

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

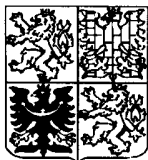
zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

198-99

(19)

ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **22. 07. 97**

(32) Datum podání prioritní přihlášky: **26.07.96**

(31) Číslo prioritní přihlášky: **96/686523**

(33) Země priority: **US**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **15. 09. 99**
(Věstník č. 9/99)

(86) PCT číslo: **PCT/US97/13317**

(87) PCT číslo zveřejnění: **WO 98/04366**

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.⁶:

B 08 B 7/00

(71) Přihlášovatel:

CAULDRON LIMITED PARTNERSHIP,
Bethesda, MD, US;

(72) Původce:

Engelsberg Audrey C., Milton, VT, US;
Johnson Andrew W., South Burlington, VT,
US;
Parker William P., Waitsfield, VT, US;

(74) Zástupce:

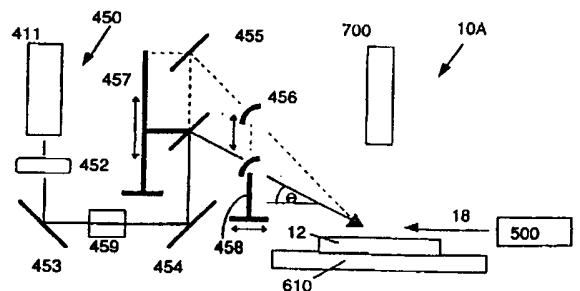
PATENTSERVIS PRAHA a.s., Jivenská 1,
Praha 4, 14000;

(54) Název přihlášky vynálezu:

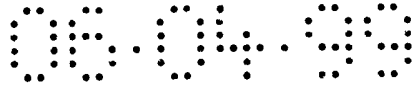
**Způsob a přístroj k odstranění materiálu
zářením působícím v kosém úhlu dopadu**

(57) Anotace:

Přístroj /10/ a způsob pro odstranění nežádoucího materiálu z povrchu podložky /12/ umožňuje proudění /18/ inertního plynu po povrchu nežádoucího materiálu podložky. Nežádoucí materiál je ozařován energetickými fotony /11/ v úhlu /8/, který je vzhledem k podložce kosý /12/. Řešení umožňuje odstranění nežádoucího materiálu, aniž by došlo ke změně fyzikálních vlastností materiálu ležícího pod odstraňovaným nežádoucím materiálem nebo vedle něho. Za určitých okolností tam, kde by kolmý dopad způsobil poškození podložky, odstranění by bylo nedostatečné nebo došlo k oběma jevům, je čištění možné při úhlu dopadu, který není kolmý.



CZ 198-99 A3



12126/105CP1

Způsob a přístroj k
Odstranění materiálu zářením působícím v kosém úhlu dopadu

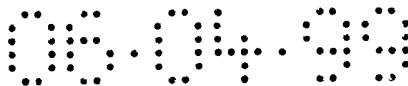
Oblast techniky

Následující společné přihlášky a patenty souvisejí se zde uvedeným dokumentem a jejich poznatky jsou zde uvedeny v odkazech: patentová přihláška USA, číslo série 08/609,449, zařazena 1. března 1996; patentová přihláška USA, číslo série 08/472,762, zařazena 6. června 1995; patentová přihláška USA, číslo série 08/306,431, zařazena 19. září 1994 (zde uváděna jako přihláška "431"); patentová přihláška USA, číslo série 08/335,258, zařazena 9. listopadu 1994 (zde uváděna jako přihláška "258"); patentová přihláška USA, číslo série 07/865,039, zařazena 31. března 1992, nyní číslo patentu USA 5,531,857; patentová přihláška USA, číslo série 07/611,198, zařazena 9. listopadu 1990, nyní číslo patentu USA 5,099,557 a patentová přihláška USA, číslo série 07/216,903, zařazena 8. července 1988, nyní číslo patentu USA 5,024,968 (tyto přihlášky a patenty jsou zde souhrnně uváděny jako "Engelsbergovy radiační vynálezy").

Vynález se týká odstraňování materiálu z povrchu. Konkrétněji se vynález týká odstranění materiálu z povrchu podložky působením záření pod úhlem dopadu, který je kosý vzhledem k podložce, aniž by se tak měnily fyzikální vlastnosti materiálu, zbývajícího na podložce, ležícího pod odstraňovaným materiálem nebo vedle něho. Tento postup je výhodný v podmínkách, kdy má působení záření v úhlu kolmém k povrchu podložky za následek neadekvátní odstranění materiálu nebo poškození povrchu podložky ležícího pod odstraňovaným materiálem nebo vedle něho, nebo oba tyto jevy současně.

Dosavadní stav techniky

Účinné odstranění nežádoucího materiálu z povrchu podložky je velmi závažným aspektem mnoha důležitých procesů zpracování materiálů a výroby produktů. Jak je popsáno v přihlášce 258, mezi nežádoucí materiály (které lze též považovat za



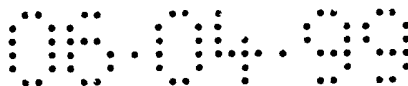
kontaminanty) patří částice, nežádoucí chemické prvky či sloučeniny a filmy neboli vrstvy materiálu. Částice mohou být nespojitě kousky hmoty od velikosti v řádu mikronů až po granule viditelné pouhým okem. Mezi nežádoucí materiály zahrnujeme veškeré druhy, prvky či sloučeniny, které jsou nežádoucí v době provádění procesu odstraňování. Např. hydroxylová skupina (-OH) může být v jednom ze stadií procesu žádoucím katalyzátorem reakce na povrchu, zatímco v jiném stadiu nežádoucím kontaminantem. Filmy čili vrstvy materiálu mohou být organické, jako např. tělesná mastnota z otisků prstů, barvy a epoxidy, nebo anorganické, např. oxidy v materiálu podložka nebo jiné anorganické materiály, jimž byla podložka vystavena.

Tyto nežádoucí materiály musejí být v některých případech odstraněny, aby látka mohla lépe sloužit svému zamýšlenému účelu. Např. v některých přesných vědeckých měřicích přístrojích je narušena přesnost, když se objektivy či zrcadla pokryjí velmi jemnými povrchovými kontaminanty. Obdobně je tomu v polovodičích, kdy povrchové efekty, způsobené malými molekulárními kontaminanty často znehodnocují masky či čipy. Snížením počtu molekulárních povrchových defektů v křemenné fotomasce jen o malé množství lze podstatně zvýšit produktivitu výroby polovodičových čipů. Podobně se po odstranění molekulárních povrchových kontaminantů, jako je např. uhlík či kyslík, z povrchu křemičitých plátek před dosazením obvodových vrstev na plátek či mezi dosazením vrstev podstatně zvýší kvalita výroby počítačových čipů.

