

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

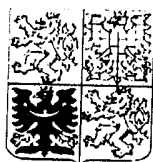
zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

1280-97

(19)

ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **28. 04. 97**

(32) Datum podání prioritní přihlášky: **30.04.96**

(31) Číslo prioritní přihlášky: **96/640377**

(33) Země priority: **US**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **12. 11. 97**
(Věstník č. 11/97)

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.⁶:

H 01 S 3/025
H 01 S 3/02

(71) Přihlášovatel:

LUCENT TECHNOLOGIES INC., Murray
Hill, NJ, US;

(72) Původce:

Cunningham John Edward, Lincroft, NJ, US;
Jan William Young, Scotch Plains, NJ, US;
Knox Wayne Harvey, Rumson, NJ, US;
Tsuda Sergio, Red Bank, NJ, US;

(74) Zástupce:

Andera Jiří Ing., Nad Štolou 12, Praha 7,
17000;

Intenzita nelineárního reflektoru a s tím související vlastnosti synchronizace vidů laseru může být řízena umístěním kvantové jámky (jímek) v určité pozici uvnitř relaxační vrstvy.

(54) Název přihlášky vynálezu:

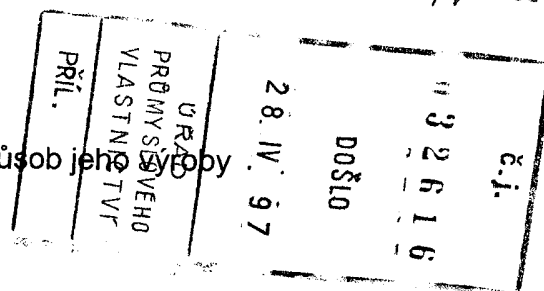
Struktura nasyceného Braggova reflektoru a způsob jeho výroby

(57) Anotace:

Nízké optické ztráty a zjednodušení způsobu výroby se dosáhne nelineárním reflektorem, který zahrnuje jednu nebo více polovodičových kvantových jímek uvnitř relaxační vrstvy o polovin vlnové délky (kde n je liché celé číslo větší než nula), která se vytvoří na standardním polovodičovém čtvrtvlnném vrstveném reflektoru. Růst vrstvy poloviční vlnové délky se řídí tak, aby se v oblasti rozhraní vytvořila dostatečná koncentrace dislokací, které účinně pracují jako neradiační rekombinantní zdroje. Po nasycení odstraňují tyto rekombinační zdroje nosiče z kvantové jámky před tím, než do dutiny laseru dorazí další kmit optického pulsu. Nelineární reflektor je vhodný pro synchronizaci vidů laseru při dlouhých vlnových délkách, které souvisí s mnoha v současné době připravovanými telekomunikačními aplikacemi a poskytuje, při těchto vlnových délkách, na intenzitě závislou odezvu, která jej umožňuje použít pro nasycenou absorpci přímo v hlavní oscilační dutině laseru.

CZ 1280-97 A3

Struktura nasyceného Braggova reflektoru a způsob jeho výroby



Oblast techniky

- Vynález se týká polovodičových součástek, vynález se týká zvláště na
 5 intenzitě závislého reflektoru pro synchronizaci vidů v laserech pro generování ultrakrátkých optických pulsů.

Dosavadní stav techniky

- Optické pulsy krátkého trvání vytvářené synchronizací vidů laserů jsou
 10 užitečné pro vysokorychlostní zpracování signálů a datové komunikace. Obecně se tyto pulsy nazývají ultrakrátké, protože vykazují šířku pulsů v pikosekundových a sub-pikosekundových pásmech. Použití polovodičových nasycených absorbérů pro pasivní synchronizaci vidů pevných (=z pevné fáze, skupenství) laserů pro generování ultrakrátkých optických pulsů se osvědčilo. Polovodičové struktury
 15 jsou k tomuto účelů zvláště vhodné, neboť jsou levné, kompaktní, mohou být navrženy pro práci v širokých pásmech spektra a mají krátké časy odezvy.

- Nasycený absorbér zahrnuje nelineární reflektor, který se nachází buď přímo v generační optické dutině nebo ve vnější optické dutině, která je na generační dutinu vázána. Protože se jeho nepropustnost mění jako funkce
 20 intenzity dopadajícího záření určité vlnové délky, pracuje nasycený absorbér jako filtr dopadajícího záření. Veškeré slabé dopadající záření určité vlnové délky je nasyceným absorbérem absorbováno. Dopadající záření, které dosáhne určité dostatečně vysoké hladiny intenzity - známé jako intenzity nasycení - nasyceným absorbérem prochází. Obecně je zeslabení záření způsobené absorbérem
 25 relativně nízké, neboť absorbér je při žádané vlnové délce nasycen do průhledného stavu.

- Polovodičové nasycené absorbéry se vyrábí s úzkopásmovou a širokopásmovou odezvou. Pro aplikace úzkopásmové absorpce se používá základního polovodičového materiálu a heterostruktur násobné kvantové jímky,
 30 pro širokopásmové aplikace byly vyvinuty heterostruktury násobné kvantové jímky se speciálně odstupňovanými odstupy pásem. Při realizaci kvantové jímky

takových absorpčních součástí se nechá heterostruktura kvantové jímky narůst na polovodičovém čtvrtlíném vrstveném reflektoru. V jiném uspořádání, které je známo jako antirezonanční Fabry-Perotův nasycený absorbér, narostou vrstvy tenkého filmu oxidu polopropustného reflektoru na heterostruktuře kvantové jímky, vznikne tak Fabry-Perotův etalon se čtvrtlíným vrstveným reflektorem. U těchto součástí reaguje nasycený absorpční prvek (MQW - multiple quantum well) na záření vlnové délky, která odpovídá antirezonanční části odezvové charakteristiky Fabry-Perotova etalonu. Tato součástka má slabou vazbu s dutinou laseru a způsobuje menší ztráty než jiné součástky násobné kvantové jímky používané pro synchronizaci vidů laseru. Realizace antirezonančního Fabry-Perotova nasyceného absorbéru však bohužel vyžaduje nezanedbatelné operace zpracování a optimalizace navíc.

