



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **310125**

(13) B1

(51) Int Cl⁷ G 01 L 1/24

Patentstyret

| | | | |
|-------------------|--|--------------------------------------|-------|
| (21) Søknadsnr | 19992219 | (86) Int. inng. dag og søknadsnummer | |
| (22) Inng. dag | 1999.05.06 | (85) Videreføringssdag | |
| (24) Løpedag | 1999.05.06 | (30) Prioritet | Ingen |
| (41) Alm. tilgj. | 2000.11.07 | | |
| (45) Meddelt dato | 2001.05.21 | | |
| (71) Patenthaver | Leiv Eiriksson Nyfotek AS, Postboks 1262 Pirsenteret, 7462 Trondheim, NO | | |
| (72) Oppfinner | Leif Bjerkan, Heimdal, NO Petter Støa, Heimdal, NO | | |
| (74) Fullmektig | Dag Thrane - ABC-Patent, Siving. Rolf Chr. B. Larsen AS, 0602 Oslo | | |

(54) **Benevnelse**

System for overvåking av høyspentkabler i luftstrek

(56) **Anførte publikasjoner**

Proc. SPIE, vol. 3666,1999,USA; H.J. Kalinowski et al.: "Multiplexed fiber optic Bragg grating sensors for strain and temperature measurements in power systems", p 544-553
Proc. SPIE vol.3541,1999,USA; F.M. Araujo et al.: "Surveillance of fiber optic and electric power cables using fiber Bragg grating sensors, p 279-289
Proc. Int. Microwave and Optoelectronics Conf., 1997, vol. 1, IEEE, New York, USA; M.A. Romero et al.: "A fiber-optic Bragg grating temperature sensor for high-voltage transmission lines", p 34-38
Reza Kenkyu (Review of Laser Engineering), Vol. 26, no. 9, 1998, JP; K. Nakamura: "Diagnostic techniques using optical fibres", p 682-686
BRÖNNIMANN, R. et al. "Fiber Optical Bragg Grating Sensors Embedded in CFRP Wires" In: Proceedings of the 1999 Smart Structures and Materials-Sensory Phenomena and Measurement Instrumentation for Smart Structures and Materials SPIE, the International Society for Optical Engineering, mars 1999, Vol. 3670 side 440-449, ISSN 0277-786X
BRÖNNIMANN, R. et al. Application and reliability of a fiber optical surveillance system for a stay cable bridge. Smart materials and structures, 1998, Vol. 7, side 229-236, ISSN 0964-1726

(57) **Sammendrag**

System for overvåking av høyspentkabler (1) i luftstrek samt anvendelse av systemet til samme.

Systemet omfatter minst én optisk fiber (3) festet til kabelen (1), hvilken optiske fiber omfatter minst ett Bragg-gitter (4) med kjente refleksjonsegenskaper, en lyskilde (6) for utsendelse av lys innen et kjent bølgelengdeområde inn i den optiske fiberen, og måleinnretninger (7) for deteksjon av lys reflektert fra Bragg-gitrene (4) i fiberen (3) og for gjenkjenning av lys reflektert fra de enkelte Bragg-gitrene (4) basert på deres kjente refleksjonsegenskaper.

Den foreliggende oppfinnelsen angår et system for overvåking av høyspentkabler i luftstrek.

Luftliner til kraftforsyning er utsatt for mekaniske påkjenninger fra omgivelsene som snø- og islaster, lynnedslag, ekstreme temperaturer og vindbelastninger gitt av 5 terreng og geografiske og topografiske forhold. Kritiske vindbelastninger er ekstreme vindkast, vibrasjoner som sliter på endefester og galoppering som kan oppstå ved en kombinasjon av vind og islaster og kan forårsake kortslutninger og 10 skade på linene. Generelt kan ekstreme klimabelastninger føre til strømprudd og omfattende reparasjonsarbeider med store økonomiske konsekvenser. Et sanntids overvåkingssystem spesielt i utilgjengelige områder kan gi informasjon om at 15 liner og/eller opphengsmaster er utsatt for kritiske belastninger slik at korrektive tiltak kan utføres før større skade inntreer.

