

ZVEŘEJNĚNÁ PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

(22) 01.08.96

(32) 02.08.95

(31) 95MI/1699

(33) IT

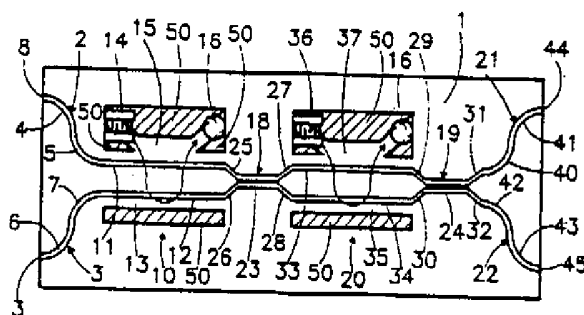
(40) 12.02.97

(71) PIRELLI CAVI S. P. A., Milano, IT;

(72) Schmid Steffen, Monza, IT;

(54) **Způsob akusticko-optického zpracování optických signálů a akusticko-optické vlnovodné zařízení, laditelné, s polarizačně nezávislou odezvou**

(57) Způsob akusticko-optického přepínání signálů je založen na dvou konverzních polarizačních složek optického signálu, které jsou přenášeny odděleně, respektive neodděleně, pomocí akusticko-optické interakce se dvěma akustickými vlnami. Akusticko-optické vlnovodné zařízení zahrnuje substrát (1) z dvojlomného a fotoelastického materiálu, na kterém je vytvořen alespoň jeden stupeň (20) konverze polarizačního modu dvou oddělených polarizačních složek optického signálu, první a druhý polarizačně selektivní prvek (18, 19), umístěný před a po konverzním stupni (20) a alespoň kompenzačním stupněm (10; 100) pro konverzi polarizačního modu, kde alespoň jeden optický vlnovod (11; 110) přenáší obě polarizační složky v kombinované formě.



1 V 2272-
46

č.j.	5 6 2 6 8
00310	
0 1. VII 9 6	
URAD PRŮMYSLU VLASTNICTVÍ	
Příl.	

- * Akusticko-optické vlnovodné zařízení, laditelné, s polarizačně nezávislou odezvou a způsob akusticko-optického zpracování optických signálů a *

Oblast techniky

Předkládaný vynález se týká akusticko-optického vlnovodného zařízení, laditelného, s polarizačně nezávislou odezvou a způsobu akusticko-optického zpracování optických signálů.

Dosavadní stav techniky

V telekomunikačních sítích s multiplexováním na základě rozdělení vlnových délek je několik optických signálů, nezávislých jeden na druhém a nebo několik kanálů předáváno po téže lince, sestávající obvykle z optického vlákna, pomocí multiplexování na základě rozdělení vlnových délek, to jest současným přenosem signálů s různými vlnovými délkami na základě různých frekvencí. Přenášené signály nebo kanály mohou být buď digitální nebo analogové a jsou od sebe navzájem odlišeny, neboť každý z nich je asociován se specifickou vlnovou délkou. Uvnitř sítě jsou uzly, kde jsou signály přepínány z linek tvořených optickými vlákny, které přichází do uzlu linek optických vláken, do linek tvořených optickými vlákny, které vychází z tohoto uzlu. Aby bylo možné vybírat signály uvnitř uzlu, je pro zjednodušení jeho architektury možné používat na vlnovou délku citlivé optické přepínače. Na výstupu sítě, opět pro separaci jednotlivých signálů, je třeba použít filtry, které jsou schopné přenášet pásmo vlnových délek, které má střed rovný vlnové délce signálu a je

dostatečně úzké, aby blokovalo sousední signály.

Jsou známa integrovaná akusticko-optická zařízení, jejichž činnost je založena na interakci mezi světelnými signály, šířenými ve vlnovodech získaných ze substrátu z dvojlohného a fotoelastického materiálu a akustickými vlnami, šířícími se po povrchu substrátu a generovanými vhodným převodníkem. Interakce mezi polarizovaným optickým signálem a akustickou vlnou vytváří polarizační konverzi signálu, to jest natočení polarizace jeho TE (transverzální - příčné - elektrické) a TM (transverzální - příčné - magnetické) složky.

V takovýchto akusticko-optických zařízeních je možno ovládáním frekvence optických vln ladit křivku spektrální odezvy zařízení, což je činí vhodnými pro použití jako přepínače a jako optické filtry signálů v optických telekomunikačních sítích s multiplexováním na základě rozdělení vlnových délek. Takovéto laditelné přepínače a filtry dovolují měnit výběr signálu a tím rekonfigurovat síť bez změny kabeláže jejích komponent.

Tato akusticko-optická zařízení také dovolují přepínání a současný výběr různých signálů a kanálů, jestliže šíření akustických vln, šířících se po povrchu substrátu je superposicí různých akustických vln. Přepínače totiž provádějí kombinované přepínání signálů o vlnových délkách, odpovídajících současně použitým frekvencím a filtry mají propustné pásmo odpovídající souboru různých rozsahů vlnových délek, určených frekvencemi akustických délek.

Pohlmann a kol. v IEEE Journal of Quantum Electronics (Vol. 27, No. 3, strany 602-607, březen 1991) popisuje akusticko-optické vlnovodné zařízení s výběrem vlnových délek, akusticky laditelné, s polarizačně nezávislou odezvou, které může být po-

užito jako přepínač se dvěma vstupy a dvěma výstupy (2×2) a jako filtr.

Tento přepínač, ukázaný na obr. 4 článku, obsahuje substrát, sestávající z krystalu niobičnanu lithného (LiNbO_3) s řezem ve směru osy x a šířením ve směru osy y , dva paralelní optické vlnovody, dva pasivní polarizační oddělovače (splittery), elektroakustický převodník, akustický vlnovod a akustické absorbéry. Optické vlnovody a elektroakustický převodník vytvářejí akusticko-optickou soustavu konverze módu. Elektroakustický převodník je tvořen vzájemně se prolínajícími (interdigitálními) elektrodami, schopnými vytvářet povrchové akustické vlny o radiových frekvencích (RF) s centrální frekvencí 180 MHz. Akustický vlnovod má šířku 150 mikronů a obsahuje oba optické vlnovody. Akustické absorbéry jsou používány k eliminaci odrazů akustické vlny a volně se šířících vln.

Optické vlnovody a polarizační oddělovače jsou vytvořeny difuzí titanu v substrátu a kanál akustického vlnovodu je také tvořen difuzí titanu v oblastech je obklopujících. Vzájemně se prolínající elektrody elektroakustického převodníku jsou tvořeny nanesením oxidu cínu a oxidu india katodovým nanášením.

D. A. Smith a kol. v Applied Physics Letters (Vol. 56, No. 3, strany 209-211, leden 1990) popisuje akusticky laditelný optický filtr s polarizačně nezávislou odezvou stejného typu jako je zařízení, které popsali Pohlmann a kol. Filtr D. A. Smitha a kol. je vyroben z krystalu niobičnanu lithného s řezem podle osy x a šířením ve směru osy y , 5 cm dlouhým a zahrnuje dva optické vlnovody s odstupem 27 mikronů, elektroakustický převodník, sestávající z vzájemně se prolínajících elektrod a dvou polarizačních oddělovačů, sestávajících z směrových vazebných členů.

