

G21B 1/03 (2006.01)

G21B 1/00 (2006.01)

 (19)
ČESKÁ
REPUBLIKA

 ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky:	2013-596
(22) Přihlášeno:	30.07.2013
(40) Zveřejněno:	18.02.2015
	(Věstník č. 7/2015)
(47) Uděleno:	19.10.2016
(24) Oznámení o udělení ve věstníku:	30.11.2016
	(Věstník č. 48/2016)

(56) Relevantní dokumenty:

EP 2515308; JP 2012002789; JP 2005241462.

 (73) Majitel patentu:
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha 8, CZ

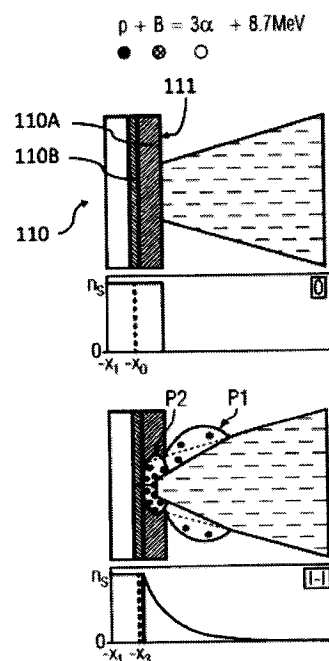
 (72) Původce:
Daniele Margarone, Ph.D., Praha 8, CZ
Dr. Georg Korn, Praha 8, CZ
Dr. Picciotto Antotnino, 38122 Trento, IT
Dr. Bellutti Perluigi, 38122 Trento, IT

 (74) Zástupce:
Karel Bauer, CITT, FZÚ AV, v.v.i., Za Radnicí
835, 252 41 Dolní Břežany

 (54) Název vynálezu:
Pevný terč pro nukleární fúzi, zařízení na vytváření nukleární fúze s tímto pevným terčem a způsob vytváření nukleární fúze na tomto zařízení

 (57) Anotace:
Pevný terč pro nukleární fúzi obsahuje substrát z pevného křemíku nebo galiumnitridu, z kterého je vytvořena první vrstva (110A) obohacená prvními částicemi, což jsou zejména částice vodíku, i druhá vrstva (110B) obohacená druhými částicemi, což jsou zejména částice bóru nebo lithia. Zařízení na vytváření nukleární fúze sestává z vpředu popsaného pevného terče (110) uspořádaného v dráze laserového svazku vyzařovaného laserovým systémem, který poskytuje pre-pulzy pro vytvoření prvního plazmatu (P1) před první vrstvou (110A) terče (110) a hlavní pulzy pro vytvoření druhého plazmatu (P2), jejichž průchodem je hlavní laserový pulz zaostřený na terč (110), kde akceleruje alespoň některé z prvních částic pro vytváření jejich fúzní reakce s alespoň některými z druhých částic pevného terče (110). Způsob vytváření nukleární fúze na tomto vpředu popsaném zařízení probíhá tak, že se pevný terč (110) ozařuje laserovým pre-pulzem z laserového systému a tímto laserovým pre-pulzem se vytváří před první vrstvou (110A) terče (110) nejméně první plazma (P1), načež se pro nukleární fúzi terč (110) ozařuje hlavním laserovým

pulzem z laserového systému, který se průchodem skrze toto nejméně jedno první plazma (P1) soustřeďuje na terč (110) tak, že soustředěným hlavním laserovým pulzem se urychlují první částice terče (110) pro vytváření fúzních reakcí těchto urychlených prvních částic s alespoň některými z druhých částic terče (110).



Pevný terč pro nukleární fúzi, zařízení na vytváření nukleární fúze s tímto pevným terčem a způsob vytváření nukleární fúze na tomto zařízení

5 Oblast techniky

Předkládaný vynález se týká pevného terče pro nukleární fúzi, zařízení na vytváření nukleární fúze s tímto pevným terčem způsobu vytváření nukleární fúze na tomto zařízení.

10

Dosavadní stav techniky

15 Nukleární fúzní reakce, například fúze lehkých jader, jako je vodík, deuterium a tritium atd. směrem k těžším jádrům, jsou obzvláště zajímavé pro různé účely. Takové nukleární reakce mohou být například požadovány pro generování specifických částic pro vědecké nebo lékařské účely. Jinou důležitou aplikací nukleárních fúzních reakcí je generování elektrického proudu využíváním podstatného uvolňování vázané energie, které je spojené s některými fúzními reakcemi.

20 Kromě vědeckých a lékařských aplikací je jednou z nejdůležitějších aplikací pro nukleární fúzní reakce generování energie a elektrického proudu. Důvodem toho je, že existuje několik exotermních nukleárních fúzních reakcí, tj. fúzních reakcí, kde se uvolňuje vazební energie výchozích produktů, například ve formě kinetické energie fúzních produktů. Protože je množství uvolněné energie u většiny těchto fúzních reakcí ohromné, jsou tyto reakce obzvláště zajímavé s ohledem na generování energie a elektrického proudu.

25

Aby se generoval elektrický proud z těchto fúzních reakcí, je ovšem nutné garantovat, aby byl energetický výstup z těchto fúzních reakcí vyšší než energie potřebná na vyvolávání těchto fúzních reakcí. Dále, aby se vyráběla elektrická energie, je nutné generovat dokonce více energie, aby se překonaly konverzní ztráty, které se objevují během konverze kinetické energie fúzních produktů do elektrické energie.

30

Konvenční systémy nedokáží vytvářet fúzní reakce, protože nepoužívají dostatečné množství energie. Existuje tudíž potřeba účinného vytváření fúzních reakcí.

35

Podstata vynálezu

Úkolem předkládaného vynálezu je tak navrhnout efektivní prostředky a způsob, kterými by byly popsány slabiny stavu techniky z větší části eliminovány.

40

Výše uvedené nedostatky odstraňuje a vytčený úkol řeší pevný terč pro vytváření nukleární fúze podle tohoto vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že obsahuje pevný substrát z pevného křemíku nebo galiumnitridu, přičemž z materiálu substrátu obohaceného prvními částicemi je vytvořena první vrstva a materiál substrátu obohacený druhými částicemi tvoří druhou vrstvu terče.

45

S výhodou jsou obohacující částice první vrstvy částice vodíku a obohacující částice druhé vrstvy částice bóru nebo lithia.

50 Výhodný je takový pevný terč pro nukleární fúzi, jehož první vrstva má tloušťku v rozmezí od 10 nm do 10 μm a druhá vrstva má tloušťku v rozmezí od 10 nm do 10 μm.

Také je výhodné, je-li první vrstva pevně spojená s druhou vrstvou tak, že se ani po ozáření laserem od sebe neodlupují.

Zařízení na vytváření nukleární fúze sestává z laserového systému, do dráhy jehož vyzařovaného laserového svazku je podle tohoto vynálezu svým dopadovým povrchem první vrstvy postavený výše definovaný pevný terč, před nímž je po dopadu vyzařovaného laserového pre-pulzu vytvořené první plazma, jehož průchodem je následný hlavní laserový pulz z laserového systému na pevný terč zaostřený pro akceleraci prvních částic první vrstvy terče pro vyvolání jejich fúzní reakce s alespoň některými z druhých částic druhé vrstvy terče.

Podstata způsobu vytváření nukleární fúze spočívá podle tohoto vynálezu v tom, že se terč ozařuje laserovým pre-pulzem z laserového systému, tímto laserovým pre-pulzem se vytváří před terčem první plazma, přičemž pro nukleární fúzi se terč ozařuje hlavním laserovým pulzem z laserového systému, který prochází tímto nejméně jedním prvním plazmatem, které tento hlavní laserový pulz soustřeďuje na terč, takže se tímto soustředěným hlavním laserovým pulzem urychlují první částice terče a tyto urychlené první částice vytvářejí fúzní reakce s alespoň některými z druhých částic terče.

Podle tohoto vynálezu je výhodné, ozařuje-li se terč hlavním laserovým pulzem během méně než 100 ns po laserovém pre-pulzu.

Výhodné je takové řešení, kdy se laserový pre-pulz a hlavní laserový pulz zahrnou do jednoho jediného, časově tvarovaného, laserového pulzu.

Podle výhodného provedení způsobu se hlavním laserovým pulzem zaostřeným prvním plazmatem vytváří druhé plazma, které má vyšší hustotu než první plazma, a tím se dále zaostřuje hlavní laserový pulz na terč.

Podle tohoto vynálezu je výhodné, ozařuje-li hlavní laserový pulz z laserového systému terč během méně než 5 ns po laserovém pre-pulzu nebo prvním pulzu.

Výhodné je také takové provedení, u kterého se laserový pre-pulz a hlavní laserový pulz vytvářejí ze dvou různých laserových pulzů, které jsou oddělené méně než 100 ns.

Předkládaný vynález poskytuje systém na generování vysokoenergetických částic a na vyvolávání nukleárních reakcí. Systém zahrnuje laserový zdroj na ozařování terče pro generování nukleární fúze laserovým svazkem a terč pro generování nukleární fúze interakcí s tímto laserovým svazkem, produkci vysokoenergetických částic a pro vznik nukleárních fúzních reakcí.

Pro provádění způsobu je výhodné použít laserový systém zahrnující diodově čerpaný pevnolátkový laser s opakovací frekvencí mezi 0,1 Hz a 100 Hz.

40 Objasnění výkresů

Vynález bude dále podrobněji objasněn za pomoci příkladu provedení naznačeného na připojených vyobrazeních, kde

- 45 obr. 1 znázorňuje schematicky příklad zařízení na vytváření nukleárních fúzních reakcí zahrnující laserový zdroj a laserový terč,
- obr. 2 znázorňuje schematicky terč pro vytváření fúzních reakcí,
- obr. 3 znázorňuje příklad laserového systému pro vytváření fúzních reakcí,
- obr. 4a znázorňuje příklad tvaru laserového pulzu na vytváření fúzních reakcí,
- 50 obr. 4b znázorňuje jiný tvar laserového pulzu na vytváření fúzních reakcí,
- obr. 5a až 5d znázorňují schematicky interakci terče s laserovým svazkem,
- obr. 6 znázorňuje blokové schéma způsobu vytváření laserových fúzních reakcí a

obr. 7 znázorňuje příklad distribuce iontové energie pro částice alfa a protony, jak je změřeno SiC detektorem a Thomsonovým parabolickým spektrometrem.