Konvensjonelle metoder for å registrere klimapåkjenninger er hittil i hovedsak basert på indirekte målinger av de søkte variablene. Enkle isrigger eller et par spenn med 20 ikke spenningssatte ledninger kombineres med konvensjonelle strekkklapper for å gi en verdi for ising i det aktuelle området. Optiske kikkerter benyttes til måling av vibrasjoner for kortere tidsperioder. Videokamera benyttes til visuell overvåking av galoppering på utvalgte punkter på ledningen. 25 Felles for disse er at de ikke måler den direkte belastningen på lina, men variable som i varierende grad er direkte relatert til denne. En av årsakene til dette er problemene med håndtering av de høye spenningene. Disse metodene er også avhengig av lokal strømforsyning. Optiske fibrer av kvartsglass er immune mot elektromagnetiske felter og signalgangen 30 påvirkes derav ikke av høyspentmiljøet. Dessuten kan de transportere signaler over lange avstander slik at en ikke er avhengig av lokal strømforsyning. Tilførselsfibrer lagt i en hensiktsmessig kabel kan enkelt spinnes rundt en kraftledning 35 på samme måte som for fibrer anvendt til kommunikasjon, noe som nå er en velkjent metode. Alternativt kan fibrer integreres i en linjekordell. Den viktigste forskjellen på eksisterende og den foreslåtte metoden for måling av klimabelastninger er imidlertid at de klimapåførte belastningene

på kraftledningen måles direkte, og ikke via variable som gir et mer eller mindre godt grunnlag for beregning av dem.

Oppfinnelsen består i en ny metode som gjør det mulig å registrere klimabelastninger på høyspent luftlinestrek.

5 Metoden er basert på fiberoptiske sensorer, fortrinnsvis Bragg-gitre. Denne typen målesystemer er beskrevet i en rekke forskjellige patentpublikasjoner, for eksempel US 5.845.033, som beskriver et fiberoptisk målesystem for overvåking av rør i olje og gass-systemer. Det optiske måle-
10 systemet omfatter en optisk fiber tvinnnet langs en skruelinje på røret. I sin lengderetning er den optiske fiberen forsynt med flere sensorer i form av Bragg-gitre innrettet til å reflektere lys ved forskjellige bølgelengder. En lyskilde sender lys over et større bølgelengdeområde inn i fiberen.
15 Siden de forskjellige Bragg-gitrene reflekterer lys ved forskjellige bølgelengder vil strekkinduserte endringer i de forskjellige gitrene angi mengden og posisjonen til det påførte strekket i form av endringer i spekteret til det reflekterte lyset. Dette systemet krever robuste løsninger
20 som har sammenheng med det svært krevende miljøet det skal benyttes i, siden sensoren skal plasseres på utsiden av rørledningen. Systemet krever dessuten dedikert utstyr tilpasset til målingene.

I internasjonal patentsøknad PCT/US94/00967 gis en mer
25 generell beskrivelse av et kjent sensorsystem av den typen som er brukt i ovennevnte US-patent, uten at noe konkret bruksområde er angitt.

Innlegging av optiske fibre løst inne i kordeller er kjent i forbindelse med overføring av telekommunikasjon langs
30 kraftliner. I andre sammenhenger er det demonstrert innbaking (P. M. Nellen et. al. "Fiber Optical Bragg Grating Sensors Embedded in CFRP Wires", Proc. SPIE Vol. 3670, pp.440-449, 1999) og overflatemontering (R. Brönniman et. al. "Application and reliability of a fiber optical system for a
35 stay cable bridge", Smart. Mater. Struct. 7, pp. 229-236, 1998) av fiberoptiske Bragg-gitre i CFRP (carbon fiber reinforced polymer) komposittmateriale for overvåking av bærekonstruksjoner i broer.

Integrering av optiske fibre med Bragg-gitre for temperaturmonitorering av grenseflata mellom leder og isolasjon er tidligere diskutert av F. M. Araujo et. al. i "Surveillance of fiber optic and electric power cables using fiber Bragg grating sensors", Proc. SPIE vol. 3541, s. 279-289. Her er det demonstrert målinger på temperaturutvikling i kablen ved ulike strømpådrag. Temperaturmonitorering av kraftkabler er også diskutert av H.J. Kalinowski et. al. i "Multiplexed fiber optic Bragg grating sensors for strain and temperature measurements in power systems", Proc. SPIE vol. 3666, s. 544-553.