D'Alessandro a kol. v IEEE Photonics Technology Letters (Vol. 6, No. 3, strany 390-393, březen 1994) popisuje akusticko-optický přepínač stejného typu jako je zařízení Pohlmann a kol. Přepínač D'Alessandra a kol. je vyroben z XY krystalu niobičnanu lithného, 5 cm dlouhého, a obsahuje dva optické vlnovody, elektro-akustický převodník, akustický vlnovod, ve kterém jsou obsaženy optické vlnovody a z dvou pasivních polarizačních oddělovačů vytvořených pomocí protonové výměny/titanové difuze a žíhání. Přepínač pracuje se čtyřmi signály majícími vlnové délky odděleny od sebe po 4 nm v oblasti 1546 až 1558 a čtyřmi pilotními radiovými frekvencemi o hodnotách 175,89 MHz, 175,38 MHz, 174,86 MHz, 174,42 MHz, které volí čtyři optické vlnové délky.

John J. Jonhson a kol. v US patentu 5.218.653 popisuje akusticko-optické zařízení podobné zařízení, které popsal D'Alessandro a kol. (obr. 2).

Akusticko-optická zařízení popsaná výše pracují jako laditelné 2×2 přepínače s polarizačně nezávislou odezvou.

Jestliže je zvolen kanál s danou vlnovou délkou, optické signály s touto vlnovou délkou, vcházející daným vstupem jsou převáděny na odpovídající křížový (cross-state) výstup a signály vcházející druhým vstupem jsou převáděny na odpovídající druhý křížový výstup (přepínač je ve stavu křížového přenosu). Nezvolené signály jsou převáděny z daného vstupu na odpovídající přímý výstup (přepínač je ve stavu přímého přenosu - bar state).

Tato zařízení pracují jako akusticko-optické filtry s laditelným propustným pásmem a s polarizačně nezávislou odezvou za křížových přepínacích podmínek, kde pouze jeden vstup je

použit současně s odpovídajícím křížovým výstupem.

Výše popsaná zařízení mají několik nedostatků.

Zařízení používá jednostupňovou akusticko-optickou konverzi; v takovémto jednom stupni je konverze polarizace v důsledku interakce mezi optickým signálem a akustickou řídicí vlnou ve dvou optických vlnovodech doprovázena posunem frekvence o hodnotu rovnou frekvenci akustické vlny. Takovýto posun frekvence v popsanych konfiguracích má opačné znaménko v závislosti na polarizaci optického signálu, takže dvě oddělené ortogonální polarizační komponenty mají kladný a záporný posun.

Posun frekvence optického signálu akustickou konverzní frekvencí může vytvářet rázové problémy v telekomunikačních sítích.

Aby byl omezen frekvenční posun dvou polarizací ve dvou optických vlnovodech, byly navrženy akusticko-optická zařízení v nichž je s každým optickým vlnovodem spojen odpovídající akustický vlnovod.

H. Hermann a kol. v Proceedings 6th European Conference on Integrated Optics, stránky 10.1 až 10.3, duben 1993 (ECIO'93, Neuchatel, Švýcarsko) popisuje 2×2 akusticko-optický přepínač (obr. 10) obsahující dva optické vlnovody a dva akustické vlnovody umístěné vedle sebe, přičemž v každém z nich je obsažen optický vlnovod a kde se povrchové akustické vlny šíří v opačných směrech.

John J. Johnson a kol. v US patentu 5.218.653 popisují akusticko-optické zařízení podobné zařízení H. Hermann a kol. (obr. 3).

Podstata vynálezu

Akusticko-optické zařízení typu popsaného H. Hermannem a kol. bylo vytvořeno přihlašovatelem. V tomto zařízení jsou dva optické vlnovody připojeny ke dvěma polarizačním oddělovačům s vazbou polarizačního módu, spojené s vlnovody oblastmi zakřivenými do tvaru "S" a dva akustické vlnovody, každý z nich obsahující odpovídající optický vlnovod. S každým akustickým vlnovodem je spojen elektro-akustický převodník vytvářený vzájemně se prolínajícími elektrodami. Dva optické vlnovody jsou zhruba 18 mm dlouhé a vzdálené 270 mikronů, polarizační oddělovače jsou dlouhé asi 5 mm; oblasti zakřivené do "S" jsou dlouhé asi 8 mm s poloměrem zakřivení zhruba 160 mm. Celková délka zařízení je asi 60 mm.

Pokud je zařízení v OFF stavu (přímý přenos), celkové zjištěné ztráty jsou asi 2 dB pro TM vstup a asi 5 dB pro TE input, což dává polarizačně závislou ztrátu (PDL - polarization dependent loss) 3 dB, způsobenou přítomností čtyř oblastí zakřivených do "S" pro připojení každého polarizačního oddělovače. Přeslech při plně křížovém stavu je v rozmezí -18 dB až -20 dB, což odpovídá rozdělovacímu poměru polarizačních oddělovačů.

Pokud je zařízení v ON stavu (křížový přenos), byly zjištěny celkové ztráty asi 2 dB pro TM vstup a 3 dB pro TE vstup. Polarizačně závislá ztráta je nižší vzhledem k rozložení ztrát přepínače v obou polarizacích.

Přepínací charakteristika má šířku pásma 2,0 nm a první boční lalok -20 dB. Konverzní účinnost je větší než 99 % (pro oba optické vlnovody uvažované zvlášť). Pro vstupní signál polarizovaný na 45° vzhledem k normále na povrch substrátu je extinkční poměr zařízení omezen na asi -16 dB, což je důsle-

dek akustické křížové vazby řádu -17 dB vázané akustické síly a toho, že střední (celková) konverzní účinnost byla snížena na asi 80 % v důsledku nepřizpůsobení konverzních vlnových délek z 0,2 nm na 0,5 nm.

Speciálně bylo pozorováno, že jisté složky akustické vlny, šířící se akustickým vlnovodem interferují s optickým signálem, šířícím se v současné s ní optickým vlnovodem. To způsobuje vzrůst mezikanálových přeslechů zhruba -18 dB ve stavu přímého přenosu.

Navíc frekvenční posun, neboli nepřizpůsobení, optického signálu může mít absolutní hodnotu, která je různá ve dvou optických vlnovodech vzhledem k nedostatečné homogenitě substrátu. Materiál substrátu a materiál, který vytváří optické vlnovody, mohou mít ne zcela dokonale stejnoměrnou dvojlomnost, třeba díky nedokonalostem v průběhu výroby, jako jsou nestejnoměrná tloušťka a/nebo šířka nanesené vrstvy titanu nebo nestejnoměrný gradient difusní teploty titanové vrstvy. Malé místní odchylky dvojlomnosti způsobují odchylky špiček vlnových délek přepínaných mezi dvěma optickými vlnovody, která je tím větší, čím větší je vzdálenost mezi vlnovody.

Pro kompensaci frekvenčního posunu, ke kterému dochází v akusticko-optickém zařízení s jedním konverzním stupněm byly navrženy akusticko-optická zařízení se dvěma konverzními stupni v sérii.