5 Příklady uskutečnění vynálezu

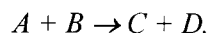
Obr. 1 schematicky znázorňuje příklad zařízení 100 na vytváření reakcí nukleární fúze. Zařízení 100 znázorněné na obr. 1 zahrnuje pevný fúzní terč 110 a laserový systém 130 na vyzářování nejméně jednoho laserového svazku 120 působícího na povrch 111 terče 110.

10 Laserový systém 130 může být schopen vyzářovat speciálně vytvarovaný jediný laserový pulz obsahující nejméně jeden pre-pulz 401 a nejméně jeden hlavní laserový pulz 402 nebo skupinu po sobě následujících laserových pulzů působící v rámci daného časového intervalu na terč 110. U tohoto výhodného provedení vynálezu ozařuje jediný časově tvarovaný laserový pulz, obsahující pre-pulz 401 a hlavní laserový pulz 402, nebo řada alespoň dvou po sobě následujících laserových pulzů, terč 110 tak, aby došlo k nukleární fúzní reakci.

15 Terč 110 obsahuje první částice a druhé částice, přičemž k fúzní reakci dochází mezi alespoň některými prvními částicemi a alespoň některými druhými částicemi.

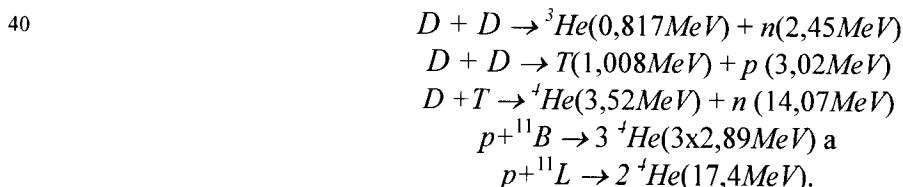
20 Laserový svazek 120 je vyzářován na terč 110 tak, že nejméně některé z prvních částic jsou urychlovány a/nebo ohřívány na energie nejméně několik keV. Urychlené a/nebo ohřáté první částice se srážejí s alespoň některými druhými částicemi, přičemž alespoň některé z těchto kolizí částic vedou k nukleární fúzní reakci.

25 Takové fúzní reakce typicky zahrnují dvě výchozí částice a vedou k e젝ci dvou nebo více fúzních produktů. Příkladem takových fúzních reakcí jsou reakce typu:



30 Předkládaný vynález lze použít na vytváření skupiny různých fúzních reakcí. Tento vynález může být například použit pro vytváření exotermických fúzních reakcí, tj. fúzních reakcí, které uvolňují vazební energii, a dají se také použít pro vytvoření endotermních fúzních reakcí, např. na generování velmi těžkých částic, např. pro lékařské nebo vědecké účely. Jen pro stručnost a lepší čitelnost se následující popis soustřeďuje na exotermní fúzní reakce, nicméně to nesmí být chápáno v omezujícím smyslu, protože tento vynález může být prováděn se skupinou různých fúzních reakcí.

Následující seznam je přehledem některých obzvlášť zajímavých fúzních reakcí, které uvolňují velická množství vazební energie, mohou být také vytvářeny tímto vynálezem a převádějí vazební energii výchozích částic na kinetickou energii výsledných částic. Seznam tvoří:



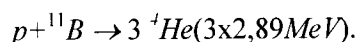
45 I když všechny tyto fúzní reakce uvolňují vazební energii, týkají se nukleární fúze různých jader. Protože jsou tato jádra nabitá pozitivně, je nutné urychlit výchozí částice na poměrně vysoké energie několika keV, aby došlo k překonání odpuzující Coulombovy síly, která by jinak způsobovala odrazení příslušných jader. Je tudíž nutné urychlit a/nebo ohřát částice na vysoké energie.

50 Avšak, i když jsou energie částic dostatečně vysoké pro vytvoření fúzních reakcí, příslušné fúzní reakční rychlosti nebo průřezy se silně mění s energiemi částic. Tudíž aby se maximalizovala reakční rychlost, je žádoucí urychlovat částice na energie, které mají vysoké reakční průřezy.

Jinými slovy, je žádoucí urychlovat hodně částic na energii, která má vysokou pravděpodobnost vzniku fúzní reakce.

5 Pro realizaci laserového fúzního systému, který je schopný vyrábět elektrickou energii pomocí fúzních reakcí, je potřeba vytvářet dostatečné množství částic s dostatečně vysokou kinetickou energií na to, aby výsledná míra fúze umožňovala vyrábět více energie, než kolik se jí spotřebovalo na vytváření laserového svazku a s přihlédnutím k účinnosti následné konverze kinetické energie vyrobených fúzních částic na teplo a/nebo elektrickou energii. Jak bude vysvětleno v následujícím, tyto podmínky jsou splněny pomocí předkládaného vynálezu.

10 Pro usnadnění popisu předkládaného vynálezu, bude v následujícím textu popis založen na následující fúzní reakci:



15 V této reakci se vysokoenergetický proton sráží s částicí bóru, přičemž se vytváří tři částice hélia nebo alfa částic s vysokou kinetickou energií 2,89 MeV u každé z nich.

20 Podobně jako p-Li reakce, je tato fúzní reakce obzvláště výhodná ve srovnání s jinými fúzními reakcemi, jelikož je to bez-neutronová reakce a nevznikají volné neutrony a radioaktivní produkty, jako je deuterium nebo tritium, a protože výsledné produkty, tj. hélium nebo částice alfa jsou nabitě částice, které mohou být snadno zachyceny, např. v magnetickém poli, aby se zachytila jejich kinetická energie. Reakce dále neprodukuje ani přímo, ani nepřímo vysokoenergetické neutrony, které by mohly aktivovat jiné materiály z reakční komory. Tato reakce tudíž umožňuje postavit „ultra-čistý“ reaktor pro nukleární fúzi, který je vysoce žádoucí.

25 Na druhé straně tato reakce vyžaduje ve srovnání s jinými reakcemi velmi vysoké energie částic, řádově nejméně 10^5 eV, aby se dosáhlo vhodných reakčních rychlostí. Například, jestliže se urychlují jenom protony, tak je maximální reakční průřez této reakce dosahován při energiích protonů 600 keV až 700 keV. Tyto energie částic se dají jen stěží získat konvenčními systémy a způsoby. Tento vynález je však ideálně vhodný k získání takto vysokých energií částic při zachování 30 podmínky, že generovaná energie je vyšší než energie spotřebovaná, což bude vysvětleno v následujícím textu.

35 Je třeba tomu rozumět tak, že předkládaný vynález není omezen na tuto p-B reakci. Fúzní reakce p-B je jenom vybrána pro jednoduchost a stručnost následujícího popisu. U p-B reakce se za první a druhé částice mohou považovat vodík a bór. Je zřejmé, že pokud se zvolí jiná reakce, např. reakce D-T, musí potom být první a druhé částice deuterium a tritium. Pokud by se jako jiný příklad zvolila reakce p-Li, pak by první a druhé částice musely být vodík a lithium.

40 Jak ukazuje obr. 1, je laserový systém 130 uspořádaný tak, aby přímo nebo nepřímo, např. přes vložená zrcadla, působil laserovým svazkem 120 na první povrch 111 fúzního terče 110 tak, aby se vytvořila nukleární fúzní reakce. Laserový svazek 120 je soustředěn na terč 110 tak, že zpočátku se laserovým svazkem 120 ozařuje jenom malá plocha v ohnisku, mající průměr řádově například 10 um až 1000 um. Ozařování této části prvního povrchu 111 terče 110 pre-pulzem 401 nebo prvním laserovým pulzem laserového svazku 120 způsobuje vytvoření prvního plazmatu P1 před prvním povrchem 111. Toto první plazma P1 je uspořádáno, tj. parametry laseru a 45 terče jsou zvoleny, tak, že plazma způsobuje další soustředování následujícího hlavního laserového pulzu 402 nebo dalších následujících laserových pulzů na zmenšenou plochu terče 110 v ohnisku, například o velikosti s výhodou menší než 10 um. U tohoto provedení vynálezu je terč 110 uspořádán tak, že se urychlují především první částice laserovým svazkem 120. Ačkoliv druhé 50 částice mohou být také urychlovány laserovým svazkem 120, není to nutné, jestliže první částice získají dostatek kinetické energie na vyvolání fúzních reakcí po srážkách s druhými částicemi.

Obr. 2 schematicky znázorňuje příklad terče 110 pro vytváření nukleární fúzní reakce. Terč 110 je tvořený substrátem z pevného materiálu, jako je pevnolátkový křemík, např. polykrystalický

křemík nebo nitrid galia, avšak substrát terče 110 může být také z každého jiného materiálu, jako je pevný uhlík, germanium, cín, olovo nebo jiné materiály, jako je wolfram, slitiny, polymery, zmrzlý vodík atd.

5 Materiál fúzního terče 110 obsahuje první a druhé částice pro fúzní reakci. Terč 110 může obsahovat vrstvy, přičemž první vrstva 110A obsahuje první částice a druhá vrstva 110B obsahuje druhé částice. V příkladném provedení obsahuje materiál terče 110, např. křemík, dvě vrstvy, přičemž první vrstva 110A je obohacena prvními částicemi a druhá vrstva 110B je obohacena druhými částicemi.

10 V tomto konkrétním provedení obsahuje fúzní terč 110 první vrstvu 110A, která je obohacená vodíkem, aby se vyvolala reakce p-B, která je popsána výše. Koncentrace vodíku v této první vrstvě 110A je s výhodou vyšší než 10^{19} atomů/cm³ nebo 10^{22} atomů/cm³. Podle tohoto provedení má první vrstva 110A tloušťku 10 nm až 10 μm.

15 První vrstva 110A může být například vytvářena vystavením terče 110 působení plynného vodíku po danou dobu. Během této doby může plynný vodík difundovat do křemíkového materiálu terče 110, takže se vytvoří první vrstva 110A.