Den foreliggende oppfinnelse har til hensikt å tilveiebringe et overvåkingssystem for høyspentliner som på en nøyaktig og kostnadseffektiv måte muliggjør overvåkning under varierende værforhold og på utilgjengelige steder uten bruk av følsomt utstyr plassert lokalt. Dette er oppnådd ved hjelp av et system og en anvendelse av utstyr slik som angitt i de selvstendige kravene.

Ved høyspentledninger har det i den senere tid blitt montert fiberoptiske kabler til telekommunikasjonsformål. Dette gir en ytterligere fordel ved at eksisterende utstyr kan anvendes for å montere og til en viss grad styre målesystemet, både under installasjon og drift, noe som bidrar til å redusere kostnadene og gi et kostnadseffektivt system.

Oppfinnelsen vil bli beskrevet nedenfor under henvisning til de vedlagte tegningene, som illustrerer eksempler på utførelser av denne.

- Figur 1 illustrerer et spenn i en høyspentledning påmontert et antall sensorer på valgte steder.
- Figur 2 illustrerer skjematisk en utførelse av en i og for seg kjent optisk sensoroppstilling.
- Figur 3 viser en utførelse av oppfinnelsen der den optiske fiberen er plassert inne i et rør, som fortrinnsvis er en hul kordell.
- Figur 4 viser en utførelse av et Bragg-gitter montert på en overflate.
- Figur 5 viser en fiber montert i en plastbelagt line.

Figur 1 viser en kraftkabel 1 av kjent type spent mellom to master 2. En optisk fiber 3 er montert på eller i

kraftkabelen 1 og er forsynt med et antall sensorer omfattende Bragg-gitre. Sensorene 4 er plassert på steder langs kraftkabelen 1 som erfaringsmessig er utsatt for store påkjenninger, slik at økning i strekk kan oppdages på et så tidlig stadium som mulig. I tillegg kan sensorenes plassering velges slik at de bare måler på kabelstrekk som er særlig utsatt, for eksempel lange strekk over fjordarmer der vibrasjoner er et kjent problem og i utsatte fjellstrøk der ising og galoppering er kjente problemer.

Den optiske fiberen vil på vanlig måte være dekket av en beskyttende kappe, særlig i de områdene som er utsatt for vær og vind, og kan være festet utenpå eksisterende kabler på samme måte som optiske fibrer brukt i forbindelse med telekommunikasjon, ved bruk av utstyr som er utviklet til dette formålet. Det er særlig foretrukket i forbindelse med denne oppfinnelsen at den optiske fiberen er plassert i en metallfri fiberkabel, siden det er foretrukket at målesystemet er elektrisk isolert fra høyspent-omgivelsene. Ifølge en foretrukket utførelse av oppfinnelsen blir den optiske fiberen 3 montert i selve kraftkabelen ved produksjon av denne. Sistnevnte løsning vil gi optimal beskyttelse for fibersystemet og derved redusere feilkilder grunnet skader på fiberen. Denne løsningen vil være å foretrekke for karakterisering av svingninger på kraftledningen og galoppering siden en sidespunnet fiberkabel vil påvirke kraftledningens svingninger.

I figur 1 ledes den optiske fiberen 3 bort fra kraftkabelen 1 til en sentral målestasjon 5, som fortrinnsvis er plassert sammen med annet service utstyr og lignende for systemet, for eksempel i forbindelse med en transformatorstasjon. På grunn av det lave tapet i den optiske fiberen kan den sentrale målestasjonen 5 plasseres relativt langt fra det eller de kabelstrekke som overvåkes. I denne figuren utføres målingene over ett enkelt strekk, men måling over flere strekk kan selvsagt også gjøres.