V U.S. patentové přihlášce 08/404,664, podané W. Knoxem 15. března 1995 nazvané NASYCENÝ BRAGGŮV REFLEKTOR a udělené společnosti Lucent Technologies Inc., které je také držitelem této přihlášky, je popsána nová, monolitická polovodičová struktura, která provádí, jak bylo pozorováno, vnitrodutinovou pasivní synchronizaci vidů. Příkladná struktura absorbéru popisovaná Knoxem se vyrábí nárůstem jednoduché GaAs kvantové jímky (QW - quantum well) v rámci vysoce odrazivého GaAs/AlGaAs Braggova vrstveného reflektoru. Na rozdíl od předchozích realizací nasycených absorbérů nevyžaduje tato struktura absorbéru žádné porůstové výrobní operace. Absorbér popsáný Knoxem ve shora uvedené patentové přihlášce se úspěšně využívá pro synchronizaci vidů diodou čerpaného Cr:LiSAF laseru - vydává 100 fs trvající pulsy s vlnovou délkou 850 nm. Přitom struktura vykazuje velmi malé ztráty, což je vysoce žádoucí vlastnost, neboť pevné lasery obecně vykazují nízké zesílení díky svému malému emisnímu průřezu, zvláště lasery čerpané diodou mají zesílení velmi malé. Nevýhodou však zůstává, že struktury absorbéru popisované Knoxem nejsou vhodné pro provoz s většími vlnovými délkami, které jsou spojeny s v současné době připravovanými telekomunikačními aplikacemi (např. 1300 nm, 1550 nm, apod.).

Jak je uvedeno výše, skládá se nasycený Braggův reflektor (BR) ze dvou složek. Jednou je vysoce odrazivé vrstvené zrcadlo (>99%) a druhou jedna nebo

více kvantových jímek, které pracují jako absorbní médium. Zatímco pro 850 nm aplikace lze tyto složky vyrobit přímo a jednoduše, jak ukázal Knox, představuje rozšíření stávajících technik pro výrobu struktur absorberu, které by byly schopny synchronizovat vidy laseru pracujícího s podstatně delšími vlnovými délkami vyžadovanými telekomunikačními aplikacemi, několik problémů. Struktury schopné práce v typických telekomunikačních vlnových délkách (např. 1550 nm) vznikají obvykle na InP substrátech. Protože neexistuje binární polovodičový systém, který by ideálně odpovídal krystalové mřížce InP, musí kterákoliv užitečná heterostruktura rostoucí na InP růst za přesně řízených podmínek souladu krystalové mřížky. Dále, rozdíl v indexu lomu, Δn , mezi různými sloučeninami, které lze použít pro sestavení Braggova reflektoru, je velmi malý (řádově 0.12 při 1550 nm). Pro dosažení odrazivosti větší než 99.5 % musí být Braggův reflektor sestaven z velkého počtu (např. 40) silných (např. 240 nm) period, což vede k celkovým tloušťkám epitaxu větším než 6 mm. Výše uvedené faktory způsobují, že růst vysoce odrazivých zrcadel na InP substrátu je nadmíru obtížný a časově náročný úkol.

Podstata vynálezu

Shora uvedené nedostatky řeší a pokrok v oboru přináší využití heteroepitaxního růstu na InP založených sloučenin na GaAs substrátech, čímž se získají vysoce čisté struktury nelineárního reflektoru. Tímto způsobem získané struktury nevyžadují porůstové zpracování a byly úspěšně využity pro pasivní synchronizaci vidů jak Cr^{4+} :YAG laseru, tak Er-Yb:vlákno laseru, které jsou oba ve středu zájmu telekomunikační komunity jako laserové zdroje.

Podle vynálezu se nízké optické ztráty a zjednodušené výroby dosáhne nelineárním reflektorem, který zahrnuje jednu nebo více polovodičových kvantových jímek uvnitř relaxační vrstvy n polovin vlnové délky (kde n je liché celé číslo větší než nula), které se vytvoří na standardním polovodičové čtvrtvlnném vrstveném reflektoru. Růst vrstvy poloviční vlnové délky se řídí tak, aby se v oblasti rozhraní vytvořila dostatečná koncentrace dislokací, které účinně pracují jako neradiační rekombinační zdroje. Po nasycení odstraňují tyto rekombinační zdroje nosiče z kvantové jímky v dostatečném předstihu před tím, než do dutiny

laseru dorazí další kmit optického pulsu. Přítomnost těchto rekombinačních zdrojů může vysvětlit ultrakrátké časy odezvy, které byly pozorovány při zkoumání struktur vyrobených podle vynálezu. Jak je známým v oboru okamžitě zřejmé, mají součástky s takto krátkou dobou odezvy neocenitelnou hodnotu jako WDM zdroje v aplikacích, které vyžadují komunikaci na více vlnových délkách.

Nelineární reflektor může pracovat při velkých vlnových délkách, které souvisí s mnoha v současné době připravovanými telekomunikačními aplikacemi a poskytuje, při těchto vlnových délkách, na intenzitě závislou odezvu, která jej umožňuje použít pro nasycenou absorpci přímo v hlavní oscilační dutině laseru. Intenzita nasycení nelineárního reflektoru a s tím související vlastnosti synchronizace vidů laseru může být řízena umístěním kvantové jímky (jímek) v určité pozici uvnitř relaxační vrstvy.