Kwok-Wai Cheung a kol. v US patentu 5.002.349 popisuje akustické-optické zařízení zahrnující dva akusticko-optické stupně v sérii a dva vlnovodné polarizační oddělovače před a po každém stupni. Každý stupeň je vybaven elektro-akustickým převodníkem.

Přihlašovatel pozoroval, že zeslabení, kterému jsou optické signály podrobeny při průchodu takovýmto zařízením je zhruba dvojnásobné proti tomu, která je pozorována v jednostupňovém zařízení, vzhledem k čtyřem průchodům polarizačními oddělovače.

Navíc, celková délka zařízení je alespoň dvojnásobná ve srovnání se jednostupňovým zařízením, která se tím přibližuje kritické velikosti běžně užívaných substrátů z niobičnanu lithného.

Jeden z aspektů předkládaného vynálezu spočívá v akusticko-optickém zařízení, selektivním vzhledem k vlnové délce; nezávislém na polarizaci, obsahujícím substrát z dvojlomného a fotoelastického materiálu, na kterém se nacházejí...

- a) alespoň jeden stupeň konverze polarizačního módu optického signálu v předem zvolené oblasti vlnových délek, který zahrnuje
 - a1) první a druhý optický vlnovod, které jsou navzájem zhruba rovnoběžné a nacházejí se v předem zvolené vzdálenosti,
 - a2) první prostředek pro generování akustické povrchové vlny asociovaný s uvedeným prvním a druhým optickým vlnovodem a
 - a3) první akustický vlnovod, obsahující alespoň jednu část uvedeného prvního a druhého optického vlnovodu,
 - a4) přičemž jak první tak i druhý z uvedených optických vlnovodů jsou schopny přijímat jednu ze dvou navzájem ortogonálních polarizačních složek uvedeného optického signálu a jsou schopny vydávat odpovídající složku ortogonální polarizace,

- b) první a druhý polarizačně selektivní prvek, umístěný před a po uvedeném konverzním stupněm a opticky připojeny k uvedenému prvnímu a druhému vlnovodu pro oddělené předávání uvedených dvou polarizačních složek;

který se vyznačuje tím, že v uvedeném substrátu jsou také vytvořeny

- c) alespoň jeden kompenzační stupeň pro konverzi polarizačního módu uvedeného optického signálu v uvedené předem zvolené oblasti vlnových délek, zahrnující
 - c1) alespoň jeden třetí optický vlnovod, opticky připojený k prvnímu nebo druhému z uvedených polarizačně selektivních prvků,
 - c2) druhý prostředek pro generování akustické povrchové vlny asociovaný s uvedeným třetím optickým vlnovodem a
 - c3) druhý akustický vlnovod, obsahující alespoň jednu část uvedeného třetího optického vlnovodu,
 - c4) přičemž uvedený třetí optický vlnovod je sériově připojen ke konverznímu stupni polarizačního módu a
 - c5) uvedený třetí optický vlnovod vede uvedené dvě polarizované složky v kombinované podobě.

Ve výhodném provedení uvedený kompenzační stupeň dále zahrnuje

- d) čtvrtý optický vlnovod, zhruba paralelní s uvedeným třetím optickým vlnovodem a umístěný v předem zvolené vzdálenosti od něj,

- d1) uvedený čtvrtý optický vlnovod je opticky připojen k uvedenému prvnímu nebo druhému polarizačnímu selektivnímu prvku,
- d2) uvedený druhý generující prostředek akustické povrchové vlny je asociován s uvedeným čtvrtým optickým vlnovodem,
- d3) uvedený druhý akustický vlnovod obsahuje alespoň část uvedeného čtvrtého optického vlnovodu
- d4) uvedený třetí a čtvrtý optický vlnovod jsou připojeny k odpovídajícím větvím optického vlnovodu a odděleny a vzdáleny nejméně o velikost uvedeného třetího a čtvrtého optického vlnovodu tak, že jak uvedený třetí optický vlnovod tak uvedený čtvrtý optický vlnovod vedou uvedené dvě polarizační složky v kombinované formě.

Uvedený první a druhý optický vlnovod a uvedený třetí a čtvrtý optický vlnovod jsou výhodně vzdáleny o asi 40 mikronů.

Podle jiného výhodného provedení jsou v alespoň jednom kompenzačním stupni a konverzním stupni aplikovány na uvedený substrát adjustační prvky, schopné měnit teplotu alespoň jednoho z uvedených kompenzačních a konverzních stupňů za účelem kompenzace nehomogenní dvojlomnosti materiálu uvedeného substrátu a uvedených optických vlnovodů a korekce chyb akusticko-optické interakce.

Druhý aspekt vynálezu je představován metodou akusticko-optického přepínání optického signálu, zahrnující následující kroky:

- oddělení polarizačních složek optického signálu do dvou různých vlnovodných drah;
- konverze oddělených polarizací uvedeného signálu v obou uve-

dených drahách pomocí akusticko-optické interakce s první společnou akustickou vlnou;

- kombinace uvedených polarizací uvedeného optického signálu; která se vyznačuje tím, že

- v sérii s uvedenými kroky zahrnuje další krok konverze neoddělených polarizací uvedeného optického signálu pomocí akustické interakce s druhou společnou akustickou vlnou, přičemž uvedená druhá akustická vlna má frekvenci rovnou uvedené první akustické vlně.

Akustické zařízení podle vynálezu může být používáno jako přepínač 2×2 , 1×2 a 2×1 , laditelný, s polarizačně nezávislou odezvou a nebo jako laditelný filtr s polarizačně nezávislou odezvou.

Kompenzační stupeň zařízení podle předkládaného vynálezu dovoluje kompenzaci frekvenčního posunu, ke kterému dochází v konverzním stupni, působením na polarizační složky v kombinované formě. To dovoluje vyrobit akusticko-optické zařízení s velmi jednoduchou a funkční architekturou. Spolu se zjednodušenou architekturou je také velmi omezená délka zařízení, která je okolo 40 mm, což je jen o málo více než u zařízení, které zahrnuje pouze konverzní stupeň a dva polarizačně selektivní prvky spolu s odpovídajícími zakřiveními.

Nepřízpůsobení vlnových délek, které je dosažitelné se zařízením podle předkládaného vynálezu, je velmi malé, menší než 0,1 nm. To redukuje mezikanálové přeslechy ve stavu přímého přenosu (bar-state) na méně než -20 dB. Je to způsobeno přítomností pouze jednoho akustického vlnovodu, což vylučuje akustické přeslechy a blízkostí optických vlnovodů (vzdálenost okolo 40 mikronů) s velmi malým nepřízpůsobením vlnových délek.

Navíc může být tento účinek dále zlepšen použitím adjustačních prvků, schopných měnit teplotu konverzních a kompenzačních stupňů pro ladění odpovídajících frekvenčních posunů těchto dvou stupňů. Tím jsou minimalizovány negativní vlivy možné nehomogenní dvojlomnosti substrátu a nehomogennosti parametrů vlnovodů. Navíc přítomnost jediného akustického vedení ve dvou stupních odstraňuje fenomen akustické vazby mezi dvěma optickými vlnovody, což by penalizovalo extinkční poměr polarizačně selektivních prvků. Extinkční poměr každého polarizačně selektivního prvku zařízení podle vynálezu je okolo -25 dB.