Aby se na povrchu podložky vytvořily velmi malé struktury (tzv. nanostruktury), lze vrstvy materiálu podložky odstranit výběrově. Materiál (materiál podložky, vrstvy oxidu nebo jiné vrstvy materiálu) lze též výběrově odstranit v různých množstvích na povrchu podložky, čímž se mění topografie povrchu podložky (např. se vyhladí drsný povrch).

V přístrojích ke zpracování materiálu je často potřebná úprava zajišťující odstranění nežádoucího materiálu, aby se zabránilo znečištění výrobků, které se v přístroji zpracovávají. Např. podstatná část nežádoucího materiálu, který při výrobě znečišťuje křemičité plátky, vzniká ve výrobním přístroji, např. v procesních komorách, v nichž jsou plátky umístěny, v křemenných nádobách užívaných k přidržování plátek při průchodu křemennými žárnicemi (a přímo v žárnicích) a v potrubí, které vede výrobní plyn do komor. Stupeň znečištění plátku v průběhu výroby lze proto podstatně snížit periodickým čištěním tohoto přístroje.

Obecně by měl jakýkoli postup odstraňování materiálu z podložky fungovat tak, aby neovlivnil fyzikální vlastnosti (žádoucího) materiálu, který zde zůstává. Mezi fyzikální vlastnosti, jež by měly zůstat neovlivněny, by měla obecně náležet krystalická struktura,



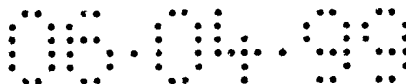
vodivost, hustota, dielektrická konstanta, hustota náboje, Hallova konstanta a difúzní koeficient pro elektrony a díry. Při konkrétních použitích polovodičů (jako jsou polovodiče oxidů kovu zkracované MOS), u tranzistorů typu FET a bipolárního plošného tranzistoru (BJT) může mezi tyto vlastnosti patřit kapacita a plocha v typu MOS, kapacita přechodu a proud kanály v tranzistoru typu FET ve směru od kolektoru do emitoru, napětí mezi kolektorem a bazí, mezi emitorem a bazí v typu BJT, mezi kolektorem a emitorem a mezi řídicí elektrodou a emitorem v typu FET, prahový potenciál u typu MOS, stav povrchového náboje/plochy u typu MOS a zpoždění akumulace. Dále může být nežádoucí měnit topografii (jako je např. hrubost povrchu) zbývajícího materiálu.

Jak je podrobně popsáno v přihlášce 258 a 431, bylo pro odstranění nežádoucích materiálů navrženo (a stále se používá) mnoho postupů. Patří sem mokré čištění chemickou cestou (postup RCA), HF ředění, ultrazvukové a superkritické kapalně čištění, ozónové a UV čištění, kartáčové čištění, parní čištění HF, laserové kapalně čištění (včetně Allenova a Tamova procesu), tavení povrchu, žihání, vystavení žáru, plasmatické čištění a čištění suchým ledem (CO₂).

Všechny tyto postupy jsou zatíženy určitými nedostatky, např. není možno odstranit velmi malé částice, nežádoucí změnou fyzikálních vlastností spodní podložky, spotřebou velkého množství nákladných materiálů, jako např. ultračisté vody a plynů, a vznikem toxických odpadních produktů (např. kyselin po HF čištění). Engelsbergovy radiační vynálezy tyto problémy řeší a eliminují nedostatky postupů dle předcházejícího stavu techniky odstraněním nežádoucího materiálu z upravovaného povrchu podložky ozářením nežádoucího materiálu energetickými fotony, jejichž prostorová a časová koncentrace postačuje k odstranění nežádoucího materiálu, ale nepostačuje ke změně fyzikálních vlastností materiálu spodní podložky. Za určitých okolností jsou však Engelsbergovy radiační vynálezy při odstraňování nežádoucího materiálu neúčinné nebo způsobují poškození materiálu zůstávajícího na podložce či materiálu ležícího pod odstraňovaným materiálem nebo vedle něho.

Podstata vynálezu

Vynález řeší problém předcházejícího stavu techniky a Engelsbergových radiačních vynálezů a eliminuje jejich nedostatky tím, že odstraňuje nežádoucí materiál z



upravovaného povrchu podložky ozáření nežádoucího materiálu v úhlu dopadu, jenž není kolmý vzhledem k povrchu podložky, energetickými fotony majícími prostorovou a časovou koncentraci (plošnou energii a výkon) dostatečnou k odstranění nežádoucího materiálu, avšak nepostačující ke změně fyzikálních vlastností podložky pod ním. Po povrchu materiálu bude přednostně nepřetržitě proudit plyn, odnášející s sebou odstraňovaný materiál, aby nedošlo k novému usazení materiálu na upravovaném povrchu. V optimálním případě jde o inertní plyn vzhledem k podložce a materiálu, který má být odstraněn. Aby se na upravovaném povrchu neusazovaly prouděním plynu kontaminanty, je nejlépe zajistit laminární režim proudění plynu.

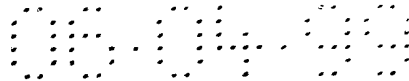
Zdroj záření (energetické fotony) poskytující fotony požadované energetické hladiny může být jakéhokoli typu, který je v oboru znám, včetně laserů s pulsním nebo spojitým vlněním a vysokoenergetických lamp. Při některých aplikacích, např. když příslušné vazby vyžadují současné působení většího množství fotonů, se preferuje zdroj o vysokém výkonu, např. pulsní ultrafialový laser.

Vynález je popsán jako aplikovatelný pro odstranění řídkého zbytku po chemickém a mechanickém čištění ("CMP") ze vzorovaných křemičitých plátek. Při kolmém dopadu byl řídký zbytek z plátek odstraněn, došlo však k poškození vzorů hliníkového obvodu. Je zajímavé, že při kosém úhlu a menší plošné energii a výkonu byla řídká směs odstraněna a nedošlo k žádnému poškození.

Vynález je také popsán jako aplikovatelný k odstranění částic nitridu křemičitého z neobsazeného křemíku. Zde je při kolmém dopadu odstranění špatné a při nasměrování na podložku v kosém úhlu je odstranění účinné a nezpůsobuje škodu.

Vynález je dále popsán jako aplikovatelný na odstranění polyuretanové pěny z vinylu. Při daných obdobných energetických hladinách a kolmém dopadu byl materiál poškozen a odstranění bylo špatné, avšak při kosých úhlech byla pěna odstraněna bez poškození.