20 Jsou však možné i jiné způsoby. Například by bylo možné vytvořit takovou vrstvu na substrát terče 110 pomocí plazmatické depozice, depozicí z chemických par a podobně. Je také možné připravit vrstvu obohacenou vodíkem odděleně a tu dodatečně připojit například laminací na substrát terče 110.

25 V provedení znázorněném na obr. 2 obsahuje terč 110 dále druhou vrstvu 110B, která je s výhodou dobře definovaná a dobře lokalizovaná, která je vysoce obohacená bórem, aby se vyvolaly p-B fúzní reakce. Koncentrace bóru v této druhé vrstvě 110B je s výhodou vyšší než 10^{20} atomů/cm³ nebo 10^{23} atomů/cm³. Podle tohoto provedení má druhá vrstva 110B tloušťku 10 nm až 1 μm, a s výhodou má tloušťku 100 nm až 5 μm.

30 Druhá vrstva 110B může být například vytvářena dopováním terče 110 druhými částicemi, např. bórem. Terč 110 je s výhodou vytvořený z pevného křemíku nebo nitridu galia a dobře definovaná vrstva obohacená bórem, v případě p-B reakce, se potom vytváří v tomto terči 110 dopováním křemíku do dané hloubky požadovaným množstvím bóru. Poté, co byla vytvořena druhá vrstva 110B, se terč 110 proplachuje plynným vodíkem po danou dobu, aby se vytvořila první vrstva 110A, která může být například vysoce obohacena křemíko-vodíkovou (SiH) vrstvou nebo gallium-nitrid-vodíkovou (GaNH) vrstvou.

40 První vrstva 110A a druhá vrstva 110B terče 110 jsou s výhodou ve vzájemném přímém styku tak, jak je znázorněno na obr. 2. Alternativně by bylo možné oddělovat první vrstvu 110A a druhou vrstvu 110B mezivrstvou, avšak takto mezivrstva by měla mít tloušťku s výhodou menší než 10 μm a měla by spolehlivě upevňovat první vrstvu 110A k druhé vrstvě 110B tak, aby bylo omezeno rozdělení obou vrstev. Obě vrstvy jsou přednostně připevněny k sobě navzájem tak, že se dá zabránit odlupování nebo separování vrstev i během ozařování laserovým svazkem 120.

45 Podle upřednostňovaného provedení je fúzní terč 110 vytvořen z pevného bloku pevného materiálu, jako je křemík, a první vrstva 110A a druhá vrstva 110B jsou vytvořeny v tomto bloku materiálu např. dopováním druhých částic do blokového materiálu, aby se vytvořila druhá vrstva 110B, a obohacováním první vrstvy 110A prvními částicemi difuzním způsobem. V těchto provedeních je účinně zabráněno každému olupování nebo separaci pevných blokových materiálů.

55 Ve výhodných provedeních vynálezu mohou být přidávány k výše popsané terčové struktuře další vrstvy. Například by to mohla být kompozitní vrstva pro zvýšení počtu reagujících jader, která jsou nutná nebo napomáhají při generování nebo zvyšování počtu požadovaných fúzních reakcí. Jako jiný příklad se dá přidat protonová multiplikační vrstva pro zvyšování počtu protonů

pro fúzní reakci. Také je možné přidávat vrstvy na zlepšování přenosu energie z laserového svazku do terče 110 a/nebo vrstev pro zpevňování struktury terče 110 a/nebo pro vedení tepla vyvíjeného v terči 110 směrem ke komponentám vyvíjejícím elektrický proud fúzního reaktoru.

5 U realizace vynálezu může být terč 110 předem stlačený, aby se zvýšil výkon fúze. Například se dá na předběžné stlačení materiálu terče 110 použít výše uvedený laserový pre-pulz 401 a/nebo hlavní pulz 402, jakož i další laserové pulzy a/nebo laserové svazky 120 v rovinné nebo prostoro-
vé geometrii.

10 Obr. 3 schematicky znázorňuje příklad laserového systému 130 na vytváření fúzní reakce. Laserový systém je uspořádán pro ozařování fúzního terče 110 laserovým zářením tak, aby v terči 110 došlo ke vzniku fúzní reakce.

15 Podle jednoho provedení vynálezu může být laserový systém 130 uspořádán tak, že generuje jediný laserový svazek 120 nebo skupinu laserových svazků mířících na terč 110. Používá-li se skupina laserových svazků, mohou být laserové svazky například soustředěny na stejnou část terče 110 nebo na různé části terče 110.

20 Podle jiného provedení vynálezu může být laserový systém 130 uspořádán pro vyzařování časově tvarovaných laserových pulzů působících na terč 110. Časově tvarované laserové pulzy mohou být definovány jako laserové pulzy, jejichž profil v čase se odchyluje od Gaussovského tvaru laserových pulzů.

25 Podle upřednostňovaného provedení vynálezu je terč 110 ozařován opakovaně jenom jediným laserovým svazkem 120. Jediný laserový svazek 120 přednostně obsahuje jediný, ale časově tvarovaný, laserový pulz. Jediný laserový pulz je časově tvarován a přednostně zahrnuje tzv. pre-pulz 401 a následně hlavní laserový pulz 402. V tomto případě jsou pre-pulz 401 a hlavní laserový pulz 402 částí jednoho jediného pulzu, tj. jsou vytvořeny z jednoho jediného pulzu. Jak to
30 bude znázorněno níže, pre-pulz 401 má přednostně intenzitu laseru, která je mnohem nižší než je intenzita hlavního laserového pulzu 402.

35 Podle jiného výhodného provedení vynálezu se vyzařuje řada laserových pulzů na terč 110. Různé laserové pulzy obsažené v této sérii laserových pulzů mohou být generovány z jednoho jediného laserového svazku 120 nebo ze skupiny laserových svazků 120. Přednostně se vyzařuje řada dvou laserových pulzů na cíl během předem definovaného časového intervalu. První laserový pulz má přednostně intenzitu, která je mnohem nižší, než je intenzita druhého laserového pulzu, takže první laserový pulz může být považován za pre-pulz 401 a druhý laserový pulz může být považován za hlavní laserový pulz 402.

40 Jak to bude znázorněno níže, pre-pulz 401 může být přednostně používán ke generování plazmatu před terčem 110. Plazma sahá před terč 110 a jestliže jsou-li vlastnosti plazmatu, jako je hustota, teplota, gradient hustoty, gradient teploty, velikost, stupeň ionizace, atd. vhodně zvoleny, může být využito na soustředění následujícího hlavního laserového pulzu 402 na terč 110. Samozaostřování hlavního laserového pulzu 402 umožňuje generovat laserové intenzity soustředěného
45 hlavního laserového pulzu 402, které jsou o 2 až 3 řády svojí velikostí vyšší než je jmenovitá intenzita původně emitovaného laserového pulzu. To umožňuje velmi účinně generovat fúzní reakce v terči 110 a dále to umožňuje účinně vyrábět elektrickou energii z fúzních reakcí. Předkládaný vynález umožňuje zredukovat požadované intenzity laseru o 2 až 3 velikostní řády ve srovnání s konvenčními systémy.

50 Podle vynálezu je laserový systém 130 uspořádán tak, aby emitoval vysokoenergetický laserový svazek 120 obsahující časově tvarovaný laserový pulz obsahující pre-pulz 401 a hlavní laserový pulz 402 nebo sérii nejméně dvou krátkých laserových pulzů, tj. pre-pulz 401 a hlavní laserový pulz 402, během krátké doby asi 0,1 ns až 5ns, přednostně během krátké doby asi 1 ns až 2 ns,
55 jak to bude popsáno podrobněji níže ve vztahu k obr. 4a a 4b.

Laserový systém 130 přednostně emituje laserové světlo s vlnovou délkou mezi 250 nm a 2000 nm, a přednostně emituje laserové světlo s vlnovou délkou mezi 700 nm a 1500 nm, například s vlnovou délkou 1315 nm nebo kolem 1,0 až 1,2 μm , avšak stejně dobře by se daly použít i jiné vlnové délky.

5

Vhodným laserovým systémem 130 k emitování takového laserového svazku 120 je například jodový laser, jako je laser PALS. Rozumí se, že pro použitelnou výrobu energie je vyžadován laser s vysokou frekvencí opakování a vysokou celkovou účinností převodu elektrického výkonu na optický výkon a kapacitou pro uložení energie. Tyto laserové zdroje jsou známy jako diodové čerpané pevnolátkové lasery DPSSL. Dále se rozumí, že se v DPSSL dají použít různé techniky vytváření pulzů na to, aby se generoval požadovaný optimální tvar pulzu, znázorněný níže pro vysoký výstup fúzní energie v uvažovaných reakcích. Příkladem aktivního prostředí jsou Yb:YAG, ND:sklo atd. Jako příklad jsme použili jodový laser s následujícími parametry pro demonstraci a analýzu principu, na němž je založen.

15

Laserový systém 130 je přednostně schopen dodávat infračervené pulzy s nominální energií 100 J až 10 000 J, přednostně s nominální energií řádově 1000 J. Tato jmenovitá energie může být rozdělena tak, aby se získal první pulz, např. pre-pulz 401, a druhý pulz, např. na hlavní laserový pulz 402. Druhý nebo hlavní laserový pulz 402 může například mít energii asi 200 J až 2000 J, přednostně mezi 500 J a 1000 J, například 600 J.

20

Délka pulzu může být například v rozsahu 10 ps až 10 ns pro první pulz a může například být v rozsahu 10 fs až 10 ns pro druhý nebo hlavní laserový pulz 402. Podle výhodného provedení jsou délky pulzů mezi 100 ps a 1000 ps, přednostně mezi 200 ps a 400 ps, například 350 ps. S příkladnou délkou pulzu 350 ps a nominální energií 1000 J je výkonová špička laserového svazku 120 3 TW. S energií 600 J pro druhý, tj. hlavní laserový pulz 402 je špičkový dodávaný výkon v tomto pulzu téměř 2 TW.