Podle příkladného provedení vynálezu se nechá heteroepitaxně růst jedna nebo více InGaAs/InP kvantových jímek přímo na vysoce odrazivé AlAs/GaAs zrcadlové struktuře, která je dále vytvořena na GaAs substrátu. InP relaxační vrstva, která obsahuje jednu nebo více InGaAs/InP kvantových jímek se nechá narůst do optické tloušťky $\lambda/2$ (jedna polovina optické vlnové délky), takže příslušný prvek optické přenosové matice je roven jedné, což na druhé straně udržuje stav vysoké odrazivosti struktury. Teploty použité v průběhu růstu relaxační vrstvy se volí tak, aby se mezi zrcadlovou strukturou a relaxační vrstvou vytvořilo rozhraní obsahující velký počet dislokací. Kvantové jímky leží v této velmi neuspořádané oblasti. Ačkoliv lze důvodně očekávat, že takový výsledek bude nežádoucí, objevili vynálezci, že opak je pravdou. QW vyrobené tímto způsobem překvapivě vykazují fotoluminiscenci (PL) pozoruhodně vysoké kvality a také dobré vlastnosti synchronizace vidů.

Přehled obrázků

Plnějšího porozumění vynálezu lze dosáhnout čtením následujícího popisu určitého příkladného provedení vynálezu s odkazy na připojené obrázky.

Na obrázku 1 je řez strukturou nelineárního reflektoru vyrobeného podle příkladného provedení vynálezu.

Na obrázku 2 je graf fotoluminiscenčního spektra struktury dle obrázku 1 při pokojové teplotě.

Na obrázku 3 je graf porovnávající spektra odrazivosti AlAs/GaAs zrcadla a úplné struktury dle obrázku 1.

5 Na obrázku 4A je schéma příkladného uspořádání Cr^{4+} :YAG laseru, který má pasívně synchronizovány vidy strukturou dle obrázku 1, která se nachází v rezonanční dutině laseru.

Na obrázku 4B je schéma příkladného uspořádání Erbium- Ytterbiového laseru, který má pasívně synchronizovány vidy strukturou dle obrázku 1, která se nachází v rezonanční dutině laseru.

Na obrázku 5 je autokorelační stopa získaná synchronizací vidů laseru dle obrázku 4A strukturou dle obrázku 1, zobrazený puls synchronizace vidů přísluší FWHM (full width of half maximum = celková šířka pásma při úrovni 0.5)= 110 fs.

Na obrázku 6 je graf spektra pulsu synchronizace vidů dle obrázku 5.

Příklady provedení vynálezu

Jak bylo již naznačeno v části "Dosavadní stav techniky", byl doposud růst vysoce odrazivých zrcadel na InP substrátech nesmírně obtížným a časově náročným úkolem, což komerční výrobu nelineárních reflektorů, které by byly vhodné pro mnohé v současné době zamýšlené aplikace v oblasti telekomunikací, prakticky znemožňovalo. Vynález je, alespoň ze značné části, založen na poznání autorů, že heteroepitaxně roslá vysoce odrazivá Braggova zrcadla z GaAs a AlAs na GaAs substrátech lze s výhodou použít takovým způsobem, který problémy spojené s růstem takových struktur přímo na InP zcela vylučuje.

25 Heteroepitaxní růst InP na GaAs je již znám. Například A.G. Dentai et al. použil způsob MOCVD (metal-oxide chemical vapor deposition) a předvedl, že navzdory relativně velkému nesouladu (~3.8%) může vysoce čistý InP růst přímo na GaAs ("MOVPE InGaAs/InP Growth Directly on GaAs Substrates", Electron Lett. 22, 1186 (1986)). Dále byla zveřejněna porovnání, ze kterých vyplývá, že součástky založené na InP, jako detektory a tranzistory, rostlé přímo na GaAs substrátech mají srovnatelnou výkonnost se součástkami rostlými na InP substrátech. Viz například článek od A.G. Dentaie et al. nazvaný "InGaAs P-I-N

Photodiodes grown on GaAs Substrates by MOVPE", Electron Lett. 23, 38 (1987).
V průběhu výše zmíněného MOCVD procesu se během růstu obvykle teplota substrátu udržuje na 650°C, aby se zajistilo rozložení organometalických zdrojů při styku s vodou.

5 Aby se předešlo poruchám, které souvisí z nesouladným růstem ve strukturách typu, který popsal Dentai et al., nechá se mezi GaAs substrátem a součástkovou vrstvou narůst vyrovnávací InP vrstva o tloušťce nejméně 1 μm . U vynálezu je růst takto silné vyrovnávací vrstvy nemožný. Přesněji řečeno, rozdíl dielektrických koeficientů mezi GaAs a InP by způsobil nepřipustně vysokou ztrátu odrazivosti.

10 Nelineární nebo nasycený Braggův reflektor, který se vyrobí způsobem podle Knoxe z výše uvedené související patentové přihlášky, využívá čtvrtlnného skládaného dielektrického reflektoru s vysokou odrazivostí, ve kterém jsou do předem určených míst rozmístěny jedna nebo více kvantových jímek, které
15 zajišťují nelineární charakteristiku reflektoru. Tato struktura pracuje jako nasycený absorbér s nízkou ztrátou, který může být použit přímo v hlavní generační dutině laseru, jako je například pevný laser. Poloha kvantové jímky spolu s jinými faktory určuje intenzitu nasycení nasyceného reflektoru. Vynález se liší od Knoxova uspořádání tím, že kvantové jímky se vytvoří v relaxační vrstvě poloviční vlnové
20 délky (jedna polovina délky optické cesty), která se nechá narůst nebo se jinak vytvoří na čtvrtlnném vrstveném dielektrickém reflektoru.

Příklad struktury nelineárního reflektoru 10 navržené podle vynálezu je zobrazen na obrázku 1. Příkladné provedení dle obrázku 1 využívá množství kvantových jímek (zobrazeny jsou pouze dvě, 12a a 12b) vyrostlé v InP relaxační
25 vrstvě 14, která naopak vyrostla na čtvrtlnné vrstvené dielektrické zrcadlové struktuře 16. Zrcadlová struktura 16 se vytvoří na GaAs substrátu 18 a skládá se (pouze z důvodů názornosti) z vrstev vytvořených v polovodičovém složeném systému GaAs/AlAs.