Zařízení má velmi nízké vstupní ztráty a polarizačně závislé ztráty (PDL - polarization dependent losses). Byla pozorována maximální celková ztráta 3 dB.

Přehled obrázků na výkrese

Vlastnosti a výhody vynálezu budou nyní ilustrovány s odvoláním na provedení vynálezu, znázorněné jako příklady na připojených obrázcích, které neomezují rozsah vynálezu.

Obr. 1 je schematické znázornění 2×2 akusticko-optického přepínače, laditelného, s polarizačně nezávislou odezvou, vyrobeného podle vynálezu,

Obr. 2 ukazuje variantu přepínače z obr. 1,

Obr. 3 je schematické znázornění laditelného akusticko-optického filtru s polarizačně nezávislou odezvou, vyrobeného podle vynálezu,

Obr. 4 ukazuje prvky teplotní adjustace použité v přepínači nebo filtru podle obr. 1 a obr. 2.

Příklady provedení vynálezu

Na obr. 1 je zobrazen 2×2 akusticko-optický přepínač, laditelný, s polarizačně nezávislou odezvou, vyrobený podle vynálezu. Přepínač zahrnuje substrát 1 z dvojlomného a fotoelastického materiálu, vyrobený z niobičnanu lithného (LiNbO_3).

V substrátu 1 jsou vytvořeny dvě vstupní větve 2 a 3 optických vlnovodů, každá z nich se skládá z dvou částí 4, 5 respektive 6, 7 s opačným zakřivením. Zakřivené části 4 a 6 vytvářejí dva vstupy 8 a 9, které je množno spojit s optickým vláknem telekomunikační sítě pomocí spojovacích zařízení, neznázorněny. Vzhledem k objektu, dovolujícímu připojení uvedených optických vláken (o průměru zhruba 250 mikronů) jsou vstupy 8 a 9 vzdáleny o nejméně 125 mikronů. Zakřivené části 4 a 6 začínají vzdáleny o zhruba 250 mikronů a zakřivené části 5 a 7 končí vzdáleny o zhruba 40 mikronů. Poloměr zakřivení zakřivených částí 4, 5, 6 a 7 je okolo 100 - 180 mm.

V substrátu 1 je vytvořen kompenzační stupeň 10, zahrnující dvě paralelní větve 11 a 12 optických vlnovodů, připojené k zakřiveným částem 5 a 7, akustický vlnovod 13, obsahující paralelní větve 11 a 12 a elektro-akustický převodník 14, vytvořený vzájemně se prolínajícími elektrodami a schopný vytvářet povrchovou akustickou vlnu o radiové frekvenci. Převodník 14 je umístěn v optickém vlnovodu 15, umístěným souběžně a komunikujícím s optickým vlnovodem 14, čímž se vytváří akustický vazební člen. Uvedený akustický vazební člen je vytvořen tak, že rozložení intenzity akustické povrchové vlny podél vlnovodu 15 má vrchol ve střední části uvedeného vlnovodu a dvě snížení na koncích téhož vlnovodu. Optické signály šířící se podél paralelních větví 11 a 12 interagují s povrchovou akustickou vlnou mající rostoucí intenzitu do poloviny jejich cesty a klesající

intenzitu v druhé polovině jejich cesty, která má předem zvolenou délku, podél níž dochází k interakci. Na koncích akustického vlnovodu 15 jsou akustické absorbční prostředky 16, schopné eliminovat odrazy akustické vlny. Akustické vlnovody 13 a 15 jsou obklopeny oblastmi 50, kde je rychlost akustických vln vyšší než ve vlnovodech 13 a 15.

V substrátu jsou také vytvořeny dva polarizačně selektivní prvky 18 a 19, jeden konverzní stupeň 20 a dvě výstupní větve 21 a 22 optických vlnovodů.

Polarizačně selektivní prvky 18 a 19 jsou tvořeny přechodnými vlnově polarizačními oddělovači nebo směrovými vazebními členy, z nichž každý zahrnuje centrální optický vlnovod 23, popřípadě 24 a dvojice vstupní a výstupní optický vlnovod 25, 26, 27, 28 respektive 29, 30, 32 a 32.

Konverzní stupeň 20 zahrnuje dvě paralelní větve 33 a 34 optického vlnovodu, připojené k páru výstupních vlnovodů 27 a 28 polarizačního oddělovače 18 a k páru vstupních vlnovodů 29 a 30 polarizačního oddělovače 19, jeden akustický vlnovod 35, obsahující větve 33 a 34 a elektro-akustický převodník 36, vytvořený vzájemně se prolínajícími elektrodami, schopný vytvářet povrchovou akustickou vlnu o radiové frekvenci. Převodník 36 je umístěn v akustickém vlnovodu 37, umístěném souběžně a komunikujícím s optickým vlnovodem 35, čímž se vytváří akustický vazební člen. Na koncích akustického vlnovodu 35 jsou akustické absorbční prostředky 16. Akustické vlnovody 35 a 37 jsou obklopeny oblastmi 50 kde je rychlost akustických vln vyšší než ve vlnovodech 35 a 37.

Každá ze dvou výstupních větví 21 a 22 optických vlnovodů zahrnuje dvě opačně zakřivené části 40, 41 a 42, 43. Zakřivené

části 40 a 42 jsou připojeny k výstupním optickým vlnovodům 31 a 32 polarizačního oddělovače 18. Zakřivené části 41 a 43 vytvářejí dva výstupy 44 a 45, které je možno připojit optickým vláknem k telekomunikační síti, nezobrazeno. Zakřivené části 40 a 42 začínají vzdáleny o zhruba 40 mikronů a zakřivené části 41 a 43 končí vzdáleny o zhruba 250 mikronů. Poloměr zakřivení zakřivených částí 40, 41, 42 a 43 je zhruba 100 - 10 mm.

Paralelní větve 11 a 12 a paralelní větve 33 a 34 jsou umístěny ve vzdálenosti zhruba 40 mikronů. Šířka akustických vlnovodů 15 a 35 je zhruba 110 mikronů.

Činnost přepínače podle vynálezu probíhá následujícím způsobem:

Pokud není na elektro-akustické převodníky 14 a 36 přivedeno napětí, přepínač je ve vypnutém stavu (off-state) a je ve stavu přímého přenosu (bar-state), v němž existuje přímá korespondence mezi vstupy 8 a 9 a výstupy 44 a 45. Světelné signály vstupují vstupy 8 a 9 a jsou přenášeny paralelními větvemi 11 a 12 kompenzačního stupně 10 s kombinovanou TE (transverzální - příčnou - elektrickou) a TM (transverzální - příčnou - magnetickou) polarizační složkou. Signály, které vstupují do polarizačního oddělovače 18, ve kterém jsou polarizační složky TE a TM odděleny do vlnovodů 27 a 28, procházejí nezměněny větvemi 33 a 34 konverzního stupně 20 a jsou potom odděleny ve vlnovodech 31 a 32 polarizačního oddělovače 19, takže signály vstupující vstupy 8 a 9 vycházejí nezměněné výstupy 44 a 45.