Navíc je vynález popsán jako aplikovatelný na odstranění fotorezistentních částic z tenké vrstvy chromu na křemenné fotomasce. Při kosém úhlu byly částice odstraněny bez poškození. Oproti tomu při kolmém dopadu bylo odstranění částic špatné a z křemenné fotomasky se odlupoval chrom.



Přehled obrázků na výkresech

Na obr. 1 je schematické zobrazení postupu a přístroje pro odstraňování nežádoucího materiálu z podložky podle principů Engelsbergových radiačních vynálezů.

Na obr. 2 je schematické zobrazení postupu a přístroje pro odstraňování nežádoucího materiálu z podložky na základě principů podle vynálezu.

Na obr. 3 je schematické zobrazení geometrie oblasti dopadu záření na podložku podle některého z přístrojů na obr. 1 - 2.

Na obr. 4A a 4B jsou schematická zobrazení umístění plynové hubice v jednom z příkladů.

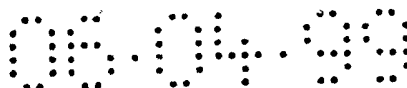
Na obr. 5A a 5B je schematické zobrazení umístění ohniskové roviny paprsku záření.

Příklady provedení vynálezu

Nyní budou uvedeny podrobné odkazy na preferovaná provedení vynálezu, jejichž příklady jsou znázorněny na připojených výkresech. Ve výkresech jsou k popisu příslušných částí uvedeny odpovídající vztahové značky.

1. Základní postup a přístroj k úpravě povrchu

Postup a přístroj pro odstranění nežádoucího materiálu z upravovaného povrchu podložky beze změny fyzikálních vlastností podložky je schematicky znázorněn na obr. 1. Jak ukazuje obr. 1, přístroj 10 pro úpravu povrchu podložky 12, z níž má být odstraněn nežádoucí materiál, obsahuje zářivý systém 400, plynový systém 500 a systém pro relativní pohyb 600. Zářivý systém 400 obsahuje zdroj 410 záření 11 (skládajícího se z energetických fotonů), jako je např. laser, a vhodný přivodní optický systém 450, který vede záření 11 po upravovaném povrchu podložky 12. Plynový systém 500 zahrnuje zdroj 510 plynu 18 a připojený přivodní systém 550 pro průtok plynu 18 alespoň jednou částí povrchu podložky 12, na který působí záření 11. Plyn 18 je přednostně inertní vzhledem k podložce 12 a proudí po podložce 12 tak, aby byla podložka 12 ponořena do prostředí nereagujícího plynu. Plyn 18 je přednostně chemicky inertní plyn, např. hélium, dusík nebo argon a je přiváděn v laminárním režimu



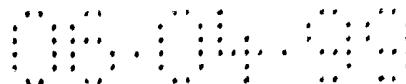
proudění. Systém relativního pohybu 600 umožňuje relativní pohyb mezi částí upravovaného povrchu podložky 12 a zářením 11 a volitelně i plynem 18.

Každý se stavebních prvků těchto součástí přístroje 10 (zdroj záření 410, přivodní optika 450, plynový zdroj 510, přivodní systém plynu 550 a systém relativního pohybu 600) může být totožný s prvky popsány v přihlášce 258 a odborník je pro konstrukci přístroje podle principů vynálezu snadno zvolí. Přivodní optika 450 může např. zahrnovat zrcadla, čočky, optická vlákna, kolimátory, clony, zařízení pro homogenizaci paprsku a další prvky. Přivodní systém plynu 550 může zahrnovat potrubí, komory, vedení, ventily, filtry, měřiče průtoku a další prvky. Systém relativního pohybu 600 může být jakýkoli systém vhodný pro translační nebo rotační pohyb podložky 12 vzhledem k záření 11 a plynu 18. Může obsahovat translační stupeň pro rovinné posunutí podložky a rotační zařízení pro otáčení podložky nebo pohyblivé složky v přivodní optice k rozkladu paprsku záření 11 na podložce. Ilustrační provedení přístroje 10 jsou podrobněji popsána níže.

Podle postupu z vynálezu jsou energetické fotony vyzařovány na upravovaný povrch podložky v prostorové a časové koncentraci (plošné energii a plošném výkonu), která postačuje k odstranění nežádoucího materiálu z upravovaného povrchu podložky a zároveň nepostačuje ke změně fyzikálních vlastností materiálu, který má zůstat na povrchu podložky.

Aby byl nežádoucí materiál odstraněn, musí se rozbit vazby, jimiž je připojen ke spodnímu a okolnímu materiálu na upravovaném povrchu (což může být stejný materiál, materiál podložky nebo jiný materiál). Každá taková vazba se zruší působením dostatečné energie alespoň stejné hodnoty, jako je energie vytvoření vazby. Vazební energie (tzn. množství energie uvolněné při vytvoření vazby) pro běžné materiály podložky jsou v níže uvedené tabulce 1a. Uvedené vazební energie se týkají vazeb mezi týmiž prvky materiálu (např. vazba Cr - Cr) a mezi prvkem materiálu a kyslíkem (např. Cr - O). Vazební energie pro různé sloučeniny uhlíku jsou uvedeny níže v tabulce 1b.

Vazby se poruší, když je energie přenášená fotony, působící na vazby, větší než vazební energie. V tomto procesu rozbití vazeb pravděpodobně existují ztráty energie, a proto je potřebné asi dvojnásobné množství energie fotonů než k vytvoření vazby. Jak je vidět v tabulce 1a a tabulce 1b, vazební energie s kyslíkem jsou v rozmezí 4,0 až 8,3 eV, zatímco vazební energie organických prvků (uhlík) jsou v rozmezí 3,5 až 11,2 eV. Energie fotonů musí být proto přibližně v rozsahu od 7 do 22 eV.