I figur 2 illustreres en i og for seg kjent måleoppstilling som kan anvendes ifølge oppfinnelsen. I den illustrerte måleoppstillingen sender en lyskilde 6, for eksempel en laser eller en superluminens-diode, lys innen et veldefin-

ert bølgelengdeområde inn i den optiske fiberen 3 via en optisk kobler 8.

Som beskrevet i de ovennevnte patentskriftene vil lys reflekteres fra Bragg-gitrene 4, og det reflekterte lyset ledet ved hjelp av kobleren 8 mot et detektorsystem 7 som måler spekteret på det reflekterte signalet. Bølgelengden på disse refleksjonene er entydig gitt av perioden på gitteret og dermed strekket som den omgivende strukturen påfører det aktuelle Bragg-gitteret. Strekkets påvirkning på Bragg-gitteret kan bestemmes på forhånd ved kalibrering. På den måten vil hvert Bragg-gitter fungere som en strekk-sensor. Dersom refleksjonene uten ekstern påvirkning av sensorene eller Bragg-gitrene 4 er kjent vil endringer kunne brukes for å detektere endringer i sensorene 4.

Bragg-gitrene kan være forsynt med forskjellige refleksjonsegenskaper, for eksempel gitt ved forskjellige gitterkonstanter, slik at hver endring kan indikere hvilken sensor og dermed hvilken posisjon langs kraftkabelen som er endret.

Alternativt kan det utsendte signalet pulses, slik at tidspunktet for den mottatte refleksjonen kan indikere posisjonen, men dette vil kreve en del filtrering av uønskede signaler siden det vil oppstå en del refleksjoner mellom Bragg-gitrene.

Fiberens ende 9 kan forsynes med midler for å unngå refleksjon tilbake til detektorsystemet 7, men siden avstanden til enden er veldefinert kan denne refleksjonen, dersom det utsendte signalet pulses, fjernes på enkel og i og for seg kjent måte i detektorsystemet.

Alternativt til løsningen vist i figur 2 kan et flertall optiske fibrer anvendes der hver omfatter én eller flere sensorer 4. Valget av løsning vil blant annet avhenge av kostnadene forbundet med håndtering av et større antall fiber målt opp mot muligheten til å skille et stort antall sensorer fra hverandre i én enkelt fiber. Den illustrerte løsningen vil normalt betraktes som den foretrukne.

I figur 3 vises én optisk fiber 3 omfattende fem sensorer 4,4A, der den optiske fiberen er montert i et rør eller en kordell 10. Fire av sensorene 4 er festet til røret, slik at de vil påvirkes av, og dermed detektere strekk

i røret. Sensorene 4 kan være festet til røret på en rekke forskjellige måter, fortrinnsvis ved bruk av epoxylim. Som nevnt ovenfor er innlegging av optiske fibre løst inne i kordeller er kjent i forbindelse med overføring av

5 telekommunikasjon langs kraftliner. I andre sammenhenger er det demonstrert innbaking, se ovennevnte P. M. Nellen et. al., og overflatemontering, se ovennevnte R. Brönniman et. al., av fiberoptiske Bragg-gitre i CFRP (carbon fiber reinforced polymer) komposittmateriale for overvåking av

10 bærekonstruksjoner i broer. Overflatemontering av Bragg-gitre utføres i prinsipp på samme måte som omtalt her, men de viktigste forskjellene er helt ulike materialer og at komposittmaterialer er ikke elektrisk ledende. Innbaking av optiske fibre i CFRP kan gjøres under produksjon ved

15 pultrudering slik at den optiske fiberener integrert i kompositten langs hele dens lengde. For høyspentkabler bestående av kordeller av stål eller aluminium er en slik fremstillingsprosess ikke mulig og må utføres vesentlig forskjellig fra innbaking i kompositter.

20 Den femte sensoren 4A er ikke festet til røret og vil dermed ikke påvirkes av belastningen på røret. Den femte sensoren vil derimot bli påvirket på lik linje med de andre av temperaturforandringer i den optiske fiberen, og vil dermed kunne opptre som en referanse for å korrigere

25 endringer i sensorenes gitre som følge av de tildels svært store temperaturendringene en høyspentkabel kan bli utsatt for. Som nevnt ovenfor er integrering av optiske fibre med Bragg-gitre for temperaturmonitorering av grenseflata mellom leder og isolasjon tidligere diskutert av F. M. Araujo et.