25

Laserový svazek 120 je přednostně soustředěn přes systém čoček na plochu ohniska s určitým průměrem, které je na fúzním terči 110. V jednom provedení je průměr ohniska na terči 110 mezi 10 μm a 1000 μm , přednostně mezi 50 μm a 200 μm , například 100 μm .

30

V provedení znázorněném na obr. 3, který znázorňuje provedení používající laser PALS (srovnej K. Jungwirth a kol., Phys. Plasmas 8, 2495, 2001), pochází laserový svazek 120 z oscilátoru OSC a potom prochází zesilovacím řetězcem obsahujícím skupinu zesilovačů A1 až A5. Oscilátor OSC přednostně sestává z řídicího oscilátoru a předzesilovače. Řídicí zesilovač generuje sekvenci několika identických světelných pulzů, ze kterých je jeden z nich vybrán pro pozdější zesílení s pomocí Pockelsových cel PC1, PC2, PC3. Volba hlavního laserového pulzu 402 je spouštěna předchozím pulzem přicházejícím skrz spínání jiskřištěm na Pockelsových celách PC1 až PC3 na obr. 3. Tento pulz také otevírá buňky PC4 a PC5 později na trase pulzu. Hlavní laserový pulz 402 je potom uvolňován do předzesilovače PREAMP a opouští ho s energií například 10 mJ.

35

40

Tento hlavní laserový pulz 402 může potom být zesílen například v řetězci zesilovačů výkonového laseru. V příkladném provedení znázorněném na obr. 3 sestává zesilovací řetězec laseru z pěti výkonových zesilovačů A1 až A5, které zesilují laserové pulzy z oscilátorové části do energií indikovaných výše, např. do energií asi 1000 J. Výkonové zesilovače A1 až A5 mohou například být kyvety naplněné $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$ plynem. Tento plyn používá atomy jódu ke generování úzké infračervené čáry na 1315 nm. Tato vlnová délka je generována z atomů jódu v plynném médiu získaném z alkyl-jodidové molekuly $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$ fotochemickým procesem nazývaným fotolýza. Atom je uvolňován z chemické vazby použitím UV pulzů ze zábleskové lampy. Elektronová obálka přicházející z fotolytické reakce je excitována, inverze populace je dosaženo automaticky a svazek může být dále zesilován na vyšší výkon.

45

50

Kyvety zesilovače jsou obklopeny zábleskovými lampami, které mohou být nabíjeny s použitím kondenzátorů. Intenzivní záblesk nekoherentního UV záření, vytvářená lampami, bude vytvářet

55

veliký počet excitovaných jódových atomů a jejich de-excitace bude zvyšovat energii laseru procházející skrz kyvetu. Aby se udržovala výkonová hustota laserového svazku 120 pod prahovou hodnotou, při které by se mohl být poškozen povrch optiky, zvětšuje se průřez svazku laseru od jednoho zesilovače k druhému zesilovači, např. se zvyšuje od počátečního rozměru 8 mm do výstupní velikosti 290 mm optickými teleskopy, např. prostorovými filtry SF1 až SF6 tvořenými dvěma konvexními čočkami. Aby se zabránilo zesilování zpětně rozptýleného svazku, což by mohlo vést k poškození prvního zesilovacího stupně, může být za třetím laserovým zesilovačem A3 umístěn Faradayův rotátor FR tak, jak je to znázorněno na obr. 3.

Podle upřednostňovaného provedení je laserový systém 130 uspořádán tak, aby odděloval pre-pulz 401 tak, aby se vytvářela kombinace pre-pulz 401 a hlavní laserový pulz 402.

Jak je popsáno výše na obr. 2, laser potom ozáří terč 110 tak, aby ohnisko o velikosti uvedené výše bylo na terči 110.

Obr. 4a schematicky znázorňuje příklad tvaru laserového pulzu 400 pro vytváření fúzní reakce. Tvar pulzu znázorněný na obr. 4a sestává z pre-pulzu 401 a hlavního laserového pulzu 402. Pre-pulz 401 má svoji maximální intenzitu v čase kolem 0,7 ns a hlavní laserový pulz 402 má svoji maximální intenzitu při asi 2,1 ns. Maximum z hlavního laserového pulzu 402 na obr. 4a se tudíž objevuje kolem 1,4 ns po maximu pre-pulzu 401. Pre-pulz 401 a hlavní laserový pulz 402 znázorněný na obr. 4a mohou být vytvořeny z jediného laserového pulzu, např. oddělením pre-pulzu 401, nebo mohou být také generovány z různých laserových pulzů a/nebo různých svazkových linií. Jak je znázorněno na obr. 4a, pre-pulz 401 a hlavní laserový pulz 402 nemusejí být od sebe navzájem ostře odděleny, ale mohou se nejméně zčásti překrývat.

Ve výhodném provedení vynálezu se maximum hlavního laserového pulzu 402 objevuje mezi 1 ns a ns 5 ns po maximu prvního laserového pulzu 401, a přednostně se objevuje mezi 1,4 ns a 1,6 ns po maximu prvního laserového pulzu 401. Jak bude znázorněno níže, časový rozdíl mezi pulzy umožňuje vytváření plazmatu před terčem 110, takže se toto plazma může používat pro lepší zaostření hlavního laserového pulzu na terč 110.

Intenzita laserového pre-pulzu 401 je přednostně nižší o faktor 10^7 až 10^4 , přednostně 10^6 až 10^5 , než je intenzita hlavního laserového pulzu 402.

Šířka laserových pulzů 401, 402 v příkladu znázorněném na obr. 4a činí 350 ps. V jiných provedeních by šířka pulzu mohla být například v rozsahu od 10 ps do 10 ns. Šířka laserových pulzů může být identická, ale může být také jiná. Po sobě následující série dvou nebo více laserových pulzů nebo časově tvarovaných jednotlivých pulzů, zahrnujících skupinu části laserových pulzů, mohou být generovány s použitím jednoho jediného laseru, např. oddělením jednoho nebo několika pre-pulzů 401. V jiném provedení mohou být laserové pulzy generovány různými lasery, např. použitím laseru s nízkým výkonem pro první laserový pulz, resp. pre-pulz 401, a použitím vysokovýkonného laseru pro druhý laserový pulz, hlavní laserový pulz 402.

Ve výhodném provedení se může použít série dvou laserových pulzů 401, 402. První laserový pulz je přednostně oddělený jako tzv. pre-pulz 401 od hlavního laserového pulzu 402. Zbývající část hlavního svazku se potom používá jako druhý laserový pulz 402. Pre-pulz 401 může být oddělován v kterémkoli stupni kaskády zesilovačů laserového systému 130 tak, aby se dosáhlo požadované intenzity prvního laserového pre-pulzu 401.

Po maximu hlavního laserového pulzu 402, lze navrhnout udržování výkonu laseru po krátkou dobu na vysoké úrovni, aby se vyprodukoval podstatný počet fúzních reakcí. Optimální doba trvání vysoko výkonové fáze závisí silně na terči 110 a vlastnostech laseru, a měla by být přednostně v rozsahu 1 ns až 1 μ s.

Obr. 4b znázorňuje příklad tvaru laserového pulzu pro fúzní reakci pomocí laserového systému 130 podle obr. 3. Tvar pulzu, znázorněný na obr. 4b, také sestává z pre-pulzu 401 a následujícího hlavního laserového pulzu 402. Pre-pulz 401 dosahuje maximální intenzity v čase asi 0,68 ns a hlavní laserový pulz 402 dosahuje maximální intenzity kolem 2,14 ns.

5

Ve srovnání s tvarem pulzu znázorněným na obr. 4a vykazují pre-pulz 401 a hlavní laserový pulz 402 výraznější superpozici, tj. překrytí, takže po pre-pulzu 401 celková intenzita neklesá tak, jako v případě obr. 4a, nýbrž zůstává přibližně konstantní z důvodu superpozice pre-pulzu 401 a hlavního laserového pulzu 402. Nevyskytuje se tudíž žádné ostré oddělení mezi pre-pulzem 401 a hlavním laserovým pulzem 402.

10

Pokud laserový svazek 120, jak je vysvětlen ve vztahu k obr. 4a nebo obr. 4b, ozařuje terč 110, např. terčovou strukturu, která byla vysvětlena ve vztahu k obr. 2, tak vzájemná interakce mezi laserovým svazkem 120 a terčem 110 může být zhruba popsána pomocí tří různých fází, které budou nyní vysvětleny ve vztahu k obr. 4a, 4b a obr. 5a až 5d.

15

Obr. 5a znázorňuje terč 110 a laserový svazek 120 v okamžiku těsně předtím, než laserový svazek 120 dopadne na terč 110.

20

Obr. 5b znázorňuje schematicky působení první fáze 411 dopadajícího záření, která je spojována s interakcí laserového pre-pulzu 401 s terčem 110. V této první fázi 411 pre-pulz 401 interaguje s povrchem 111 první vrstvy 110A z křemíku a vodíku (SiH) terče 110 a způsobuje ablaci SiH vrstvy a vytváření prvního, nízko hustotního, plazmatu P1. Toto lokalizované první plazma P1 je generováno přestupem energie z pre-pulzu 401 laserového svazku 120 na částice terče 110 a s tím spojený ohřev a ionizaci částic. První plazma P1 obsahuje odpařený křemík a vodík, jakož i velkou část částečně a/nebo zcela ionizovaných atomů křemíku a ionizovaných atomů vodíku, tj. protonů, a jim odpovídající část elektronů. V této první fázi 411 je borem dopovaná druhá vrstva 110B terče 110 stále neexcitovaná a dosud není v interakci s laserovým svazkem 120. Rozumí se, že když se používají jiné materiály, tak se podle toho mění složení plazmatu.

25

Obr. 5c znázorňuje druhou fázi 412 interakce terče 110 s dopadajícím zářením, která následuje po první fázi 411 a je spojená s náběžnou hranou hlavního laserového pulzu 402. V této druhé fázi 412 je laserový svazek 120 dále v interakci s terčem 110 a generuje vysokohustotní druhé plazma P2 díky zvýšení ablace materiálu z SiH první vrstvy 110A terče 110. Jak je patrné z obr. 5c, první plazma P1 expanduje směrem od terče 110. Rozměr prvního plazmatu P1 je například řádově 5 μm a může se zvětšit až na rozměr 5 mm. Hustota plazmatu klesá exponenciálně se vzdáleností od povrchu 111 terče 110 tak, jak je to znázorněno na obr. 5c, a SiH první vrstva 110A je po této fázi v místě interakce téměř zcela ablována.