Tabulka 1a

Prvek	Vazební energie (eV/vazba)	
	Se stejným prvkem	S kyslíkem (-O)
O		5,2
Cr	1,6	4,5
Si	3,4	8,3
Mo	4,2	5,8
Fe	1,0	4,1
Ni	2,1	4,0
Er		6,4
Zr		8,1
Ta		8,3
W		7,0

Tabulka 1b

Prvek	Vazební energie (eV/vazba)
C	6,3
Cl	4,1
F	5,7
H	3,5
Mo	5,0
O	11,2
Si	4,7
Zr	5,8

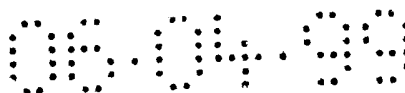
Energie fotonu závisí na jeho vlnové délce a je dána vztahem

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Rovnice č. 1

kde c je rychlost světla ($3,00 \times 10^8$ m/s), λ je vlnová délka (m) a h je Planckova konstanta ($4,14 \times 10^{-15}$ eV.s). Volba zdroje fotonů proto závisí na potřebné energii fotonů, a tedy i na požadované vlnové délce. V tabulce 1c jsou níže uvedeny různé lasery. Tabulka stanovuje médium laseru, tzn. je-li médiem plyn (g), kapalina (l), pevná látka (s) nebo plazma (p), vlnovou délku fotonu λ (nm) a energii fotonu E_{ph} (eV). Pro lasery s kontinuálním vlněním je uveden také průměrný výkon P_{ave} (W) a pro pulsní lasery je stanovena energie na jeden impuls E_{pulse} (J), reprezentativní doba trvání impulsu t_{pulse} (ns) a vrcholová hodnota energie v průběhu impulsu P_{peak} (MW).

Po porovnání energie fotonů pro výše uvedené lasery s požadovanými energiemi uvedenými výše pro běžné materiály podložky (berou-li se v úvahu očekávané ztráty) je zřejmé, že ve většině případů nebude k narušení příslušné vazby postačovat energie jediného fotonu. Energií k narušení vazby však lze pravděpodobně získat z většího

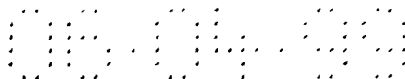


množství fotonů, narazí-li fotony do vazby během velmi krátkého časového okamžiku nebo v podstatě „současně“.

Tabulka 1c

Médium	λ (nm)	E_{ph} (eV)	E_{pulse} (J)	t_{pulse} (ns)	P_{ave} (W)	P_{peak} (MW)
C (6+) (p)	18	68,242	$2,00 \cdot 10^{-3}$	50		$4,00 \cdot 10^{-2}$
ArF excimerový (g)	193	6,435	$5,00 \cdot 10^{-1}$	50		$1,00 \cdot 10^{+1}$
KrF excimerový (g)	248	5,008	$5,00 \cdot 10^{-1}$	34		$1,47 \cdot 10^{+1}$
He-Cd (g)	442	2,810			$1,00 \cdot 10^{-2}$	
Ar+ (g)	515	2,412			$1,00 \cdot 10^{+1}$	
Rhodamin- barvivo 6G	560	2,218			$1,00 \cdot 10^{-1}$	
	640	1,941			$1,00 \cdot 10^{-1}$	
He-Ne (g)	633	1,962			$1,00 \cdot 10^{-3}$	
Kr+ (g)	647	1,920			$5,00 \cdot 10^{-1}$	
Rubin (s)	693	1,792	$5,00 \cdot 10^0$	50		$1,00 \cdot 10^{+2}$
Tl(3+):Al ₂ O ₃ (s)	660	1,882			$1,00 \cdot 10^{+1}$	
	1180	1,053				
Nd(3+): sklo (s)	1060	1,172	$5,00 \cdot 10^{+1}$	50		$1,00 \cdot 10^{+3}$
Nd(3+): YAG (s)	1064	1,167			$1,00 \cdot 10^{+1}$	
KF barevný střed (s)	1250	0,994			$5,00 \cdot 10^{-1}$	
	1450	0,857			$5,00 \cdot 10^{-1}$	
He-Ne (g)	3390	0,366			$1,00 \cdot 10^{-3}$	
FEL (LANL)	9000	0,138	$1,00 \cdot 10^{-3}$	50		$2,00 \cdot 10^{-2}$
	40000	0,031	$1,00 \cdot 10^{-3}$	50		$2,00 \cdot 10^{-2}$
CO ₂ (g)	10600	0,117			$1,00 \cdot 10^{+2}$	
H ₂ O (g)	118700	0,010			$1,00 \cdot 10^{-5}$	
HCN (g)	336800	0,004			$1,00 \cdot 10^{-3}$	

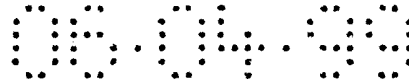
Protože k rozbití každé vazby je třeba určité množství energie, je celková hodnota energie (a tedy i celkový počet fotonů s danou energií) potřebná k odstranění daného množství nežádoucího materiálu z upravovaného povrchu obecně úměrná množství vazeb v tomto množství materiálu. Fotony pravděpodobně interagují s vazbami pouze ve styčné oblasti upravovaného povrchu (tzn. v nejvyšší jedné vrstvě nebo dvou vrstvách atomů nebo molekul - monovrstvách). K odstranění převážně spojitých vrstev materiálu (jako jsou oxidové vrstvy) se proto doporučuje pracovat s úvahu jednotkovými povrchovými plochami a tloušťkami materiálu v monovrstvách. Pro danou povrchovou oblast je tedy pro odstranění určité tloušťky materiálu (nebo určitého počtu monovrstev)



nutné účinné působení daného množství energie (počtu fotonů). Samozřejmě, že k rozbití vazby nepřispějí všechny fotony, které narazí do upravovaného povrchu podložky. Za rozbití vazby odpovídá patrně jen malá část fotonů. To je pravděpodobně alespoň částečně způsobeno tím, že efektivní místa (vazby nebo jejich části) pro absorpci energie fotonů jsou jen malým zlomkem plochy povrchu. Pro daný materiál však pravděpodobně existuje relativně stálý vztah mezi skutečným množstvím potřebných fotonů a teoretickým počtem na základě vazeb, které mají být narušeny. Proto se za odpovídající parametr považuje tzv. plošná energie (energie na jednotku plochy nebo počet fotonů na jednotku plochy) působící na upravovaný povrch podložky, což odpovídá tloušťce odstraňovaného nežádoucího materiálu

Jak je uvedeno výše, existují případy, kdy příslušné vazby vyžadují větší energii než je energie přenášená jediným fotonem emitovaným zvoleným zdrojem záření. Tyto vazby jsou zde označovány jako „multifotonové vazby“. Jak je uvedeno výše, energie dvou nebo většího počtu fotonů se pravděpodobně sečtou a dodají energii potřebnou k rozbití multifotonové vazby jen tehdy, když fotony narazí do vazby současně. Z toho vyplývá rychlost dopadu fotonů v místě vazby, což odpovídá plošné energii (energii za časovou jednotku na jednotku plochy). Dále bylo zjištěno, že multifotonové rozbití vazby má patrně pravděpodobnostní charakter. Pro daný průměrný plošný výkon působící na plochu podložky existuje průměrná rychlost dopadu fotonů v každém daném místě vazby. Avšak skutečná rychlost dopadu fotonů by měla být kolem průměrné hodnoty rozdělena náhodně. Když má tedy foton minimální rychlost dopadu (maximální časový interval mezi fotony), v níž probíhá sčítání energie fotonů k rozbití multifotonové vazby, bude průměrný plošný výkon působící na danou oblast, odpovídající této minimální rychlosti, působit přibližně na polovinu míst vazby v této oblasti, vystavených potřebné rychlosti dopadu (nebo větší rychlosti). A naopak, i když je průměrná plošná energie poněkud menší, než je třeba k vyvolání požadované rychlosti dopadu fotonu, očekává se, že se fotony dostanou na některá vazební místa v požadovaném intervalu.