30 Struktura 10 byla vytvořena metodou GSMBE (Gas Source Molecular Beam Epitaxy), ve které se použilo jako zdrojů skupiny V rozložených AsH_3 a PH_3 a jako zdrojů skupiny III samotných přírodních prvků. Na GaAs substrátu 18, který má tloušťku 350 μm , se vytvořilo růstem třiceti period střídavých vrstev GaAs a AlAs

při teplotě substrátu 600 °C a při poměru V/III rovno dvěma čtvrtvlnné vrstvené dielektrické zrcadlo 16. Příkladný Braggův reflektor dle obrázku 1 tedy zahrnuje sérii vrstev střídajících se materiálů, které mají rozdílné indexy lomu. Můžeme se na ně dívat také jako na množství párů vrstev, kdy se každý pár vrstev skládá z vrstvy širokého odstupů energetického pásma 20a a z vrstvy úzkého odstupů energetického pásma 20b. Jsou-li vrstvy uspořádány tak, že tloušťky jednotlivých vrstev odpovídají přibližně čtvrtině vlnové délky (jedné čtvrtině délky optické cesty), tvoří navrstvené vrstvy zrcadlo s odrazivostí blížící se jedné. V uspořádání dle obrázku 1 jsou vrstvy širokého odstupů pásma 20a z AlAs a vrstvy úzkého odstupů pásma 20b z GaAs. Tento systém vrstev je vhodný pro provoz v rozsahu vlnových délek okolo 1550 nm. Protože je reflektor standardní čtvrtvlnné vrstvené konstrukce, měla by optická tloušťka každé vrstvy být rovna přibližně jedné čtvrtině požadované provozní vlnové délky. Samotný reflektor bez kvantové jímky vykazuje na intenzitě nezávislou odrazivost a pokud by byl umístěn do dutiny laseru, neovlivnil by, ani nevyvolal, synchronizaci vidů.

Pro nárůst InP relaxační vrstvy 14 příkladné struktury 10 se může použít dvoukrokového procesu, kterého se široce využívá pro heteroepitaxní růst GaAs na Si. Podrobnější vysvětlení problematiky dvoukrokového procesu pro GaAs na Si lze nalézt v článku od J.E. Cunninghama et al. nazvaném "Growth of GaAs on Si by Gas Source Molecular Beam Epitaxy for 850 nm Optical Interconnects" zveřejněném v J. Vac. Sci. Technol. B 12,1 (1994). Podle přizpůsobení tohoto dvoukrokového procesu vynálezu naroste první část relaxační vrstvy 14, která má tloušťku asi 180 Å, na nejvyšší vrstvě čtvrtvlnné vrstvené struktury 16.

V průběhu růstu první části 14 se udržuje dostatečně nízká teplota taková, aby vzniklé rozhraní se čtvrtvlnnou vrstvenou strukturou mělo koncentraci dislokací nejméně $1 \times 10^6 / \text{cm}^2$, s výhodou koncentraci větší než $1 \times 10^6 / \text{cm}^2$. Vynálezci objevili, že v dostatečné koncentraci v oblasti rozhraní pracují dislokace jako neradiační rekombinační zdroje. Po nasycení tyto rekombinační zdroje odstraňují nosiče v kvantové jímce před tím, než do dutiny lasery dorazí další kmit optického pulsu. Je možné, že přítomnost těchto rekombinačních zdrojů způsobuje rovněž ultrakrátké časy odezvy, které byly pozorovány při pokusech, které vynálezci provedli. Zdá se, že součástky s takto krátkou dobou odezvy

budou mít neocenitelnou hodnotu jako WDM zdroje v aplikacích, které vyžadují komunikaci na více vlnových délkách.

Počáteční růstová teplota u příkladné struktury dle obrázku 1 činila přibližně 400 °C (měřeno termočlánkem za držákem substrátu). Po nárůstu první části relaxační vrstvy 14 se může růstová teplota pozvolna zvýšit na úroveň, která se zvolí taková, aby se omezila rekombinace a migrace dislokací, které se předtím vytvořily v přechodové oblasti.

Při výrobě struktury dle obrázku 1 se může teplota pozvolna zvýšit na 520 °C, dokud InP vrstva nedosáhne tloušťky přibližně 300 angstromů. Poté se struktura vyžihá pozvolným zvýšením teploty na přibližně 650 °C a asi pětiminutovou výdrží na této teplotě pod přívodem PH₃ v množství 20 SCCM (standardní centimetr krychlový za minutu). Na konci žíhacího cyklu lze pozorovat zřetelné (2X4) rekonstrukce, což naznačuje vytvoření velkých oblastí jediného krystalu InP.

Poté se teplota substrátu sníží na 500 °C a růst InP se obnoví za podmínek, které popsal R.N. Pathak et al. v článku nazvaném "InGaAs-InP P-I(MQW)-N Surface Normal Electroabsorption Modulators Exhibiting Better Than 8:1 Contrast Ratio for 1.55 Micron Applications Grown by GSMBE", IEEE Phot. Tech. Lett. 6, 1439 (1994) v souvislosti s růstem vysoce čistých InP/InGaAs modulátorů. Podle příkladného přizpůsobení tohoto procesu pro výrobu uspořádání dle obrázku 1, rostou vrstvy kvantových jímek při 500 °C rychlostí růstu india nastavenou na 0.53 monovrstvy za sekundu. Rychlost růstu galia byla 0.50 monovrstvy za sekundu, aby molární podíl india činil 0.53. Toky arzenu a fosforu byly nastaveny tak, aby podíl skupin V/III byl 2:1. Tímto způsobem narostly na první části relaxační vrstvy 14 vrstvy kvantové jímky InGaAs, které zahrnují 8 nm silnou vrstvu InGaAs 12a a 10 nm silnou vrstvu InP 12b.