Přivedením vhodného přepínacího signálu na elektrody převodníků 14 a 36, přepínač se dostane do zapnutého stavu (on-state) a přechází do podmínek křížového přenosu (cross-state), ve kterém jsou vstupy 8 a 9 v korespondenci s křížově odpovídajícími výstupy 45 a 44. Převodníky 14 a 36 vytvářejí od-

povídající povrchové akustické vlny o radiové frekvenci o budící akustické frekvenci f_{ac} (zhruba 174 ± 10 MHz pro zařízení pracující při 1550 nm a 210 ± 10 MHz pro zařízení pracující při 1300 nm)., odpovídající vlnové délce optické resonance, při které dochází k polarizační konverzi TE→TM a TM→TE. Světelné signály vcházejí s kombinovanými polarizačními složkami TE a TM do paralelních větví 11 a 12 kompenzačního stupně 10 a jsou transformovány do odpovídajících ortogonálních složek, které zůstávají kombinované. Signály vstupují do polarizačního oddělovače 18, ve kterém jsou polarizační složky TE a TM odděleny a procházejí větvemi 33 a 34 konverzního stupně 20, kde jsou rekonvertovány do původních polarizačních stavů. Polarizační složky TE a TM jsou potom odděleny v polarizačním oddělovači 19 takovým způsobem, že zvolené polarizační složky ze vstupu 8 vycházejí výstupem 45 spolu se složkami přicházejícími ze vstupu 9 a které nebyly zvoleny a zvolené polarizační složky ze vstupu 9 vycházejí výstupem 44 spolu se složkami přicházejícími ze vstupu 8 a které nebyly zvoleny. Signály, které v konverzním stupni 20 byly podrobeny konverzi-polarizaci, jsou vedeny v plně křížovém stavu, čímž dochází k úplnému přepnutí.

Při konverzi-polarizaci v kompenzačním stupni 10 jsou polarizační složky TE a TM podrobeny frekvenčnímu posunu jehož znaménko závisí na polarizaci stejně tak jako na směru šíření akustických vln ve vztahu k optické vlně podle následujícího diagramu:

Polarizace	Šíření	
	kolineární	kontralineární
TE	+	-
TM	-	+

Při přechodu do konverzního stupně 20 a za podmínek, že druhá akustická vlna se šíří ve stejném směru jako první, je frekvenční posun kompenzován při zpětné konverzi k originálnímu polarizačnímu stavu.

K tomu, aby první a druhá akustická vlna měly tutéž frekvenci, je výhodné aby byl použit jediný budící elektrický signál, přivedený na oba dva elektro-akustické převodníky 14 a 36.

Přepínač na obr. 1 je symetrický ve smyslu, že správně pracuje jestliže vstupy 8 a 9 a výstupy 44 a 45 jsou zaměněny a jestliže původní výstupy pracují jako vstupy a původní vstupy pracují jako výstupy.

Jak je znázorněno na obr. 2, jestliže jsou zakřivené části 4, 5, 6 a 7 a optický vlnovod 12 přepínače z obr. 1 jsou eliminovány, může tím vzniknout přepínač 1×2 (demultiplexer), ve kterém je vstup 80 tvořen vlnovodnou větví 110. Ve variantě může být přepínač podle obr. 2 použit jako přepínač 2×1 (multiplexer), pokud jsou původní výstupy 44 a 45 použity jako vstupy.

Na obr. 3 je znázorněn akusticko-optický filtr, laditelný, s polarizačně nezávislou odezvou, vyrobený podle vynálezu. Filtr podle obr. 3 má některé části, které jsou identické s částmi přepínače z obr. 2, které jsou indikovány týmiž vztahovými značkami. Filtr obsahuje substrát 1 z dvojlomného a fotoelastického materiálu, představovaného niobičitanem lithným (LiNbO_3), v němž se nachází kompenzační stupeň 100, dva polarizačně selektivní prvky 18 a 19 a konverzní stupeň 20 a výstupní vlnovodná větev 220.

Kompenzační stupeň 100 zahrnuje optickou vlnovodnou větev 110, která vytváří vstup 80, který je možno připojit na optické

vlákno telekomunikační sítě, akustický vlnovod 13, obsahující větev 11 a elektro-akustický převodník 14, schopný generovat povrchovou akustickou vlnu o rádiové frekvenci. Převodník 14 je umístěn v optickém vlnovodu 15 souběžně a komunikující s optickým vlnovodem 14. Na koncích akustického vlnovodu 15 se nacházejí akustické absorbery 16. Výstupní větev 220 vlnovodu je připojena na výstupní vlnovod 32 polarizačního oddělovače 19 a vytváří výstup 450, který je možno připojit k optickému vláknu telekomunikační sítě.

Pokud je filtr ve vypnutém stavu, nachází se v podmínkách přímého přenosu a optické signály vstupující vstupem 8 jsou vedeny do vlnovodu 31 polarizačního oddělovače 19 a mohou být absorbovány pomocí optického absorberu, nezobrazen. Po přivedení vhodného napětí na elektrody převodníků 14 a 36 jsou konverzí módu s polarizačními složkami spojenými ve stupni 100 a konverzí módu s polarizačními složkami oddělenými v konverzním stupni 20 zvoleny optické signály, mající vlnovou délku odpovídající akustické budicí frekvenci. Zvolené signály jsou převáděny ze vstupu 8 kompenzačního stupně 100 na výstup 45 za podmínek křížového přenosu, takže filtr pracuje jako laditelná pásmová propust.

Výhodou filtru je velmi jednoduchá architektura a jeho funkčnost je lepší než u konvenčních akusticko-optických filtrů s jedním konverzním stupněm především díky absenci frekvenčního posunu. S kalibrovanou akusticko-optickou vazbou má filtr především malou šířku pásma (menší nebo rovnou 2 nm) a nízkou hodnotu křížového přenosu (-20 dB).

Filtr má velmi malou celkovou ztrátu (přibližně 1,5 dB).

Přepínač a filtr z obr. 1 a obr. 2 mohou pracovat při poko-

jové teplotě s pásmem vlnových délek o šířce alespoň 100 nm širokém se středem u vlnové délky 1550 nm nebo 1300 nm, což je obzvláště výhodné pro optické telekomunikace.

Substrát 1 sestává z krystalu LiNbO_3 s řezem kolmo k ose x , vlnovody 11, 12, 23, 24, 33, 34 a 110 jsou orientovány podél osy y . Místo LiNbO_3 je možno použít jiný dvojlomný, fotoelastický a piezoelektrický materiál, zvolený ze souboru zahrnujícího LiTaO_3 , TeO_2 , CaMoO_4 . Celková délka zařízení je okolo 40 - 50 mm.

Optické vlnovody 14, 15, 36 a 37 přepínače a filtru na obr. 1 a obr. 2 mohou být vyrobeny pomocí fotolitografické masky ohraničující pásy 50 substrátu 1, aby byla dosažena šířka 110 mikronů optických vlnovodů 14 a 36. Uvnitř oblasti ohraničené oknem masky je nanесena vrstva titanu o tloušťce 160 nm a provedena následná difuze titanu do substrátu po 31 hodin v peci o teplotě 1060°C . Díky účinku difuze se rychlost akustických vln zvýší o zhruba 0,3 %, takže oblasti 50 působí jako omezovače akustických vln okolo vlnovodů 14 a 36.