Souhrnně řečeno, k odstranění dané tloušťky nežádoucího materiálu z upravovaného povrchu podložky musí na nežádoucí materiál působit minimální celková plošná energie (celkový počet fotonů dané energetické hladiny na jednotku plochy). Pracuje-li se s multifotonovými vazbami, je též nutný určitý plošný výkon, a čím větší je plošný výkon, tím roste možnost, že každé místo vazby bude vystaveno potřebné rychlosti dopadu fotonu. Při výběru vhodného zdroje energetických fotonů je pak třeba vyhodnotit potřebnou energii fotonu a pro multifotonovou vazbu i aktuální výkon. Jak



vyplyne z níže uvedených dat, k odstranění zbytků a částic po CMP jsou proto jako fotonové zdroje preferovány pulsní UV lasery, vyznačující se nejvyššími vrcholovými hodnotami energie a velkými protonovými energiemi.

Plošnou energii a výkon, jenž může působit na upravovaný povrch podložky, však omezuje další faktor: potřeba vyhnout se změně fyzikálních vlastností materiálu, který zůstane na povrchu. Obecně jsou změny fyzikálních vlastností materiálu způsobovány vzrůstem teploty materiálu nad prahovou hodnotu. Změna teploty povrchu materiálu, způsobená působením energie záření, závisí na vlastnostech přenosu tepla v materiálu a plošném výkonu a energii působícího záření. Maximální plošný výkon a energii pro daný materiál podložky bude třeba nalézt experimentálně. Laserové techniky čištění dle předcházejícího stavu techniky, vycházející z odpařování, vystavení žáru nebo roztavení povrchu, poskytují určitý návod pro nalezení plošné energie a výkonu potřebných k vyvolání stavových změn materiálu podložky.

V Engelsbergových radiačních vynálezech byly při daném výkonu zdroje fotonů fotony přednostně směřovány kolmo k rovině části upravované podložky, aby se tak maximalizoval plošný výkon a energie působící na povrch. Byla uplatňována myšlenka, že jediný účinek nasměrování fotonů do kosého úhlu spočívá v tom, že plošná energie a výkon na povrchu budou nižší o hodnotu, odpovídající funkci sinus úhlu dopadu vzhledem k rovině povrchu. Vynález však ukazuje, že jsou situace, kdy je odstranění nežádoucího materiálu při kosém úhlu kvalitnější, i přesto, že plošná energie a výkon jsou nižší, a tyto snížené hodnoty mají za následek menší pravděpodobnost poškození.

2. Zkušební přístroj

Zkušební přístroj je schematicky znázorněn na obr. 2. V tomto přístroji (označeném na obrázku jako 10A) je zdrojem záření laser 411, což je pulsní excimerový laser pracující s KrF, prodáváný Lambda Physik jako model číslo LEXtra 200. Laser má vlnovou délku 248 nm (pro energii fotonu 5,01 eV), maximální výstupní energii na impuls 600 mJ a stálou dobu trvání impulsu 34 ns (pro maximální výkon na impuls 17,65 MW). Maximální opakovací pulsní kmitočet je 30 Hz, přičemž vniká maximální průměrný výkon v hodnotě 18 W. Paprsek záření má na výstupu laseru velikost 23 mm na 13 mm.

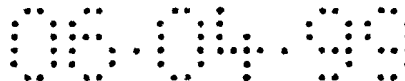
Přívodní systém záření 450 obsahuje v pořadí, v jakém postupuje paprsek záření 11 po opuštění laseru 411, destičku apertury 452, otočná zrcadla 453, 454 a 455 a cylindrickou čočku 456. Destičku apertury 452 lze použít k blokování postranních



"chvostů" Gaussovy křivky rozdělení fotonů vystupujících z laseru 411 tak, aby prostorové rozdělení energie paprsku záření 11 bylo v rovině kolmé k paprsku přibližně jednotné. Ke stanovení vhodných rozměrů apertury se použije několika laserových impulsů, dopadajících na obraz paprsku na faxovém papíře. Měření délky a šířky obrazu paprsku se provádějí posuvným měřtkem s metrickým číselníkem. Otočná zrcadla 453 až 455 jsou rovinná zrcadla. Zrcadlo 455 lze nastavit do vyšší nebo nižší polohy na podstavci zrcadla 457 a otáčet jím tak, aby se nastavoval úhel dopadu (AI)⊙ paprsku na povrch podložky. Nejmenší úhel dopadu použitý v příkladech byl 6° a největší činil 83,9°. Při větších úhlech by byl paprsek záření přivodním systémem záření 450 odrážen zpět. Kolmý dopad, jak se o něm hovoří v příkladech, se tedy týká úhlů dopadu přibližně v hodnotě 84° vzhledem k vodorovné rovině upravovaného povrchu. Cylindrická čočka je čočka o velikosti 2 x 2 palce s ohniskovou vzdáleností 200 mm, kterou prodává Acton Research v Actonu, státě Massachusetts. Cylindrickou čočku 456 lze na podstavci čočky 458 nastavovat do vyšší nebo nižší polohy k ovládní paprsku 11 a posunovat blíže či dále od podložky k nastavení ohniska paprsku. Cylindrickou čočku 456 lze nastavit tak, aby ohnisková rovina paprsku záření 11 byla umístěna nad (což je zde označováno jako "před ohniskem") nebo pod (což je zde označováno jako "v ohnisku") rovinou části upravované podložky. (Účinky umístění před ohniskem a v ohnisku jsou podrobněji rozebrány v části 4.) Zrcadlo 455 a cylindrická čočka 456 jsou drženy pětiosovými 100-milimetrovými závěsy a nastavují se pomocí mikrometru.. Šířka paprsku na povrchu podložky se též nastavuje užitím mikrometru. Volitelně lze připojit prvek 459, což může být polarizátor, dělič paprsku nebo zeslabovač . Všechny optické prvky mají antireflexní vrstvu pro světlo o vlnové délce 248 nm. Přístroj lze pohybově ovládat a automatizovat pomocí počítače.