30 al. Her er det demonstrert målinger på temperaturutvikling i kablen ved ulike strømpådrag. Temperaturmonitorering av kraftkabler er også diskutert av H.J. Kalinowski et. al. Et antall slike referansesensorer 4A kan plasseres på

35 forskjellige steder langs kraftkablen for å ta hensyn til temperaturvariasjoner.

Ved montering av fiberen 3 utenpå en høyspentkabel 1 kan referansesensoren 4A plasseres i en egnet hylse, slik at den ikke påvirkes av strekk, og samtidig er beskyttet mot andre påvirkninger som is og vann.

Figur 4 illustrerer en sensor 4 montert på overflaten av kraftkabelen 1. I dette tilfellet er den optiske fiberens 3 kledning 13 fjernet i et begrenset området, og Bragg-gitteret 4 er festet på fiberen 3 slik at dennes egenskaper endres i et gitt område. Et beskyttende lag 14 er lagt over den avdekkede fiberen. Fortrinnsvis er både kledningen og sensorområdet dekket med ytterligere et beskyttende lag, for eksempel av plast, for å beskytte det mot påkjenninger utenfra.

Det finnes en rekke fremgangsmåter for å danne Bragg-gitter i en optisk fiber, så som diffusjon, bruk av laser og lignende. Disse løsningene er velkjente innenfor fagmiljøet og vil ikke bli beskrevet nærmere her. Den valgte løsningen har ingen vesentlig betydning for denne oppfinnelsens prinsipp.

Figur 5 viser et tverrsnitt av en høyspentkabel 1 omfattende vaiere 11 eller kordeller som fortrinnsvis er tvunnet rundt hverandre. I tillegg omfatter kabelen et rør 10, for eksempel slik som illustrert i figur 3 omfattende en eller flere optiske fibrer for måling, som også er tvunnet rundt vaierne 11 slik at det inngår i kraftkabelens konstruksjon på en naturlig måte. Røret 10 kan eventuelt også omfatte optiske og andre ledere egnet for andre oppgaver, for eksempel telekommunikasjon. Kraftkabelen er dessuten dekket av et beskyttende plastlag 12.

Som antydnet ovenfor vil den eller de optiske fibre kunne festes til kraftkabelen på forskjellige måter. Dersom målingene skal utføres på eksisterende kabler kan fibre tvinnes på utsiden av kraftkabelen, gjerne samtidig som eller i forbindelse med, installasjon av telekommunikasjonslinjer. De optiske fibre kan da limes direkte på kraftkabelen, slik som vist i figur 4, eller være plassert i et beskyttende rør, slik som vist i figur 3. For å måle strekket er det bare nødvendig å lime sensorpunktene, det vil si Bragg-gitterene, til kabelen. Ved produksjon av nye kabler kan løsningen illustrert i figur 5 velges, der røret 10 tvinnes mellom kordellene 11 og plastbeskyttelsen, eller, hvis kraftkabelen ikke er plastbelagt, slik at røret utgjør en av kordellene i kraftkabelen.

De optiske fibre eller lederne 3 kan være av kjente typer, normalt standardiserte fibrer av kvartsglass, men det er klart at også andre løsninger med spesialfibrer, vil kunne anvendes i en del tilfeller. De øvrige komponentene i selve målesystemet vil tilpasses fibre med hensyn til kompatibilitet med det valgte fibermaterialet, f.eks i forhold til bølgelengden på det utsendte lyset, og egenskaper under de aktuelle forholdene, så som temperatur og fuktighet.

P a t e n t k r a v

1. System for overvåking av høyspentkabler i luftstrek, omfattende minst én optisk fiber (3) festet til kabelen (1), hvilken optiske fiber omfatter minst ett Bragg-gitter (4) med
5 kjente refleksjonsegenskaper, en lyskilde (6) for utsendelse av lys innen et kjent bølgelengdeområde inn i den optiske fiberen, og måleinnretninger (7) for deteksjon av lys reflektert fra Bragg-gitrene (4,4a) i fiberen og for
10 gjenkjenning av lys reflektert fra de enkelte Bragg-gitrene basert på deres kjente refleksjonsegenskaper, k a r a k t e r i s e r t v e d at fiberen (3) eller fibrene er plassert i det vesentlige løst i et beskyttende rør (10) og er festet til røret i samme posisjon som minst ett av Bragg-gitrene (4).