30

V druhé fázi 412 interakce se dále iniciuje tzv. samozaostřování nebo zaostřovací mechanismus. Efekt zaostřování je například vytvářen gradientem elektrického pole vyplývajícím z gradientu hustoty elektronů v prvním plazmatu P1, ale může být také generován jinými mechanismy, jako jsou tepelné účinky, např. tepelně vyvolaná hydrodynamická expanze, která mění hustotní gradient a index lomu plazmatu, nebo relativistické účinky, např. prostřednictvím zvýšení hmoty relativistických elektronů, což také mění hustotní gradient a index lomu plazmatu. Zaostřovací efekt vede k dalšímu zaostřování následující části laserového pulzu, jak to bude vysvětleno dále.

35

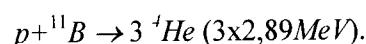
Obr. 5d znázorňuje působení třetí fáze 413 laserového pulzu na terč 110, která následuje po druhé fázi 412 a je spojená s hlavní částí hlavního laserového pulzu 402. V této třetí fázi 413 je laserový svazek 120 dále v interakci s prvním plazmatem P1, druhým plazmatem P2 a materiálem terče 110.

40

Interakce hlavní části hlavního laserového pulzu 402 s prvním plazmatem P1 a druhým plazmatem P2 způsobuje maximalizaci samozaostřovacího efektu, jelikož se dále zvyšují příslušné hustoty plazmatu a gradienty. Rozměry druhého plazmatu P2 jsou například v rozsahu 10 μm až

45

1 mm. Interakce s druhým plazmatem P2 způsobuje značné urychlování protonů obsažených v plazmatu, takže se dosahuje kritické hustoty plazmatu pro vyvolání fúzních reakcí. Urychlené protony druhého plazmatu P2 mají maximální energii 0,1 MeV až 5 MeV a přednostně mají maximální energii 500 keV až 2 MeV, která je kompatibilní s efektivní laserovou intenzitou 5×10^{18} až 10^{19} W/cm², která je mnohem vyšší než nominální laserová intenzita. Příčinou toho je zaostřování laseru plazmatem P1 a P2 generovaným před terčem 110. Urychlené protony s nejvyšší rychlostí, resp. kinetickou energií, druhého plazmatu P2 se šíří vysokohustotním druhým plazmatem P2 a ionizují atomy bóru druhé vrstvy 110B terče 110, které byly až do té doby stále ještě v klidu a mají hustotu částic pevného stavu řádově 10^{22} cm⁻³. Ionizované atomy bóru tvoří třetí plazma P3, které může mít rozměry řádově 1 μm až 100 μm. Zbytek urychlených protonů druhého plazmatu P2 s nižší rychlostí, resp. kinetickou energií, potom koliduje s ionizovanými atomy bóru a tím vyvolává reakci fúze popsanou:



Výsledné částice alfa mají vysokou kinetickou energii, a buď dopadají na terč 110, čímž terč 110 dále ohřívají, nebo se šíří od terče 110 a dopadají na obklopující reakční komoru, kterou také ohřívají. Vytvořené teplo na terči 110 a/nebo reakční komoře může potom být použito pro generování elektrické energie nebo elektrického proudu pomocí konvenčních metod, jak jsou známy odborníkům v oboru.

Obr. 6 schematicky znázorňuje odpovídající způsob k vyvolávání fúzní reakce.

V prvním kroku 601 tohoto způsobu se terč 110 ozáří laserovým pre-pulzem 401 tak, aby se na terči 110 vytvořilo plazma. Laserovým pre-pulzem 401 může být například první laserový pulz zahrnutý v sérii laserových pulzů, nebo může být částí časově tvarovaného laserového pulzu zahrnujícího pre-pulz 401 a hlavní laserový pulz 402 jak je to popsáno výše. Plazmatem může být například nízkohustotní plazma, jako je první plazma P1, popisované výše v návaznosti na obr. 4 a 5.

V druhém kroku 602 tohoto způsobu interaguje s terčem 110 hlavní laserový pulz 402. Hlavním laserovým pulzem 402 může například být druhý laserový pulz řady laserových pulzů nebo to může být část časově tvarovaného laserového pulzu obsahující pre-pulz 401 a hlavní laserový pulz 402, jak je to popsáno výše. Jak také bylo popsáno výše, hlavní laserový pulz 402 může být použit ke generování vysokohustotního druhého plazmatu P2 z první vrstvy 110A terče 110 tak, jak je popsáno výše.

V třetím kroku 603 dochází k zaostřování hlavního laserového pulzu 402 pomocí prvního plazmatu P1, které před terčem 110 vytvořil pre-pulz 401. Hlavní laserový pulz 402 může být například zaostřen přes první plazmu P1, jak je to popsáno výše v popisu obr. 4 a 5.

Ve čtvrtém kroku 604 je zaostřený hlavní laserový pulz 402 použit k urychlování protonů v plazmatu. Urychlené protony mohou potom být použity k vyvolávání fúzních reakcí, například k vyvolávání fúzních reakcí s částicemi z druhé vrstvy 110B terče 110, jak je to popsáno výše.

Obr. 7 schematicky znázorňuje příklad distribuce energie iontů pro částice α_1 a α_2 a protony (H^+), jak bylo změřeno SiC detektorem a Thomsonovým parabolickým spektrometrem TP, viz čárkovaná čára, a distribuce dopředné protonové energie měřené pomocí spektrometru TP, když se použil tenký terč 110.

Způsob a laserový systém 130, které jsou znázorněny výše, umožňují získávat enormně vyšší počet částic alfa, vytvářených při reakci nukleární fúze. Počet částic alfa je asi 10^9 až 10^{10} /sr a tudíž je 10^6 krát vyšší než u konvenčních způsobů, přestože použitý laserový pulz má jen jmenovitou intenzitu 10^{16} W/cm², a tudíž je 100krát menší než je laserová intenzita používaná u konvenčních systémů.

Je třeba chápat, že výše uvedené příklady provedení jsou zamýšleny k objasnění specifických provedení vynálezu a nelze je chápat ve vymežujícím smyslu. Dále je třeba tomu rozumět tak, že různé zde popisované aspekty mohou být kombinovány, pokud se neuvádí konkrétně něco jiného.

5 Je třeba tomu rozumět tak, že se tento vynález neomezuje na konkrétní reakci p-B fúze, která je popisována výše. Oproti tomu se tento vynález dá použít k tomu, aby vyvolával velmi rozmanité endotermické nebo exotermické fúzní reakce. Aby se vyvolávaly tyto fúzní reakce, budou možná muset být některé z výše popsaných specifických hodnot uzpůsobeny ke specifickým požadavkům a fyzickým procesům. Může být například nutné uzpůsobit počet, energii, a šířky pulzů nebo
10 vlnové délky laserových pulzů, aby se získal vhodný samozaostřující se laserový svazek a vhodný přenos energie na terč. Také může být nutné uzpůsobit rozměry a koncentrace částic terče ke specifickým požadavkům fúzní reakce.

S ohledem na princip laseru existuje vztah mezi energií laseru, dobou trvání pulzu a velikostí ohniska, a tudíž může být nutné vzájemně uzpůsobit tyto parametry. Je-li například velikost ohniska větší, může být nutné také zvýšit celkový výkon laseru, buď snížením délky laserového pulzu, nebo zvýšením energie laserového pulzu.

20

PATENTOVÉ NÁROKY

25 1. Pevný terč pro nukleární fúzi, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že obsahuje pevný substrát z pevného křemíku nebo galiumnitridu; první vrstvu (110A) z materiálu substrátu obohaceného prvními částicemi; a druhou vrstvu (110B) z materiálu substrátu obohaceného druhými částicemi.

30 2. Pevný terč pro nukleární fúzi podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že obohacující částice první vrstvy (110A) jsou částice vodíku a obohacující částice druhé vrstvy (110B) jsou částice bóru nebo lithia.

35 3. Pevný terč pro nukleární fúzi podle nároku 1 nebo 2, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že první vrstva (110A) má tloušťku v rozmezí od 10 nm do 10 mm.

4. Pevný terč pro nukleární fúzi podle nároků 1, 2 nebo 3, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že druhá vrstva (110B) má tloušťku v rozmezí od 10 nm do 10 mm.

40 5. Pevný terč pro nukleární fúzi podle kteréhokoli z předchozích nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že první vrstva (110A) je pevně spojená s druhou vrstvou (110B) tak, že se po ozáření laserem neodlupují.

45 6. Zařízení na vytváření nukleární fúze, které zahrnuje laserový systém (130), **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že obsahuje pevný terč (110) podle nejméně jednoho z nároků 1 až 5 uspořádaný v dráze laserového svazku (120) pro dopad laserového pre-pulzu (401) vyzařovaného laserovým systémem (130) na první povrch (111) pevného terče (110), po němž je před prvním povrchem (111) vytvořené první plazma (P1), jehož průchodem je následný hlavní laserový pulz (402) z laserového systému (130) zaostřený na pevný terč (110) pro akceleraci alespoň některých z prvních částic první vrstvy (110A) pevného terče (110) a vyvolání jejich fúzní reakce s alespoň
50 některými z druhých částic druhé vrstvy (110B) pevného terče (110).

55 7. Způsob vytváření nukleární fúze na zařízení podle nároku 6, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že se pevný terč (110) ozařuje laserovým pre-pulzem (401) z laserového systému (130) a tímto laserovým pre-pulzem (401) se vytváří před první vrstvou (110A) terče (110) nejméně první plazma (P1), načež se pro nukleární fúzi terč (110) ozařuje hlavním laserovým pulzem (402) z

laserového systému (130), který se průchodem skrze toto nejméně jedno první plazma (P1) soustřeďuje na terč (110) tak, že soustředěným hlavním laserovým pulzem (402) se urychlují první částice terče (110) pro vytváření fúzních reakcí těchto urychlených prvních částic s alespoň některými z druhých částic terče (110).