Po růstu QW struktury následovalo vytvoření InP krycí vrstvy 22, která má takovou tloušťku, aby celková tloušťka relaxační vrstvy činila polovinu vlnové délky.

U vzorků struktury narostlé podle výše popsaného příkladného procesu bylo zjištěno, že vykazují velmi intenzivní fotoluminiscenci. Typické fotoluminiscenční spektrum struktury dle obrázku 1 při pokojové teplotě je na

obrázku 2. Hlavní vrchol se připisuje excitonické rekombinaci mezi vázanými stavy elektronu a těžké díry a menší signál je pravděpodobně způsoben stavy elektronu a lehké díry. FWHM hlavního vrcholu je 12 meV, což naznačuje, že bylo vskutku dosaženo vysoce čistého růstu QW. Pod optickým kontrastním mikroskopem se morfologie jeví jako vysoce lesklá, bez viditelných náznaků mřížování způsobeného relaxací. To je důležitou stránkou způsobu růstu podle vynálezu, protože minimalizuje ztráty působené rozptýlením dopadajícího záření. Výsledky měření odrazivosti vrstveného zrcadla, která se provedla před a po nárůstu na AVIV spektrometru, jsou ukázány na obrázku 3. Známa přesnost tohoto zařízení však činí pouze 4-5%. Pečlivější měření provedená uvnitř dutiny laseru ukázala, že úbytek odrazivosti úplné struktury oproti zrcadlu je menší než 0.5%.

Na obrázku 4A je zobrazena struktura nelineárního reflektoru 10 dle obrázku 1, která je použita jako nasycený absorbér pro synchronizaci vidů Cr^{4+} :YAG laseru 28. Hlavní dutina laseru je vytvořena mezi vysoce odrazivým zrcadlem 42 a strukturou reflektoru 10. Jak je z obrázku 42 zřejmé, má kvůli kompenzaci astigmatismu dutina laseru složené Z-uspořádání.

Krystalová tyčinka 20 x 5 mm Cr^{4+} :YAG 30 zaříznutá Brewsterovým způsobem slouží jako médium optického zesílení laseru se synchronizovanými vidy. Zrcadla 32, 34, 36 a 42 mají všechna odrazivost soustředěnou okolo pásma 1550 nm a skládací zrcadla 34 a 36 mají zakřivení s poloměrem 10 cm. Skládací zrcadla 34 a 36 usměrňují optické signály přes tyčku 30, která je zesilovacím médiem. V jednom rameni Z-uspořádání se nacházejí dva hranoly z taveného oxidu křemičitého, kterými se nastavuje negativní a pozitivní rozptyl použitý pro tvarování pulsů. Struktura nasyceného reflektoru 10 je umístěna do ohniska vysoce odrazivého zrcadla 32 s poloměrem zakřivení 10 cm a je připevněna na měděný blok do místa o přibližném průměru 100 μm .

Zrcadlo 32 tedy zaostřuje vlny v dutině na povrch struktury nelineárního reflektoru 10. Membrána 44 o tloušťce 4 μm umístěná v blízkosti Brewsterova úhlu jednoho ramena slouží jako proměnný výstupní vazebný člen. Vnější $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ laser (není zobrazen), který dodala společnost Sprecta Physics, byl čerpán dvěma 20 W diodovými poli připojenými skelným vláknem k hlavě laseru.

Dvě čočky 46 a 48 s ohniskovými vzdálenostmi 12 a 15 cm slouží pro přivádění čerpacího paprsku s omezenou difrakcí do optické dutiny přes skládací zrcadlo 36.

Struktura nelineárního reflektoru 10 byla dále úspěšně použita, jak je ukázáno na obrázku 4B, jako nasycený Braggův reflektor pro synchronizaci vidů Er-Yb:vlákno laseru 50. Takové uspořádání je zvláště zajímavé, protože představuje možný širokopásmový kompaktní laserový zdroj pro WDM přenosové systémy s kolísavými pulsy. V příkladném uspořádání dle obrázku 4B se struktura reflektoru 10 nachází uvnitř hlavní dutiny laseru 50. Čerpací dioda 90 mW, 980 nm 52 je připojena přes dělicí multiplexer vlnových délek 54 (WDM -wavelength division multiplexer) a rotační spojku 56, která je povlečena potahem, jehož odrazivost je 99% pro 1550 nm a který je transparentní pro 980 nm. Část Er/Yb vlákna 58 slouží jako zesilovací médium a část vlákna pro řízení rozptylu 60 (DSF - dispersion shifter fiber) zajišťuje kompenzaci rozptylu. Dutinu vlákna zakončuje struktura nelineárního reflektoru 10.

Experimentální data získaná v průběhu provozu zařízení dle obrázku 4A se synchronizací vidů jsou zobrazena na obrázcích 5 a 6. Nasycení nasyceného Braggova reflektoru 10 synchronizuje vidy laseru dle obrázku 4A, který generuje sekvenci koherentních optických pulsů. Šířka pulsů je určena omezujícími vlastnostmi rozptylu a šíří pásma nasyceného Braggova reflektoru. Uspořádání dle obrázku 4A generovalo ultrakrátké optické pulsy, které, jak je ukázáno na obrázcích 5 a 6, vykazovaly pulsní autokorelaci přibližně 110 fs a šířku pásma 26 nm středěnou okolo 1541 nm.

Jak je ukázáno na obrázku 1, vrstva kvantové jímky se nechá narůst na relaxační vrstvě 14. Molární podíl x pro kvantovou jímku se zvolí tak, aby excitony (kombinace elektronu a díry v krystalové mřížce) zůstaly ve stavu pod odstupem pásma vrstev úzkého odstupu pásma $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ v Braggově reflektoru. V případě z experimentů je vhodné použít molární podíl menší než $x=0.53$. U experimentálních součástek bylo použito tloušťky kvantových jímek přibližně 60Å s rozestupy 70Å a s vlnovou délkou excitonů přibližně 1550 nm. Kvantové jímky se nacházely 150Å od povrchu půlvlnné struktury.