15 2. System ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at systemet omfatter én optisk fiber (3) som i sin lengderetning er forsynt med et flertall Bragg-gitter (4,4a).

3. System ifølge krav 2,
20 k a r a k t e r i s e r t v e d at den optiske fiberen (3) omfattende et flertall Bragg-gitre (4) er festet til det beskyttende røret (10) ved en valgt andel av posisjonene til Bragg-gitrene (4,4a), og at de øvrige gitrene (4a) er innrettet til å bevege seg i røret (10) uavhengig av dette
25 for derved å muliggjøre temperaturmålinger ved disse gitrenes posisjoner.

4. System ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at røret (10) omfattende den optiske fiberen (3) er montert på kabelen (1) under
30 produksjon ved at den er omfattet av kordellen.

5. System ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at røret (10) omfattende den optiske fiberen (3) er surret rundt en eksisterende, montert kabel (1).

6. Anvendelse av et optisk målesystem omfattende minst én optisk fiber (3) montert i et beskyttende rør (10), hvilken optiske fiber (3) er forsynt med minst ett Bragg-gitter (4) med kjente refleksjonsegenskaper ved en valgt posisjon langs fiberen, hvilken fiber (3) er festet til det beskyttende røret (10) i denne posisjonen, der systemet også omfatter en lyskilde (6) for utsendelse av lys innen et kjent bølgelengdeområde inn i den optiske fiberen (3) og måleinnetninger (7) for deteksjon av lys reflektert fra Bragg-gitteret eller -gitrene (4) i fiberen(e) og for gjenkjenning av lys reflektert fra hvert Bragg-gitter (4) basert på deres kjente refleksjonsegenskaper hvor den eller de optiske fibrene (3) er festet til det beskyttende røret (10).
7. Anvendelse ifølge krav 6 der hvert Bragg-gitter (4) er festet til kabelen (1) ved en valgt posisjon for måling av strekk i kabelen i denne posisjonen.
8. Anvendelse ifølge krav 6 eller 7 der den eller de optiske fibrene (3) er montert internt i kabelen (1).
9. Anvendelse ifølge krav 6 eller 7 der den optiske fiberen omfatter en ytre kapsling (10) langs i det vesentlige hele sin lengde og er surret på utsiden av kabelen (1).
10. Anvendelse ifølge et av kravene 6-9 der alle Bragg-gitrene (4,4a) er montert i én optisk fiber.