Optické vlnovody a polarizační oddělovače mohou být provedeny difuzí na substrátu látkou schopnou zvýšit index odrazu. Použitím fotolitografie je možno získat vrstvu titanu, mající tloušťku okolo 120 nm a následuje difuze po 9 hodin při teplotě 1030°C . Pro optické vlnovody má maska aperturu o šířce okolo 7 mikronů.

Optické a akustické vlnovody jsou výhodně monomodální pro použité optické a akustické vlny.

Vzájemně se prolínající elektrody elektro-akustických převodníků 14 a 36 jsou nanесeny na (piezoelektrický) substrát 1 se

sklonem okolo 5° vzhledem k ose y . Výhodně převodník obsahuje 15 - 20 nebo více vzájemně se prolínajících elektrod s periodou okolo 20,8 mikronů. Elektrody mají výhodně proměnnou rozteč (kolísání) k rozšíření pásma odezvy. Velikost periody je odvozena od velikosti vlnové délky v LiNbO_3 pro akustickou povrchovou vlnu o frekvenci zhruba 173,5 MHz, což je hodnota nutná pro konverzi mezi TE a TM při optické vlnové délce asi 1550 nm. Změnou periody elektrod je možné vytvořit převodník vhodný pro akusticko-optické zařazení pracující při jiných vlnových délkách. Elektrody mohou být vytvořeny nanesením kovové vrstvy s tloušťkou 500 nm, například hliníku, na substrát.

Akusticko-optické zařízení je možno ladit na vlnovou délku 1500 nm nebo 1600 nm, to jest posunutou o 50 nm proti střední vlnové délce 1550 nm, přivedením výkonu zhruba 100 mW na vzájemně se prolínající elektrody, proti (okolo) 50 mW potřebným pro činnost při střední vlnové délce.

Na obr. 4 je znázorněno akusticko-optické zařízení, přepínač nebo filtr, u kterého jsou v kompenzačním stupni 10 nebo 100 a v kompenzačním stupni 20 k substrátu přiloženy dvě malé měděné destičky 60 a 61 a dvě Peltierovy buňky 62 a 63, nesené bází 64, které působí jako tepelně adjustační prvky. Pomocí Peltierových buněk je možno měnit teplotu stupňů 10 nebo 100 a 20 tak, aby byl kompenzován nedostatek homogenity jak materiálu substrátu 1, tak i materiálu, který určuje optické vlnovody a korigovat tak chyby parametrů optických vlnovodů.

Zastupuje:

JUDr. Pavel Zelený

P A T E N T O V É N Á R O K Y

1. Akusticko-optické vlnovodné zařízení, selektivní vzhledem k vlnové délce, nezávislé na polarizaci, obsahující substrát (1) z dvojlomného a fotoelastického materiálu, na kterém se nacházejí

a) alespoň jeden stupeň (20) konverze polarizačního módu optického signálu v předem zvolené oblasti vlnových délek, který zahrnuje

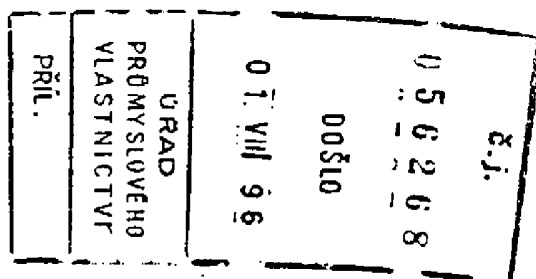
a1) první a druhý optický vlnovod (33, 34), které jsou navzájem zhruba rovnoběžné a nacházejí se v předem zvolené vzdálenosti,

a2) první prostředek (36) pro generování akustické povrchové vlny asociovaný s uvedeným prvním a druhým optickým vlnovodem (33, 34) a

a3) první akustický vlnovod (35), obsahující alespoň jednu část uvedeného prvního a druhého optického vlnovodu (33, 34),

a4) přičemž jak první tak i druhý z uvedených optických vlnovodů (33, 34) jsou schopny přijímat jednu ze dvou navzájem ortogonálních polarizačních složek uvedeného optického signálu a jsou schopny vydávat odpovídající složku ortogonální polarizace,

b) první a druhý polarizačně selektivní prvek (18, 19), umístěný před a po uvedeném konverzním stupni (20) a opticky připojený k uvedenému prvnímu a druhému vlnovodu (33, 34) pro oddělené předávání uvedených dvou polarizačních složek;



v y z n a č u j í c í s e t í m, že v uvedeném substrátu (1) jsou také vytvořeny

c) alespoň jeden kompenzační stupeň (10, 100) pro konverzi polarizačního módu uvedeného optického signálu v uvedené předem zvolené oblasti vlnových délek, zahrnující

c1) alespoň jeden třetí optický vlnovod (11, 110), opticky připojený k prvnímu nebo druhému z uvedených polarizačně selektivních prvků (18, 19),

c2) druhý prostředek (14) pro generování akustické povrchové vlny asociovaný s uvedeným třetím optickým vlnovodem (11, 110) a

c3) druhý akustický vlnovod (13), obsahující alespoň jednu část uvedeného třetího optického vlnovodu (11, 110),

c4) přičemž uvedený třetí optický vlnovod (11, 110) je sériově připojen ke konverznímu stupni (20) polarizačního módu a

c5) uvedený třetí optický vlnovod (11, 110) vede uvedené dvě polarizované složky v kombinované podobě.

2. Akusticko-optické zařízení podle nároku 1, v y z n a č u j í c í s e t í m, že uvedený kompenzační stupeň (10) dále zahrnuje

d) čtvrtý optický vlnovod (12), zhruba paralelní s uvedeným třetím optickým vlnovodem (11) a umístěný v předem zvolené vzdálenosti od něj,

d1) uvedený čtvrtý optický vlnovod (12) je opticky připojen k uvedenému prvnímu nebo druhému polarizačnímu selektivnímu prvku (18, 19),

- d2) uvedený druhý generující prostředek (14) akustické povrchové vlny je asociován s uvedeným čtvrtým optickým vlnovodem (12),
- d3) uvedený druhý akustický vlnovod (13) obsahuje alespoň část uvedeného čtvrtého optického vlnovodu (12)
- d4) uvedený třetí a čtvrtý optický vlnovod (11, 12) jsou připojeny k odpovídajícím větvím (2, 3) optického vlnovodu a odděleny a vzdáleny nejméně o velikost uvedeného třetího a čtvrtého optického vlnovodu (11, 12) tak, že jak uvedený třetí optický vlnovod (11) tak uvedený čtvrtý optický vlnovod (12) vedou uvedené dvě polarizační složky v kombinované formě.

3. Akusticko-optické zařízení podle nároku 1 nebo 2, v y z n a č u j í c í s e t í m, že uvedený první a druhý optický vlnovod (33, 34) a uvedený třetí a čtvrtý optický vlnovod (11, 12) jsou vzdáleny o asi 40 mikronů.

4. Akusticko-optické zařízení podle nároku 3, v y z n a č u j í c í s e t í m, že uvedený první a druhý akustický vlnovod (35, 13) mají šířku asi 110 mikronů.