Jak upozornil Knox ve výše zmíněné patentové přihlášce, ve struktuře nasyceného absorberu může být tloušťka vrstvy reflektoru, která obsahuje kvantovou jámku, rovna standardní čtvrtvlnné délce zmenšené o tloušťku kvantové jámky, aniž by docházelo k nějakým významným změnám výkonnosti. To znamená, že není nutná žádná první aproximace pro zjištění skutečné změny délky optické dráhy způsobené přítomností kvantové jámky ve vrstvě reflektoru. Celková tloušťka vrstvy reflektoru spolu s vrstvou kvantové jámky může být tedy aproximována s dostatečnou přesností čtvrtvlnnou tloušťkou standardní vrstvy reflektoru ze stejného typu materiálu bez kvantové jámky.

Stojí za povšimnutí, že Brewsterovy hranoly 38 a 40, které v uspořádání dle obrázku 4A zajišťují kompenzaci rozptylu, mohou být z dutiny laseru odstraněny. V tomto případě lze z laseru získat pulsy o šířce přibližně 100 femtosekund. Nastartování procesu synchronizace vidů je téměř okamžité, protože nelinearita nasycení závisí na energii dopadajícího záření, nikoliv na jeho intenzitě.

Lze se domnívat, že pro zamýšlené součástky s krátkým časem odezvy by bylo možné nechat růst kvantové jámky při nízké teplotě. Rozumí se, že ačkoliv byla výše popsána výroba nasyceného Braggova reflektoru z materiálového systému AlAs/GaAs skupiny III-V, mohou se pro výrobu součástky zvolit i jiné materiálové kombinace z jiných systémů polovodičové skupiny III-V, jako jsou GaAs/InGaAs, InGaAs/InGaAlAs, InGaAs/InAlAs, GaAs/AlAs, GaAsSb/GaAlAsSb a InGaAsP/InP. Dále se zamýšlí rozšířit součástkové struktury na polovodičové sloučeniny ze skupiny II-VI a skupiny IV.

PATENTOVÉ NÁROKY

Struktura nesyčícího Braggova reflektoru

1. Dielektrické zrcadlo, **vyznačující se tím**, že zahrnuje čtvrtvlnnou vrstvenou sestavu vrstev dielektrického materiálu, relaxační vrstvu n polovin vlnové délky, 5 kde n je liché celé číslo větší než nula, a vrstvu kvantové jámky uvnitř řečené relaxační vrstvy, takže řečené dielektrické zrcadlo poskytuje odezvu nelineárního nasycení na dopadající záření.
2. Dielektrické zrcadlo podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že čtvrtvlnná 10 vrstvená sestava zahrnuje množství vrstev polovodičového materiálu střídavě s širokým a úzkým odstupem pásma.
3. Dielektrické zrcadlo podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že čtvrtvlnná 15 vrstvená sestava narostla na GaAs a že řečená relaxační vrstva je InP.
4. Dielektrické zrcadlo podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že vrstvy s širokým odstupem pásma zahrnují AlAs a vrstvy s úzkým odstupem pásma zahrnují GaAs.
- 20 5. Dielektrické zrcadlo podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že rozhraní mezi řečenou čtvrtvlnnou vrstvenou sestavou a řečenou relaxační vrstvou určuje koncentraci dislokací větší než $1 \times 10^6/\text{cm}^2$.
- 25 6. Dielektrické zrcadlo podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že řečená relaxační vrstva heteroepitaxně narostla na nejvyšší vrstvě řečené čtvrtvlnné vrstvené sestavy.
- 30 7. Dielektrické zrcadlo podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že řečená relaxační vrstva zahrnuje polovodičový materiál, jehož krystalová mřížka neodpovídá mřížce čtvrtvlnné vrstvené sestavy.

8. Dielektrické zrcadlo podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že řečená relaxační vrstva zahrnuje polovodičový materiál, který byl zoxidován.

5 9. Dielektrické zrcadlo podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že řečená relaxační vrstva zahrnuje polovodičový materiál, jehož krystalová mřížka neodpovídá mřížce čtvrtvlnné vrstvené sestavy.

10. Laser pro vytváření optického paprsku první vlnové délky, **vyznačující se tím**, že zahrnuje na prvním a druhém konci reflektor a zesilovací médium, řečený
 • 10 reflektor na druhém konci obsahuje čtvrtvlnnou vrstvenou sestavu vrstev dielektrického materiálu, relaxační vrstvu n polovin vlnové délky, kde n je liché celé číslo větší než nula, a vrstvu kvantové jámky uvnitř řečené relaxační vrstvy, takže řečené dielektrické zrcadlo poskytuje odezvu nelineárního nasycení na dopadající záření a tím synchronizuje vidy řečeného laseru.

15

11. Laser podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že čtvrtvlnná vrstvená sestava zahrnuje množství vrstev polovodičového materiálu střídavě s širokým a úzkým odstupem pásma.

20 12. Laser podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že čtvrtvlnná vrstvená sestava narostla na GaAs.

13. Laser podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že vrstvy s širokým odstupem pásma zahrnují AlAs a vrstvy s úzkým odstupem pásma zahrnují GaAs.

25

14. Laser podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že zesilující médium obsahuje vlákno s příměsí erbia ytterbia.

30 15. Laser podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že rozptylové médium obsahuje vlákno kompenzace rozptylu.

16. Laser podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že první vlnová délka je z pásma se středem v 1550 nm.

17. Laser podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že dále zahrnuje vnější čerpací laserový zdroj.

18. Laser podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že řečený vnější čerpací laserový zdroj je polovodičovým diodovým laserem.