Paprsek záření 11 je přiváděn směrem ke stupni 610, na němž je připevněna podložka 12. Jak je vidět na obr. 3, lze stupeň 610 posunovat ve směrech X a Y (rovnoběžně s rovinou stupně, jak je na obr. 3 označeno šipkami X a Y). Paprsek záření 11 vytváří obecně pravouhloú oblast dopadu záření 611 o šířce w a délce l . Oblast 611 se po povrchu podložky 12 přesouvá posunováním stupně 610.

Přivodní systém plynu 500 obsahuje Dewarovu nádobu s tekutým dusíkem (o kapacitě 4500 l) spojenou sériově s duálním regulátorem stupně, adsorbentem směsi a kyslíku (výrobek MG Industries Oxisorb, který adsorbuje do koncentrace 0,01 částic na miliardu), filtrem částic Millipore Model 304 (provádí filtraci do 0,003 mm), měřičem průtoku spojeným s Cole-Parmerovým regulátorem průtoku z nerezové oceli, druhým



filtrem částic Millipore Model 304 (provádí filtraci do 0,003 mm), částí číslo H-32561-42 kalibrovanou pro dusík a inertní plyn, druhým filtrem částic Millipore Model 304 (provádí filtraci do 0,003 mm) a s hubicí 551 tvořící zakončení sousední oblasti 611. Hubice 551 vypouští plyn 18, protékající oblastí 611, a zůstává vzhledem k oblasti 611 ve stále poloze, takže se stupeň 610 a podložka 12 vzhledem k ní pohybují. Tento přívodní systém plynu je výhodný pro materiály, které nejsou citlivé na typické atmosférické plyny, a umožňuje zjednodušení přístroje, je-li potřebné nebo žádoucí během úpravy izolovat podložku od atmosféry (jak je popsáno v přihlášce 258).

Ke sledování oblastí 611 a poskytování vizuálních dat týkajících se výsledků zpracování je nainstalována videokamera 700.

V uvedeném provedení je při vyslání paprsku 11 na povrch podložky 12 stupeň 610 nejdříve posunut podélně ve směru X, čímž na podložce 12 vystavená záření paprsku 11 vznikne podlouhlá pravoúhlá oblast 612. Stupeň 610 pak může být vrácen do původní polohy a opět posunut ve směru X, takže paprsek záření 12 vytvoří další "průchod" oblastí 612. Po jednom nebo větším počtu průchodů může být stupeň 610 posunut bočně ve směru Y o hodnotu přibližně rovnou délce l , a poté posunut opět ve směru X, aby tak vznikla další oblast přilehlá k předcházející oblasti 612. Část povrchu 12, jež má být upravena, je tedy postupně vystavována záření paprsku 11 a současnému průtoku plynu 18.

Plošná energie (energie na jednotku plochy), kterou působí na jakýkoli bod na povrchu podložky 12 paprsek záření 11 v průběhu jednoho impulsu laseru 411, je rovna energii impulsu na povrchu děleno oblastí, na niž je tato energie rozprostřena. To lze vyjádřit následovně:

$$F_{\text{eps}} = \frac{E_{\text{ps}}}{l \cdot w} \quad \text{Rovnice 2}$$

kde F_{eps} je pulsní plošná energie působící na jednotku plochy (J/cm^2), E_{ps} je pulsní energie působící na povrch (J), l a w je délka a šířka oblasti 611 (mm). Pulsní plošný výkon (F_{pps}) je proto možno vypočítat obdobně, přičemž t_p je trvání laserového impulsu.

$$F_{\text{pps}} = \frac{F_{\text{eps}}}{t_p} \quad \text{Rovnice 3}$$



S průchodem paprsku záření 11 optickými elementy a destičkou apertury jsou spojeny energetické ztráty. Proto je pulsní laserová energie na povrchu (E_{ps}) menší než vydávaná pulsní laserová energie. Laser LEXtra 200 obsahuje miniovladač s měřidlem pulsní energie, který je vhodný pro zaznamenávání výstupu energie laseru v průběhu experimentů. Vnitřní měřidlo však není příliš přesné. Pro přesnější měření energie byl testovací přístroj kalibrován tak, aby vznikl opravný prvek, aplikovatelný na hodnoty vnitřního měřidla a zajišťující přesnější výsledky. Pulsní energie laseru působící na povrch (E_{ps}) byla v místě upravovaného povrchu měřena hlavici detektoru Molecron J50 a joulemetrem JD 1000 a hodnoty naměřené energie byly porovnány s výsledky podle vnitřního měřidla pulsní energie (E_{pm}). Tak vznikl opravný faktor ($R_{correction}$) zahrnující ztráty dané optickým zařízením i nepřesností měřidla.

$$E_{ps} = E_{pm} \cdot R_{correction} \tag{Rovnice 4}$$

Tento opravný faktor není konstantní. Bylo zjištěno, že se mění přibližně lineárně s výstupní hodnotou laseru. Pulsní energie závisí na napěťovém vstupu (V) do laseru, který lze měnit přibližně na hodnoty mezi 17 a 22 kV. Výstupní energie laseru (uváděná vnitřním měřidlem) se pro dané nastavení napětí mění v závislosti na faktorech, jako je např. úroveň přívodu laserového plynu, takže napětí nelze použít přímo k měření pulsní energie. Místo toho se používá vnitřní měřidlo. Opravný faktor má pak tvar:

$$R_{correction} = \frac{1}{m \cdot V + b} \tag{Rovnice 5}$$

kde m je smělost a b je úsek na ose u lineárního vztahu.