5. Akusticko-optické zařízení podle nároku 2, v y z n a č u j í c í s e t í m, že přístupové větve (2, 3) optických vlnovodů mají dvě zakřivené části (4, 5, 6, 7) s opačným zakřivením.

6. Akusticko-optické zařízení podle nároku 1 nebo 2, v y z n a č u j í c í s e t í m, že uvedená druhý polarizačně selektivní prvek (19) je připojen k výstupním větvím (21, 22) z nichž každá obsahuje dvě zakřivené části (40, 41; 42, 43) s opačným zakřivením.

7. Akusticko-optické zařízení podle nároku 5 nebo 6, v y z n a -

č u j í c í s e t í m, že uvedené zakřivené části (4, 5, 6, 7; 40, 41, 42, 43) jsou zakřiveny podle oblouku kružnice mající poloměr v rozmezí od 100 do 180 mm.

8. Akusticko-optické zařízení podle nároku 1 nebo 2, v y z n a č u j í c í s e t í m, že alespoň v jednom z uvedených kompenzačních stupňů (10; 100) a konverzním stupni (20) k substrátu přiléhá adjustační prvek (60, 61; 62, 63), který může měnit teplotu alespoň jednoho kompenzačního nebo konverzního stupně (10; 100, 20) tak, aby byla kompenzována nehomogennost dvojlomnosti materiálu uvedeného substrátu (1) a uvedených optických vlnovodů (33, 34; 11; 110, 12).

9. Akusticko-optické zařízení podle nároku 8, v y z n a č u j í c í s e t í m, že uvedené adjustační prvky (60, 61; 62, 63) zahrnují dvě malé měděné destičky (60, 61) a dvě Peltierovy buňky (62, 63) přiléhající na substrát (1).

10. Akusticko-optické zařízení podle nároku 1 nebo 2, v y z n a č u j í c í s e t í m, že uvedený první a druhý prostředek (36, 14) pro generování akustické povrchové vlny sestávají z elektro-akustického převodníku (36, 14), vytvořeného vzájemně se prolínajícími elektrodami, které mohou vytvářet akustickou povrchovou vlnu o radiové frekvenci.

11. Akusticko-optické zařízení podle nároku 10, v y z n a č u j í c í s e t í m, že uvedený elektro-akustický převodník (36, 14) je umístěn v akustickém vlnovodu (37, 15), umístěný souběžně a komunikující s prvním nebo druhým akustickým vlnovodem (35, 14), čímž se vytváří akustický vazební člen s předem určenou délkou interakce.

12. Akusticko-optické zařízení podle nároku 10, v y z n a č u

j í c í s e t í m, že obsahuje dva elektro-akustické převodníky (36, 14), na něž je přiváděn společný budicí signál.

13. Způsob akusticko-optického přepínání optických signálů zahrnující následující kroky:

- oddělení polarizačních složek optického signálu do dvou různých vlnovodných drah;
- konverze oddělených polarizací uvedeného signálu v obou uvedených drahách pomocí akusticko-optické interakce s první společnou akustickou vlnou;
- kombinace uvedených polarizací uvedeného optického signálu; v y z n a č u j í c í s e t í m, že
- v sérii s uvedenými kroky zahrnuje další krok konverze neoddělených polarizací uvedeného optického signálu pomocí akustické interakce s druhou společnou akustickou vlnou, přičemž uvedená druhá akustická vlna má frekvenci rovnou uvedené první akustické vlně.

14. Způsob podle nároku 13, v y z n a č u j í c í s e t í m, že jemné doladování alespoň jednoho z uvedených polarizačně konverzních kroků zahrnuje adjustaci teploty substrátu, nesoucího uvedenou vlnovodnou cestu.

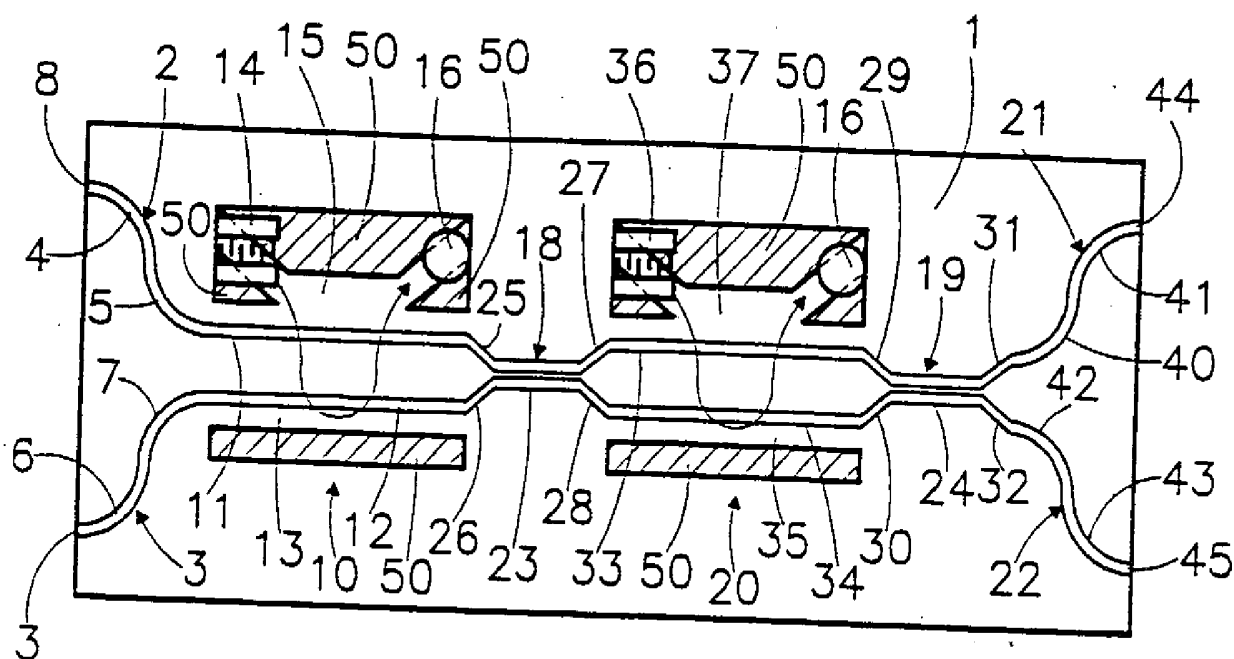
15. Způsob podle nároku 13, v y z n a č u j í c í s e t í m, že uvedený krok konverze polarizací prostřednictvím akusticko-optické interakce zahrnuje přivedení prvního elektrického signálu o danou frekvenci k prvnímu elektro-akustickému převodníku (14) a uvedený další polarizačně konverzní krok s využitím akusticko-optické interakce zahrnuje přivedení druhého elektrického signálu o téže uvedené dané frekvenci k druhému elektro-akustickému převodníku (36).