19. Způsob výroby dielektrického zrcadla pro poskytování odezvy nelineárního nasycení na dopadající záření, **vyznačující se tím**, že zahrnuje kroky:
vytvoření čtvrtvlnné vrstvené sestavy vrstev dielektrického materiálu na substrátu; heteroepitaxní růst relaxační vrstvy n polovin vlnové délky, která obsahuje nejméně jednu kvantovou jámku, na nejvyšší vrstvě řečené čtvrtvlnné vrstvené sestavy, kde n je liché celé číslo větší než nula.

20. Způsob podle nároku 19, **vyznačující se tím**, že čtvrtvlnná vrstvená sestava zahrnuje množství vrstev polovodičového materiálu střídavě s širokým a úzkým odstupem pásma.

21. Způsob podle nároku 19, **vyznačující se tím**, že čtvrtvlnná vrstvená sestava roste na GaAs v průběhu řečeného kroku vytváření.

22. Způsob podle nároku 19, **vyznačující se tím**, že krok heteroepitaxního růstu obsahuje:

růst první části řečené relaxační vrstvy při první teplotě, která postačuje k vytvoření rozhraní se čtvrtvlnnou vrstvenou sestavou, které má koncentraci dislokací nejméně $1 \times 10^6/\text{cm}^2$.

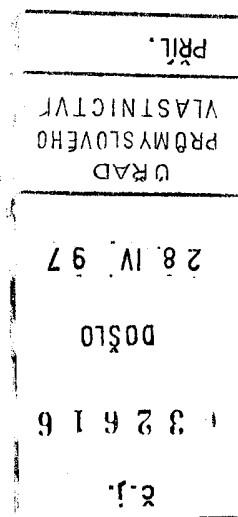
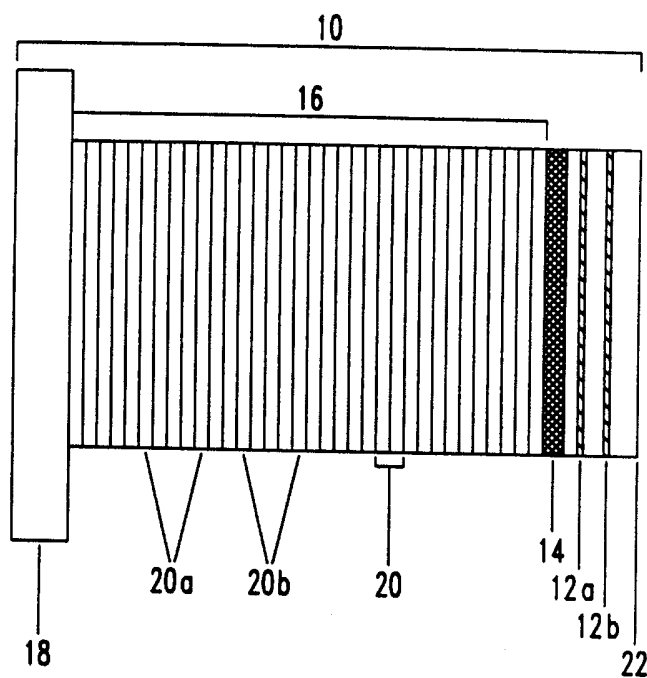
23. Způsob podle nároku 22, **vyznačující se tím**, že krok heteroepitaxního růstu dále obsahuje:

po vytvoření řečeného rozhraní pokračující růst řečené relaxační vrstvy pozvolným zvýšením teploty substrátu na teplotu, která postačuje k relaxaci víceméně veškerého pnutí během následného růstu.

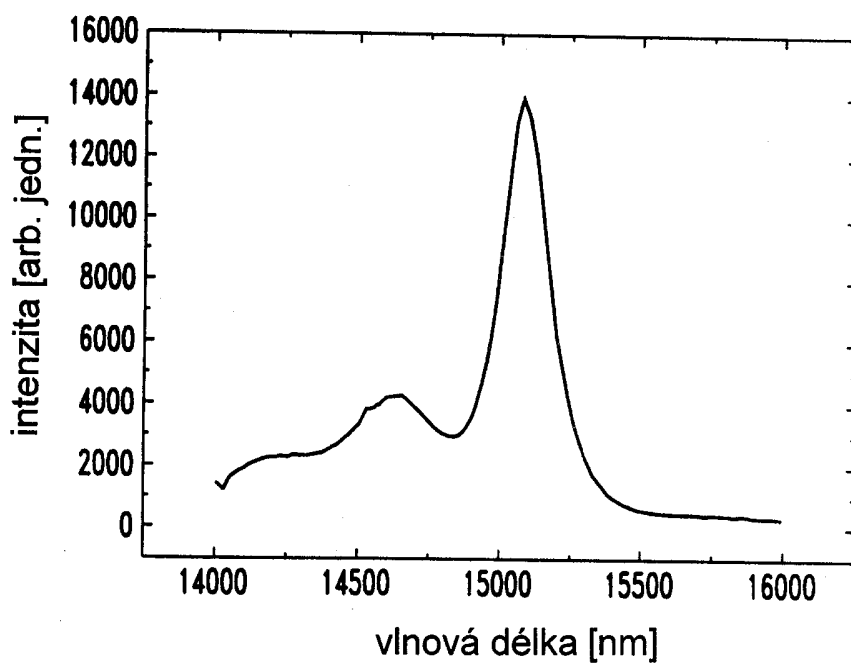
- 5 24. Způsob podle nároku 23, **vyznačující se tím**, že řečený substrát zahrnuje GaAs, že řečená relaxační vrstva zahrnuje InP a že čtvrtlinná vrstvená sestava zahrnuje střídavé vrstvy AlAs a GaAs.