Energie připadající na impuls na upravovaném povrchu je tedy dána rovnicí:

$$E_{ps} = \frac{E_{pm}}{m \cdot V + b} \tag{Rovnice 6}$$

Ve znázorněném provedení je oblast 612 tvořena řadou nespojitých oblastí 611 (jak je na obr. 3 ilustrováno druhou oblastí 611 nakreslenou přerušovanou čarou). Vzdálenost, o níž je oblast 611 posunuta vzhledem k oblasti 611 (ΔX), je dána časovým intervalem mezi laserovými impulsy (což je inverzní hodnota opakovacího kmitočtu



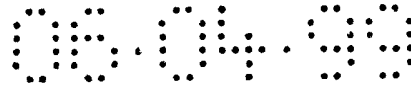
laserového impulsu R_i) a rychlosti posunu stupně δ_{10} (rychlosti snímání v_s). Plošná energie působící na daný bod podložky je tedy dána plošnou energií na impuls (F_{eps}) a počtem laserových impulsů, které na bod působí (N_{pi}). Počet impulsů N_{pi} je roven šířce w v oblasti δ_{11} děleno vzdáleností ΔX , o niž se stupeň posune mezi impulsy. Je samozřejmé, že není-li w celým násobkem ΔX , a zároveň platí, že na každý bod musí působit počet impulsů vyjádřený celým číslem, nebude na každý bod působit stejný počet impulsů. Výše popsany vztah je však dostatečně přesný ke stanovení průměrné energie působící na každou oblast δ_{12} . Proto je lépe ponechat stupeň ve stejné boční pozici a aplikovat na stejné místo další oblast δ_{12} , a nikoli stupeň před započítáním další oblasti δ_{12} bočně posunovat. Na podložce tak vznikne další „průchod“. Celková působící plošná energie (F_{et}) je tedy rovna plošné energii působící na jeden průchod (F_{epa}) vynásobené počtem průchodů (N_{pa}). Průměrnou plošnou energii, působící na povrch podložky 12 , tak lze vypočítat ze vztahu:

$$F_{epa} = \frac{F_{eps} \cdot R_i \cdot w}{v_s}$$

Rovnice 7

Tabulka 2b

Parametr	Popis	Jednotky
E_{pm}	Pulsní energie (měřená)	mJ
E_{ps}	Pulsní energie (skutečná na povrchu)	mJ
F_{eps}	Plošná energie na impuls (na povrchu)	J/cm ²
F_{pps}	Plošný výkon na impuls (na povrchu)	MW/cm ²
F_{epa}	Průměrná plošná energie na průchod	J/cm ²
F_{et}	Celková plošná energie (na celkový počet průchodů)	J/cm ²
l	Délka oblasti δ_{11}	mm
N_{pi}	Účinný počet impulsů zasahujících bod	-
N_{pa}	Počet průchodů	-
R_g	Rychlost přívodu plynu	ml/s
R_i	Opakovací rychlost laseru	s ⁻¹
v_s	Rychlost snímání laseru	mm/s
V_l	Napětí laseru	kV
w	Šířka oblasti δ_{11}	mm
α	Úhel dopadu záření	°



Celková plošná energie, působící na daný bod, se získá vynásobením plošné energie na průchod (F_{epa}) počtem průchodů:

$$F_{et} = F_{epa} \cdot n_{pa}$$

Rovnice 8

Pro experimentální data uvedená níže jsou parametry testu znázorněny v tabulce 2b.

3. Příklady odstraňování materiálu užitím různých úhlů dopadu

V následujících příkladech je předvedena aplikace základního postupu úpravy a přístroje, jež jsou popsány výše, na nežádoucí materiály. V každém příkladu byla na jednom nebo větším počtu vzorků zoxidovaného materiálu podložky provedena série jednotlivých "kol", v nichž probíhala úprava. V každém kole se pracovalo s jednou oblastí 612 na upravovaném povrchu s jedním nebo větším počtem průchodů v oblasti. Není-li uvedeno jinak, byly vzorky upravovány na rovinném povrchu.

Při těchto testech bylo cílem odstranit všechny nežádoucí materiály v co nejmenším počtu průchodů (přednostně pomocí jediného průchodu) co nejvyšší možnou rychlostí stupně bez poškození upravovaného povrchu. To odpovídá maximální rychlosti zpracování pro komerční účely, tzn. aby podložka byla upravena v nekratší možné době. Jak je rozebíráno výše, je klíčovým faktorem procesu patrně plošná energie na impuls (F_{eps}), s ní přímo související (při stálém trvání impulsu 34 ns) plošný výkon na impuls (F_{pps}) a celková plošná energie (F_{et}). Tyto faktory se v procesu měnily nastavováním hodnoty pulsní energie (E_{ps}), opakovacího kmitočtu laserového impulsu (R), rychlosti stupně (V_s) a šířky oblasti dopadu (w). Navíc se měnil úhel dopadu (A) záření na upravovaný povrch.

a) Zbytek řídké směsi po chemickém mechanickém čištění (CMP)

V tomto příkladu byl ze vzorovaného křemičitého plátku odstraňován zbytek řídké směsi po chemickém mechanickém čištění (CMP). CMP se používá v polovodičovém průmyslu k planarizaci povrchů na částech mikroprocesoru a paměti a je jedním z nejzávažnějších kontaminantů, které se musí odstraňovat z povrchu křemičitého plátku. V současné době se v průmyslu používají oboustranné kartáčové



čističe, voda, zásadité látky a povrchově aktivní činidla buď samostatně, nebo v různých kombinacích.

V tomto příkladu byly použity plátky o velikosti 100 mm, ponořené do pětiprocentního tlumivého roztoku ve 150-milimetrovém nosiči plátek. Plátky byly vzorkovány do kovové vrstvy M1 (Metal 1). K planarizaci povrchu byla použita řídká směs oxidu hlinitého. Vzorky plátek byly netlumeny i tlumeny (tlumené vzorky měly na povrchu menší zbytek řídké směsi), u tlumených a netlumených vzorků však nebyl pozorován rozdíl v účinnosti odstranění. Když probíhal proces podle vynálezu, byly plátky stále ještě mokré. Přestože byly v počátku řídká směs odstraněna, zůstaly po úpravě užitím konfigurace na obr. 4A, který znázorňuje oblast rozpínání proudícího plynu 18 na oblasti záření 611, na povrchu plátku vodní pruhy. Bylo zjištěno, že po mírné modifikaci směru proudění plynu 18 byly vodní pruhy zcela odstraněny. Jak znázorňuje obr. 4B, hubice plynu 551 je nasměrována mírně před oblast záření 611, takže se prouděním plynu 18 v oblasti rozpínání proudění plynu 18a odstraní vlhkost 13, vyskytující se na plátku před tím, než je plátek vystaven kombinaci záření a proudícího plynu. Užitím této konfigurace zajišťovalo proudění dusíku o rychlosti 44 litrů za minutu nejen minimalizaci nového odnášení částic, ale též odstranění vodních pruhů vzniklých v důsledku chemických lázní, které jsou součástí procesu CMP.