5

8. Způsob podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že terč (110) se hlavním laserovým pulzem (402) z laserového systému (130) ozařuje během méně než 100 ns po laserovém pre-pulzu (401).

10

9. Způsob podle nároku 7 nebo 8, **vyznačující se tím**, že laserový pre-pulz (401) a hlavní laserový pulz (402) jsou zahrnuty do jednoho jediného, časově tvarovaného, laserového pulzu.

15

10. Způsob podle nároků 7 až 9, **vyznačující se tím**, že hlavní laserový pulz (402) zaostřený prvním plazmatem (P1) vytváří druhé plazma (P2), které má vyšší hustotu než první plazma (P1), a toto druhé plazma (P2) slouží pro další zaostřování hlavního laserového pulzu (402) na terč (110).

20

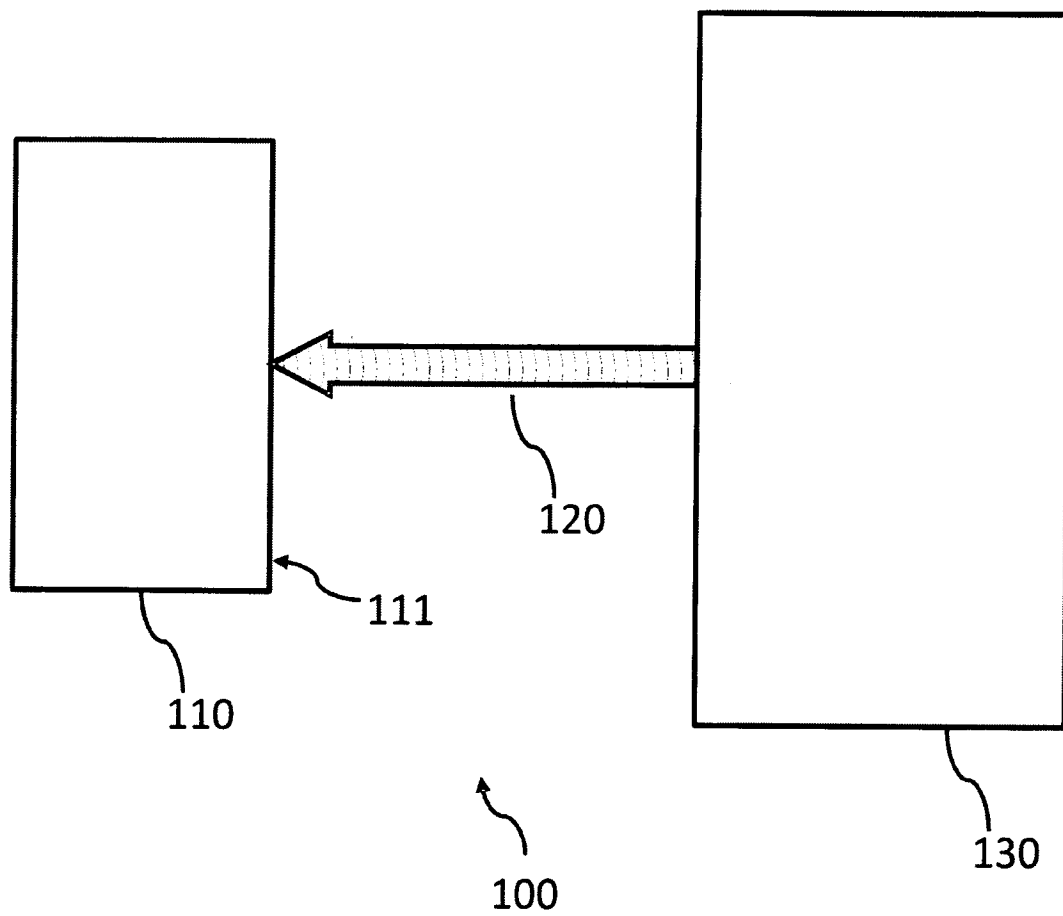
11. Způsob podle kteréhokoli z nároků 7 až 10, **vyznačující se tím**, že hlavní laserový pulz (402) z laserového systému (130) ozařuje terč (110) během méně než 5 ns po prvním laserovém pulzu nebo pre-pulzu (401).

25

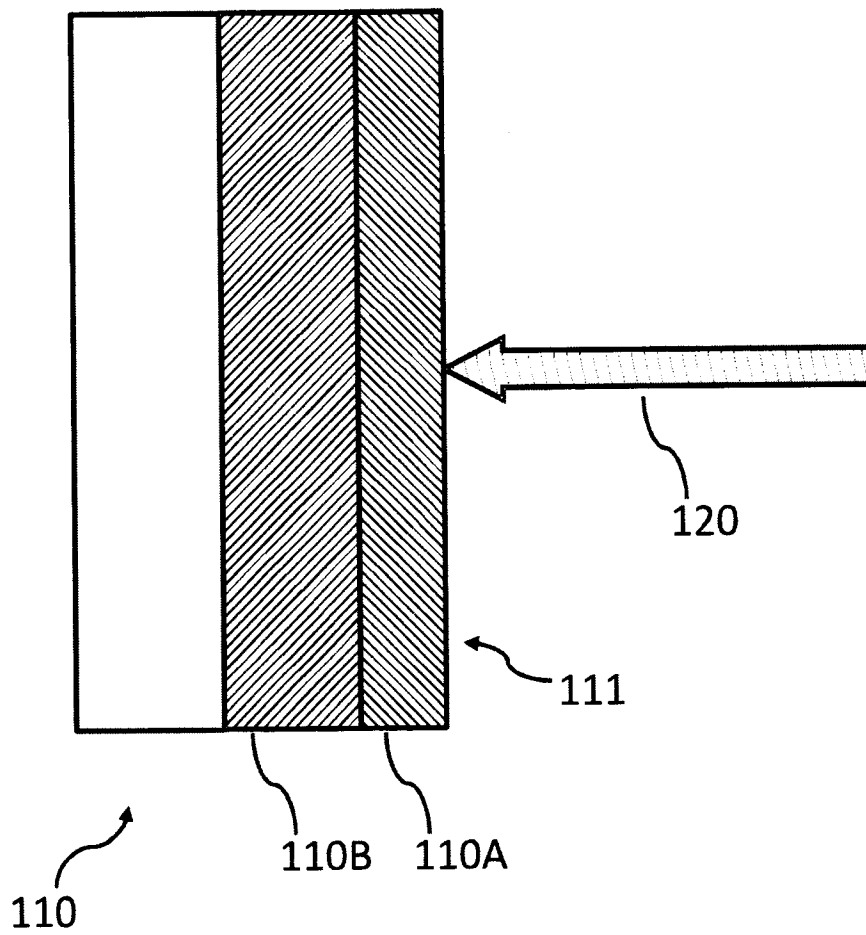
12. Způsob podle kteréhokoli z nároků 7 až 10, **vyznačující se tím**, že laserový pre-pulz (401) a hlavní laserový pulz (402) se vytvářejí ze dvou různých laserových pulzů, které jsou oddělené méně než 100 ns.