1/3

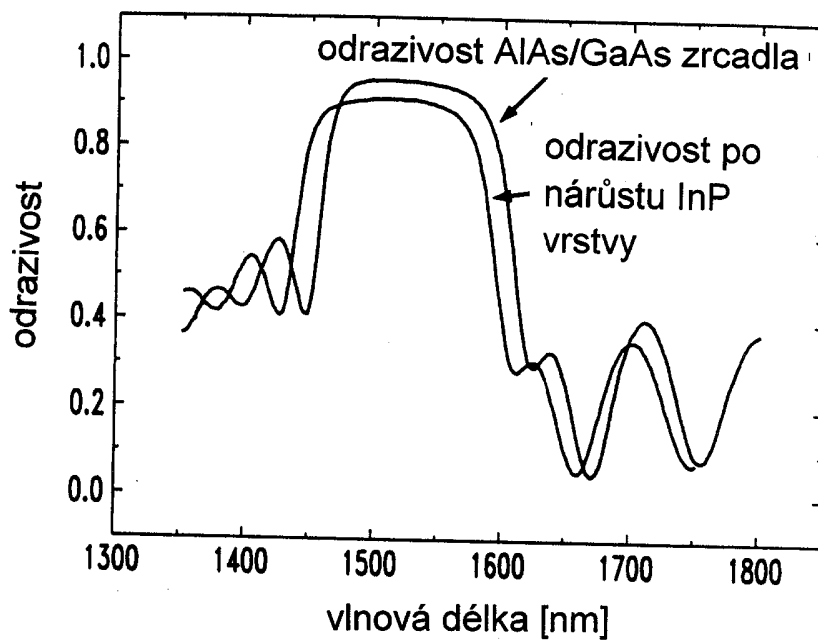
Obr. 1



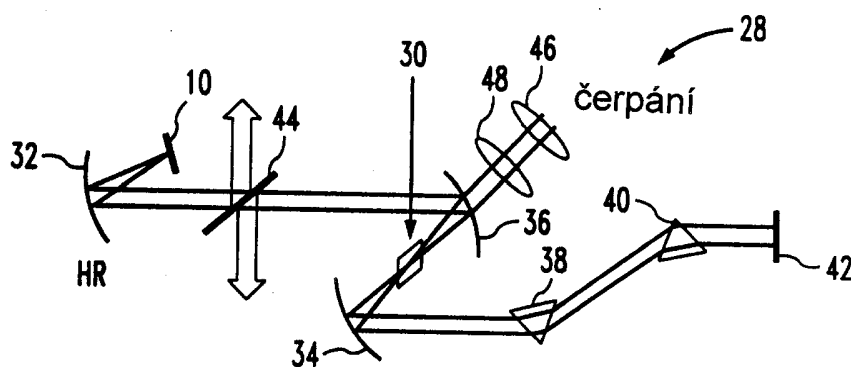
Obr. 2



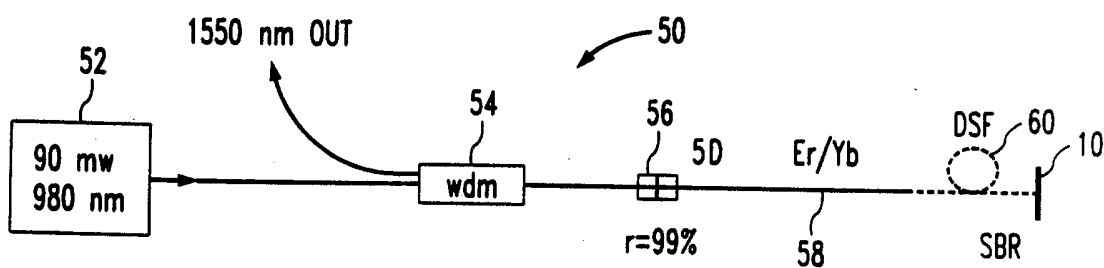
Obr. 3 2/3



Obr. 4A

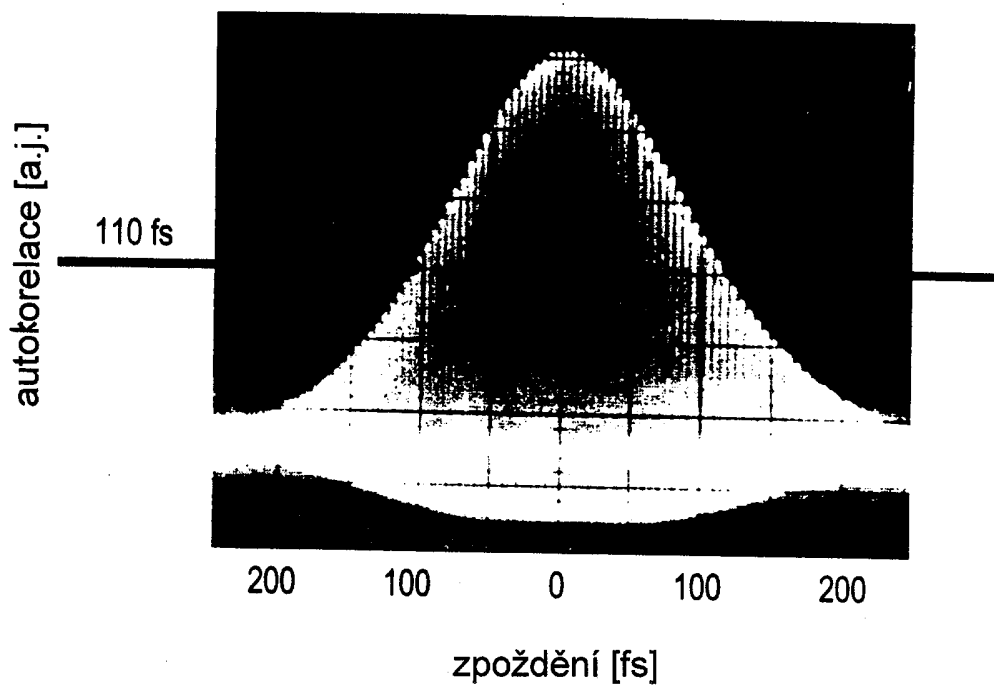


Obr. 4B



3/3

Obr. 5



Obr. 6