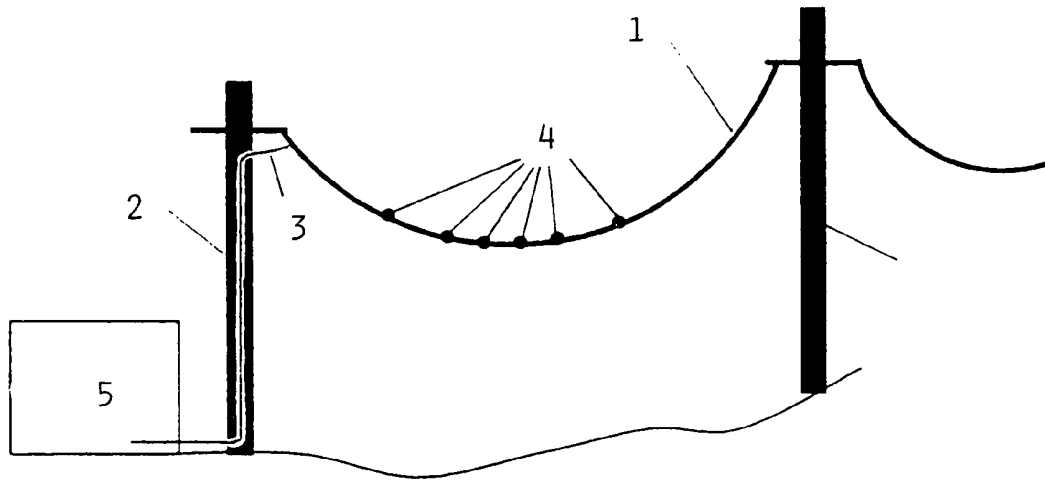


FIG. 1

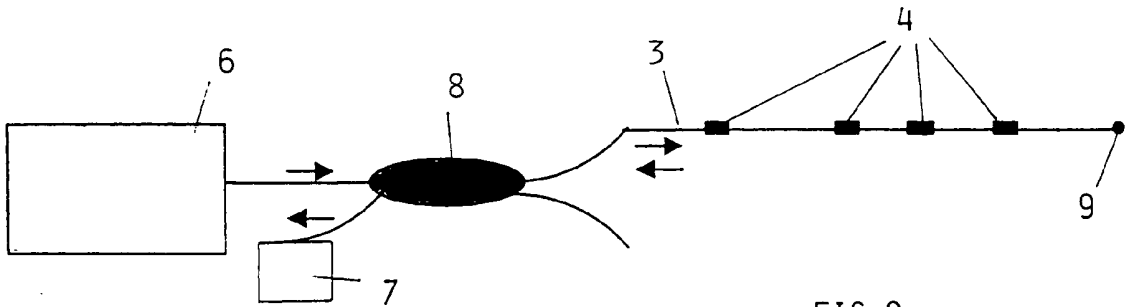


FIG. 2

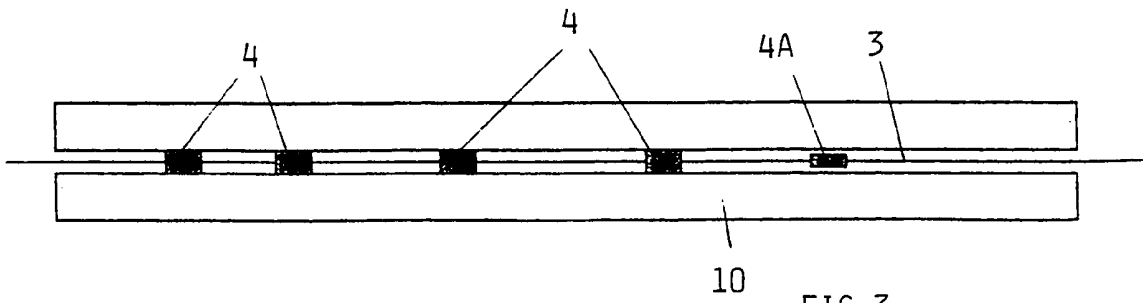


FIG. 3

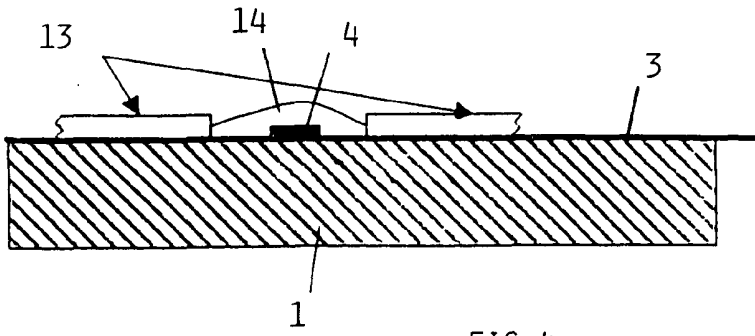


FIG.4

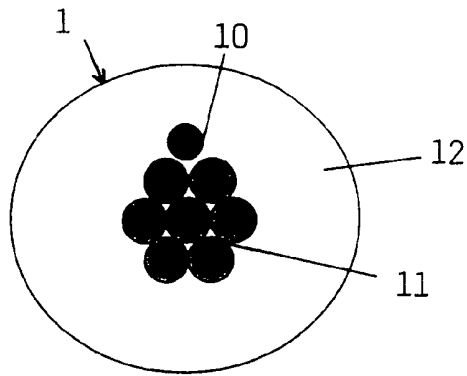


FIG.5