30

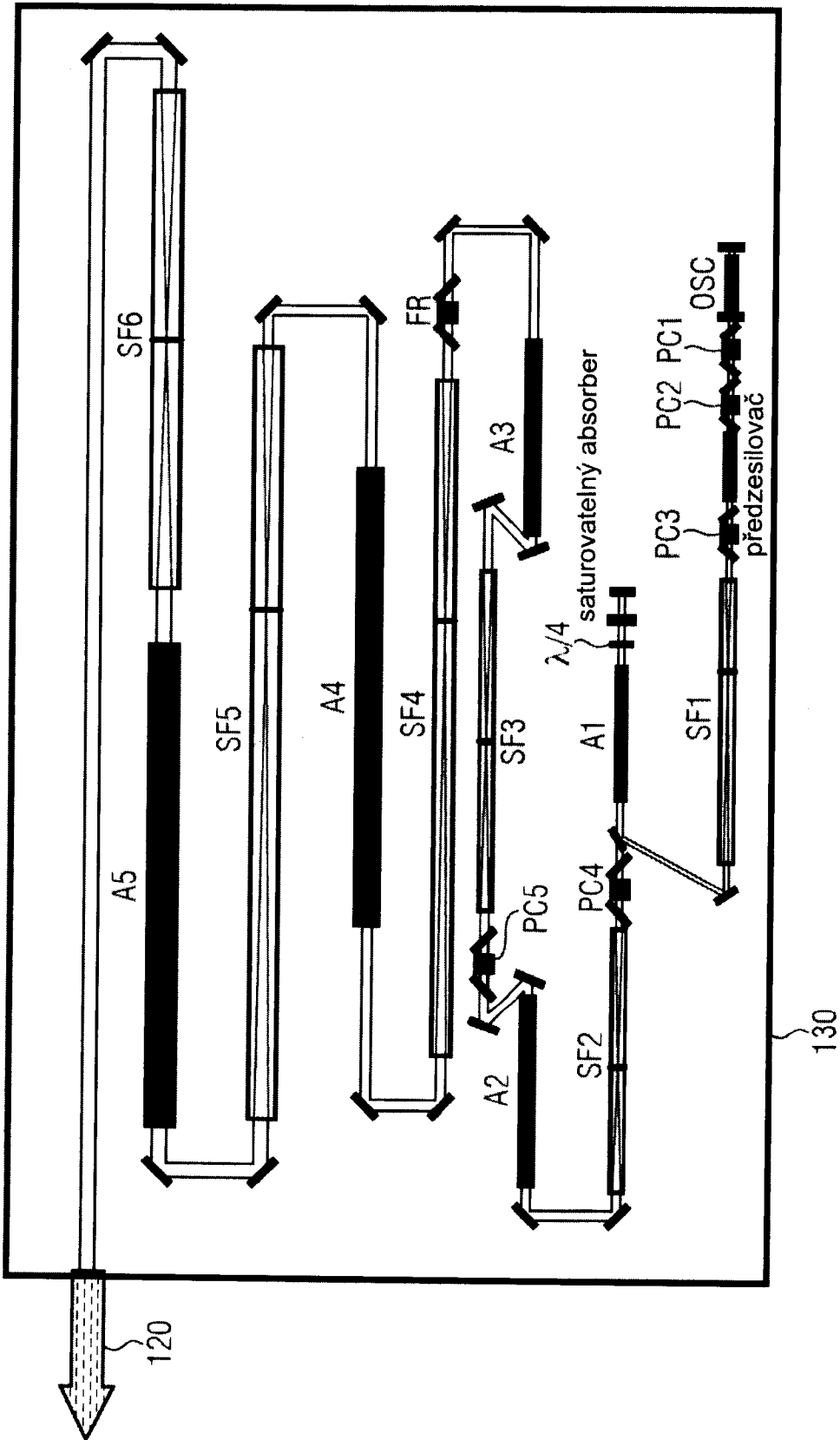
8 výkresů



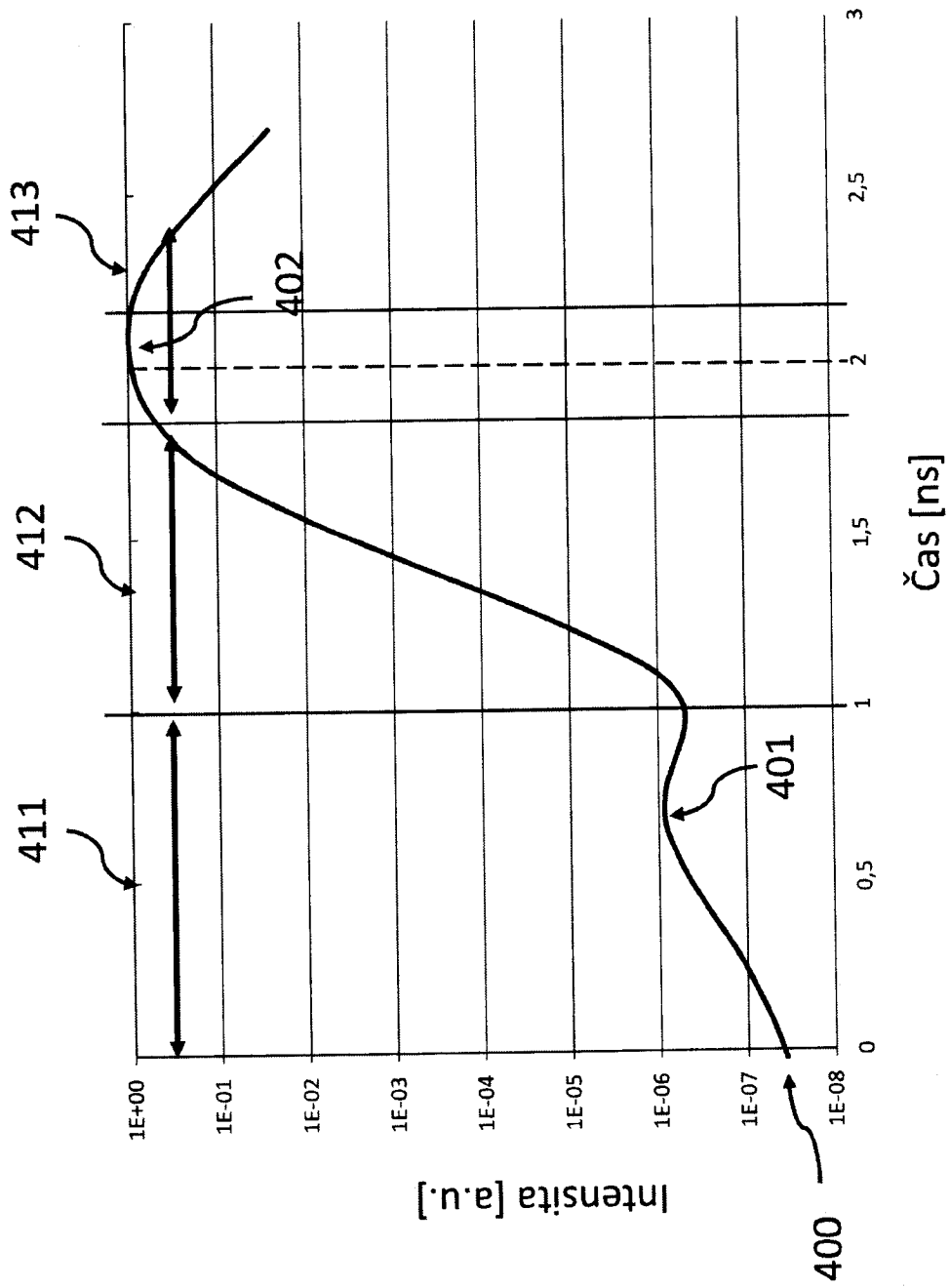
Obr. 1



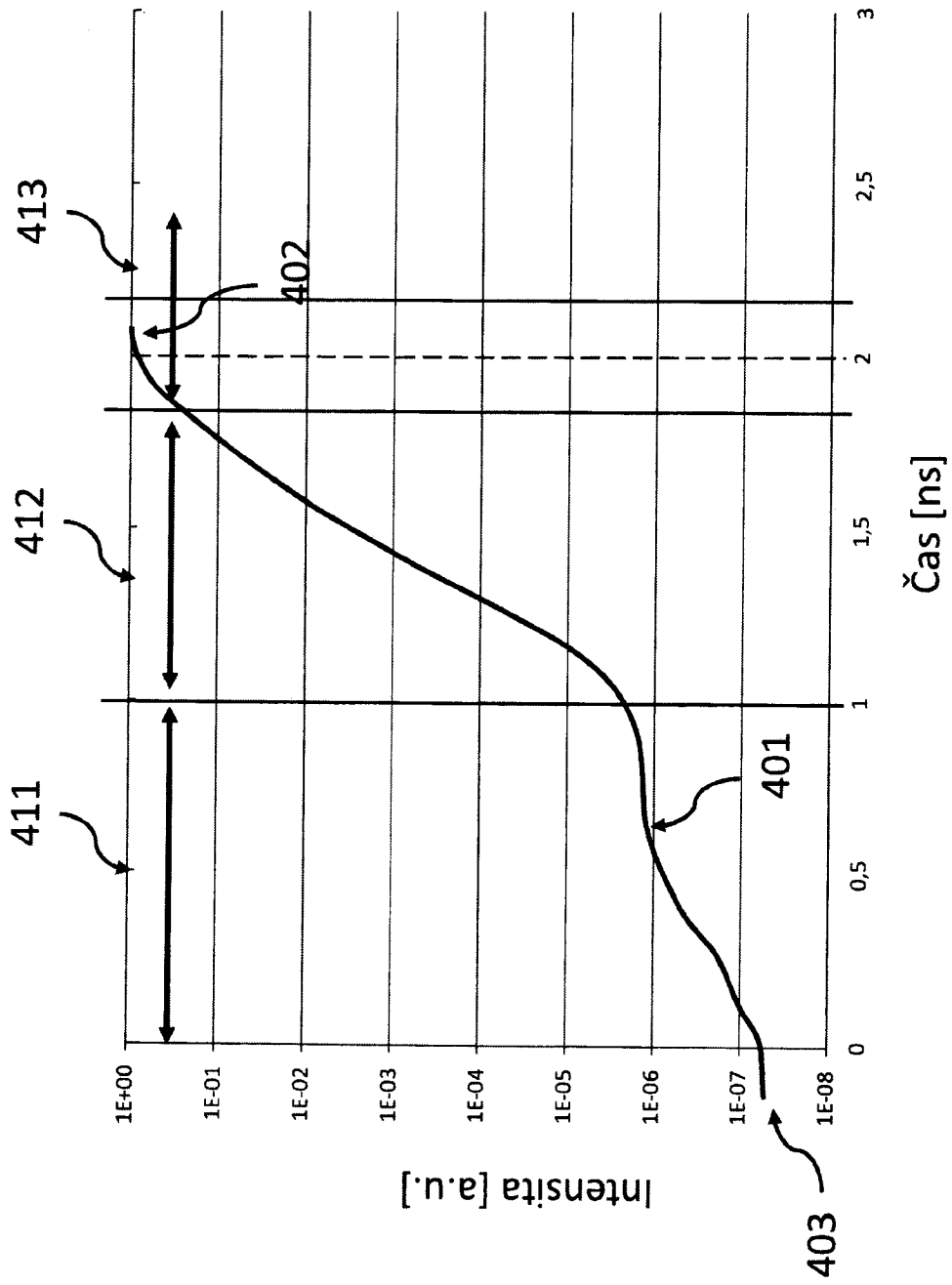
Obr. 2



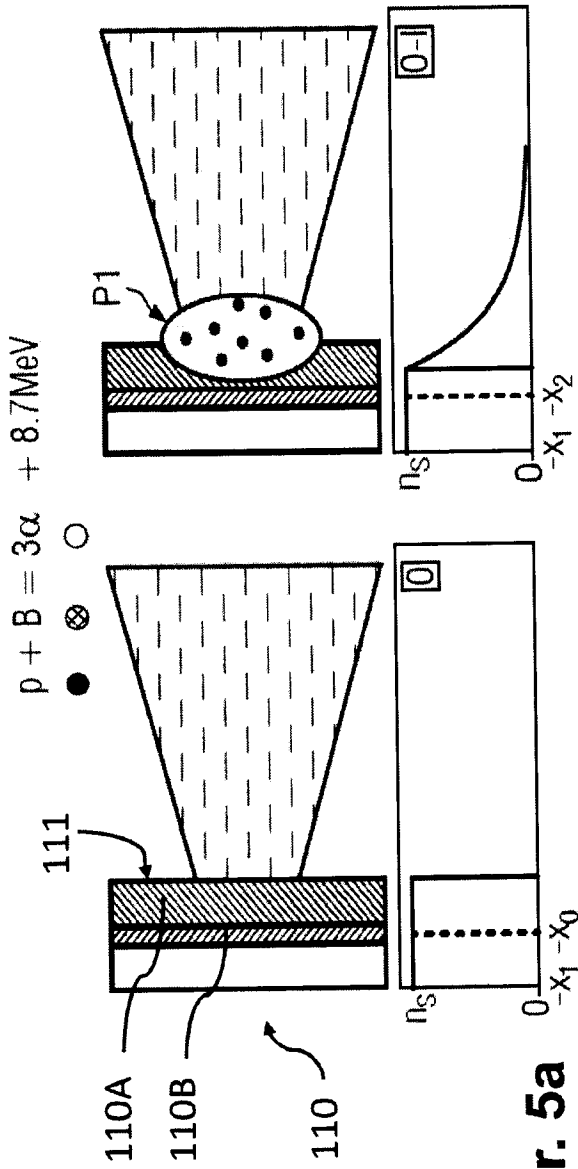
Obr. 3



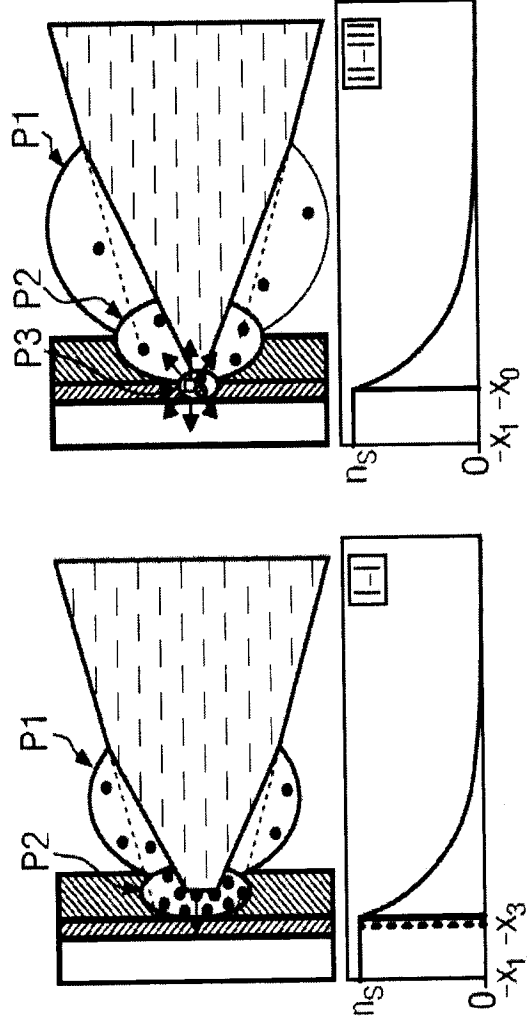
Obr. 4a