16. Způsob podle nároku 15, v y z n a č u j í c í s e t í m,

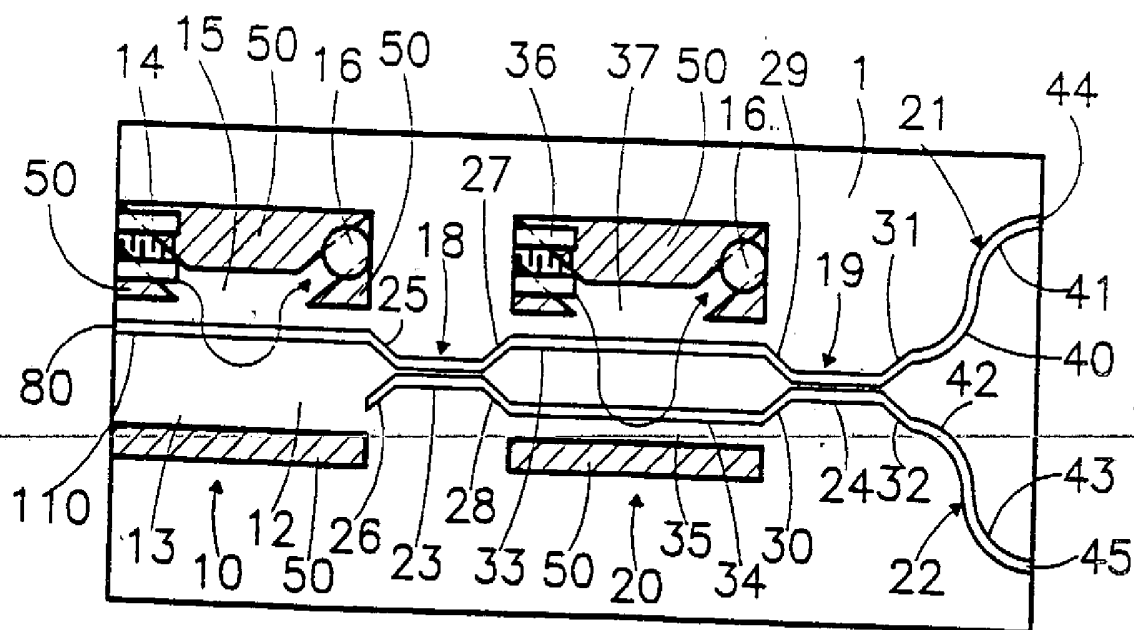
že jediný elektrický signál o dané frekvenci je přiveden jak na první (14), tak i na druhý (36) elektro-akustický převodník.

Zastupuje:

JUDr. Pavel Zelený

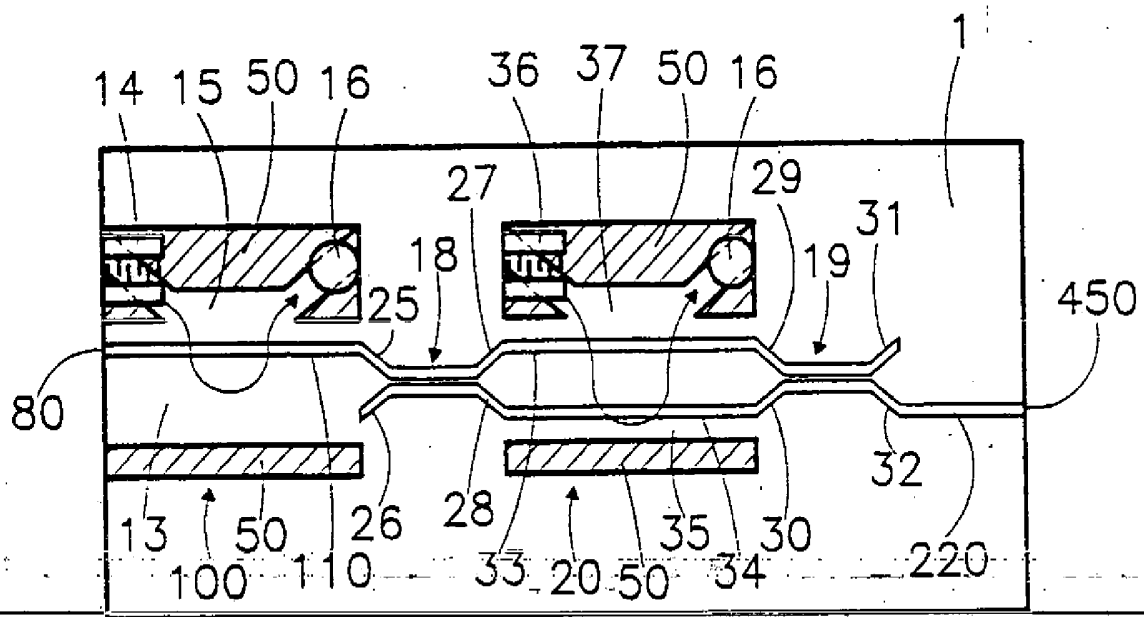


OBR. 1

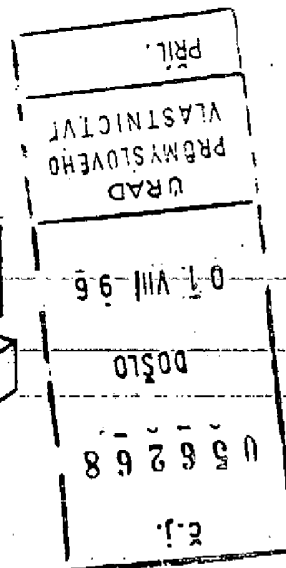
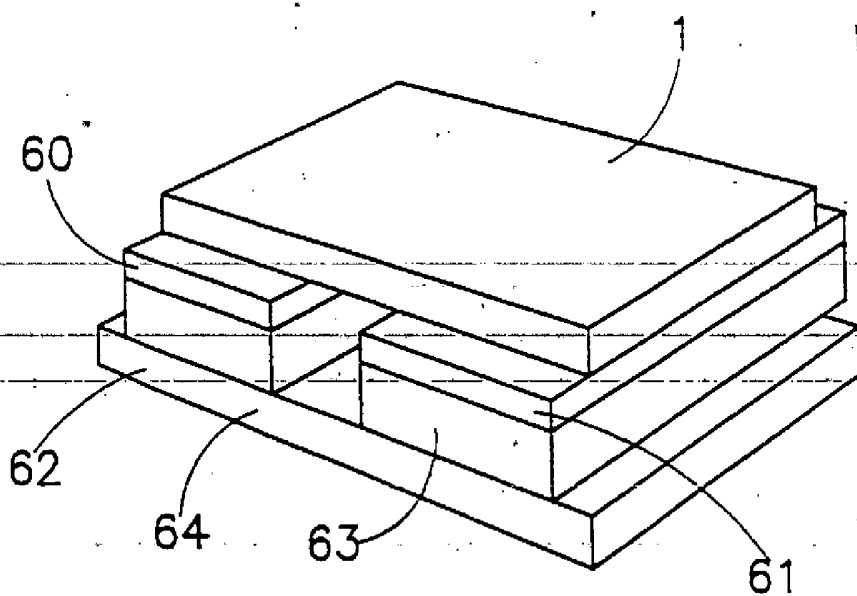


OBR. 2

Č.j.	5 6 2 6 8
00510	
0 1. VIII 9 6	
URAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ	
Přil.	



OBR. 3



OBR. 4