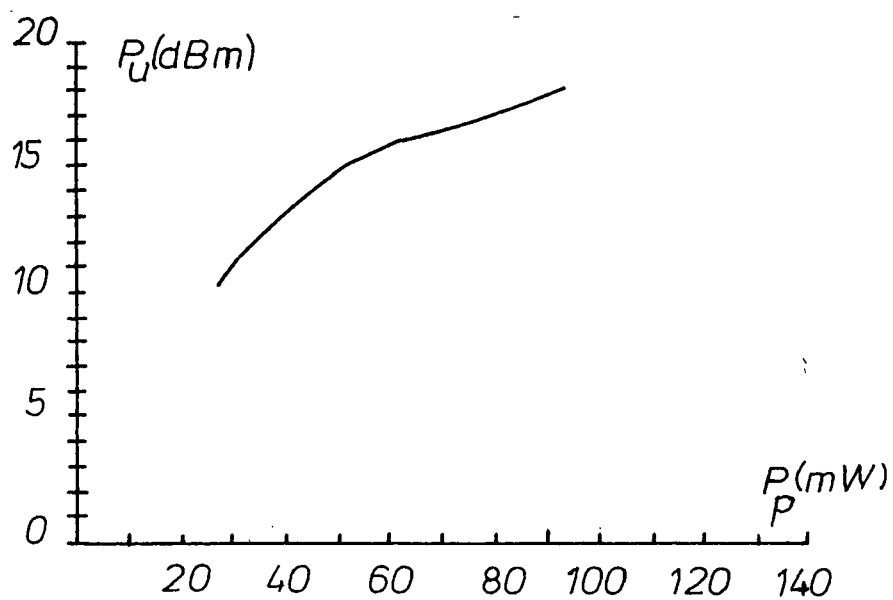


FIG. 4

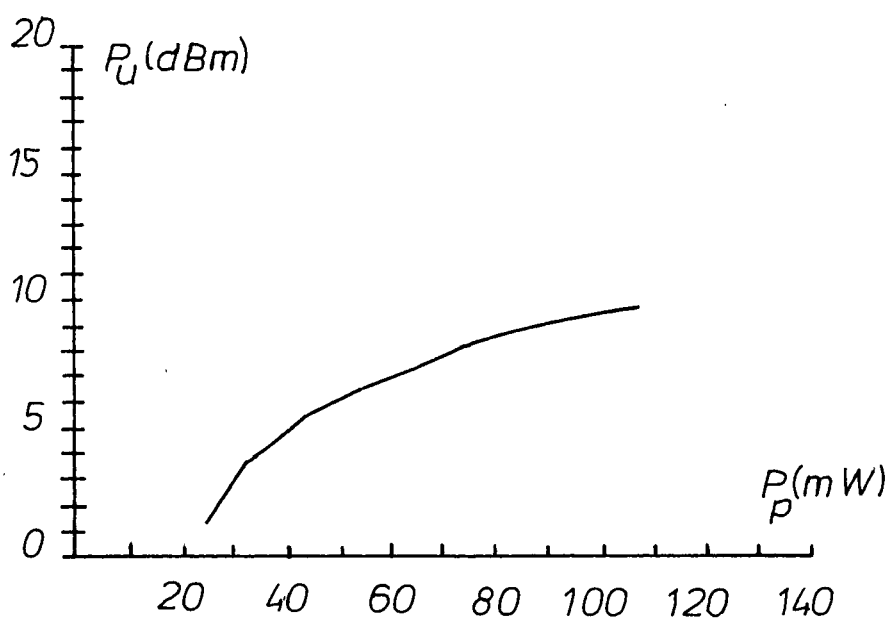


FIG. 5

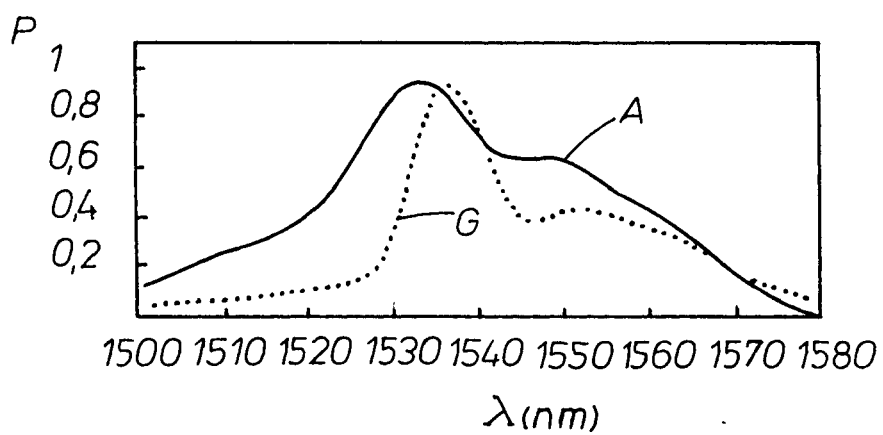


FIG. 6