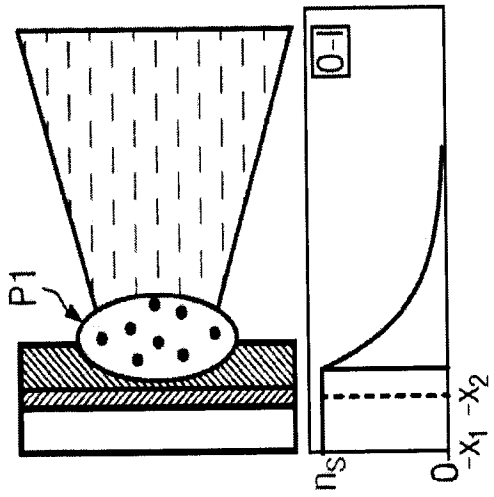
Obr. 4b



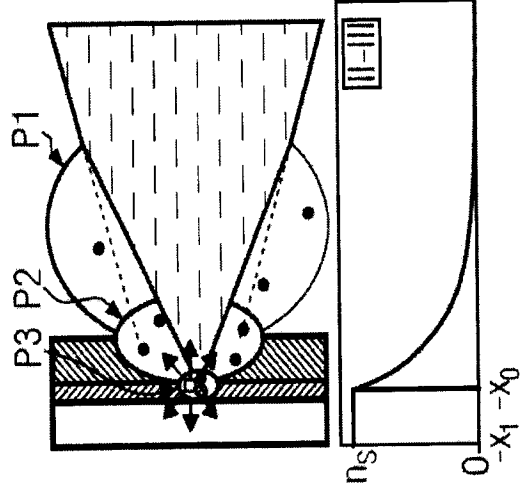
Obr. 5a



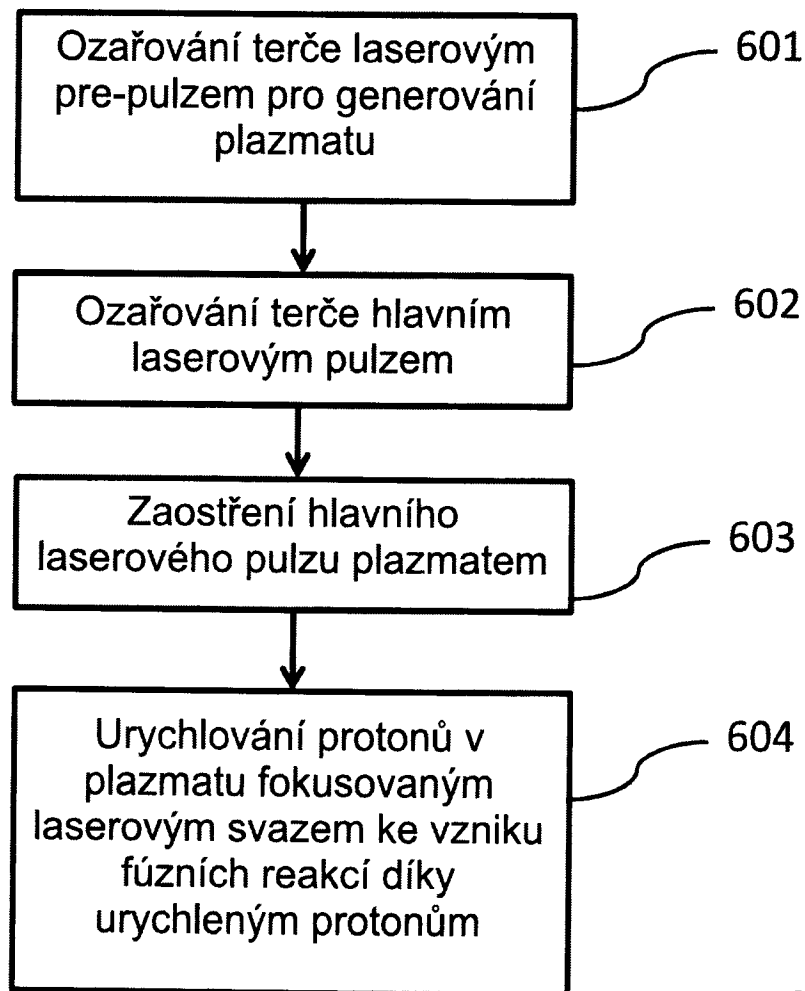
Obr. 5c

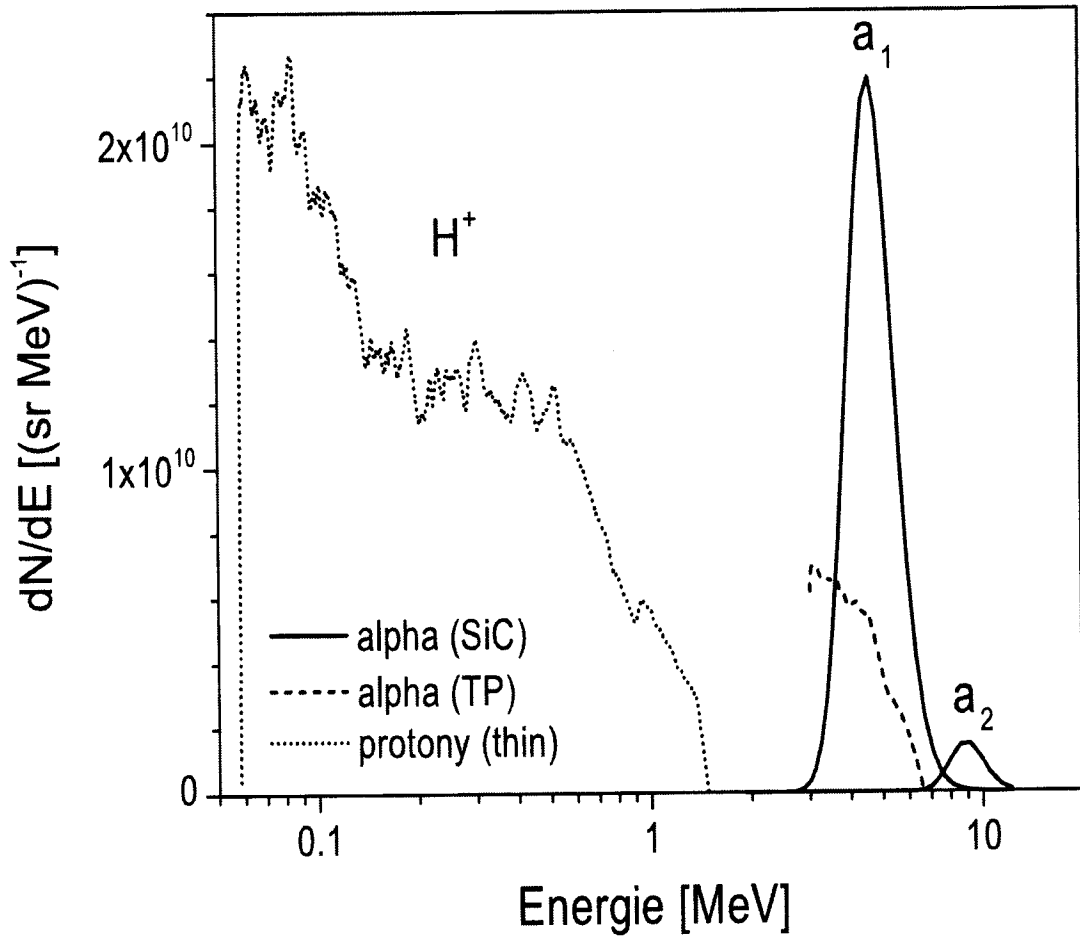


Obr. 5b



Obr. 5d

**Obr. 6**

**Obr. 7**

Konec dokumentu