Kola 1 až 4 byly prováděna se zářením nasměrovaným na povrch pod úhlem dopadu (AI) 83,9°. Kola 1 a 2 měla za následek poškození podložky. V kole 2 bylo odstranění lepší než v kole 1, pravděpodobně proto, že bylo prováděno při větší plošné energii a výkonu. V kolech 3 a 4 byl použit prvek 459 (viz obr. 2). V kole 3 byl použit 50%-ní dělič paprsku a došlo k poškození, aniž by byl odstraněn zbytek řídké směsi. V kole 4 byl použit polarizátor s nedostatečným výsledkem, podobně jako u kola 3. Kolo 5 bylo prováděno se zářením směřujícím v úhlu 15° vzhledem k podložce. V kole 5 sice nedošlo k poškození, ale odstranění bylo nedostatečné.

Úhel dopadu záření byl pak změněn na 6° a výsledky byly překvapivě dobré. Kola 6 a 7 skončila vynikajícím odstraněním zbytku bez poškození podložky při plošné energii a výkonu podstatně nižších než byly hodnoty v kolech 1 až 5. Při nižších hodnotách plošné energie a výkonu tak bylo čištění lepší, což je v protikladu k očekávaným výsledkům, protože v typickém případě při menších plošných hodnotách účinnost čištění klesala. Výsledky zkoušky čištění řídkého zbytku po provedení CMP jsou shrnuty níže v tabulce 3a.



Tabulka 3a

Kolo	V_l	E_{pm}	E_{ps}	R_l	v_s	l	w	F_{eps}	F_{pps}	F_{epa}	N_{pa}	F_{et}	AI	Poznámky
1	18,3	400	238	30	12	25	1,8	0,53	15,5	2,38	1	2,38	83,9	Poškození. Odstranění nikoli
2	19,7	500	291	30	10	25	1,8	0,65	19,0	3,50	1	3,50	83,9	Poškození. Dobré odstranění
3	22	600	170	30	5	25	1,8	0,38	11,1	4,07	1	4,07	83,9	Poškození. Odstranění nikoli (dělič paprsku)
4	20,3	500	127	30	5	35	2,8	0,13	3,82	2,18	1	2,18	83,9	Poškození. Odstranění nikoli (polarizátor)
5	18	400	278	30	5	35	6,7	0,12	3,49	4,77	1	4,77	15	Bez poškození. Odstranění slabé
6	18,8	500	358	30	5	35	14	0,07	2,15	6,13	1	6,13	6	Bez poškození. Odstranění výborné
7	20,8	640	451	30	8	35	14	0,09	2,71	4,84	1	4,84	6	Bez poškození. Odstranění výborné

b) Částice nitridu křemičitého

V tomto příkladu byly částice nitridu křemičitého rozpuštěné ve vodní suspenzi rozloženy na křemíku a ponechány, aby zde uschly. Tak vznikl silně přilnutý a velmi hustý kontaminant (více než 10 000 částic na 150-milimetrový plátek). Proudícím plynem byl v tomto případě argon v kole 1 a dusík v kolech 2 až 17. Plyn byl přiváděn cca



rychlostí 44 litrů za minutu. Množství kontaminantu na podložce před úpravou a po úpravě bylo měřeno počítadlem částic křemičitých plátků Systémů měření částic (PMS) Model 3600 XP. Počítadlo částic využívá dvou laserů pracujících s HeNe, z nichž jeden polarizuje paprsek pod úhlem 30° v rovině "p" a druhý v rovině "s". Sběrná optika pro počítadlo částic je nastavena kolmo vzhledem k rovině plátku. Tak lze porovnat množství částic kontaminantu na podložce pomocí rozsahů velikostí před úpravou a po úpravě.

Účinnost úpravy lze zhodnotit výpočtem "procenta odstranění" čili "PR", které lze získat následovně:

$$PR(\%) = (\text{odstraněné částice} / \text{částice před zpracováním}) \times (100)$$

Ačkoli byla shromážděna data pro řadu rozsahů velikostí částic (přičemž všechna data jsou uvedena níže), hodnoty PR jsou vypočítány pro tři rozsahy velikosti částic: 0,1 až 0,3; 0,4 - 10 a 0,1 - 10 μm.

V krocích 1 až 2 bylo záření nasměrováno na povrch v úhlu dopadu 83,9°. V kolech 1 a 2 se používalo nepolarizované světlo a polarizátor byl využit v kolech 3 a 4 jako prvek 459. Zbývající kola byla provedena s nepolarizovaným světlem nasměrovaným v úhlech dopadu 6,5° (kola 5 až 10) a 10° (kola 11 až 17). Průměrné odstranění v celém rozsahu velikostí částic (0,1 až 10 μm) činilo 66,1 % pro úhel dopadu 83,9° v porovnání s 80,8% a 72,9% odstranění částic pro úhly dopadu 10° a 6,5°. Úhel dopadu 10° se tedy jeví jako neúčinnější. Stejná relativní účinnost byla pozorována pro rozsah velikostí částic 0,1 - 0,3 a 0,4 - 10 μm, efekt pro větší velikosti částic je však větší.

Výsledky zkoušky odstranění nitridu křemičitého jsou shrnuty níže v tabulce 3b1.

Tabulka 3b1

K	V _i	E _{pm}	E _{ps}	R _i	v _s	I	w	F _{eps}	F _{pps}	F _{epa}	N _{pa}	F _{et}	Al	PR 0,1 - 0,3 μm	PR 0,4 - 10 μm	PR 0,1 - 10 μm
1	20,6	600	222	30	12	35	1,9	0,33	9,84	1,59	7	11,12	84	91,0	83,8	88,4
2	20,5	600	223	30	4	35	3,2	0,20	5,85	4,77	6	28,64	84	33,6	- 23,7	28,5
3	20,4	600			4	35	3,2				10		84	69,2	16,3	64,6
4	21,3	600			1	35	2,1				3		84	85,3	71,2	82,9

Průměr pro Al = 83,9°

69,8 36,9 66,1



Tabulka 3b1 (pokračování)

K o l o	V _l	E _{pm}	E _{ps}	R _l	v _s	l	w	F _{eps}	F _{pps}	F _{opa}	N _{pa}	F _{et}	AI	PR 0,1 - 0,3 μm	PR 0,4 - 10 μm	PR 0,1 - 10 μm
5	19,2	400	205	30	4	35	2,1	0,28	8,22	4,40	2	8,80	6,5	75,2	68,1	74,5
6	19,5	400	205	30	4	35	2,1	0,28	8,20	4,39	3	13,17	6,5	79,4	75,3	79,0
7	20,0	400	204	30	8	35	2,1	0,28	8,17	2,19	2	4,38	6,5	80,2	73,0	79,6
8	20,5	550	280	30	8	35	4,6	0,17	5,11	3,00	2	6,00	6,5	69,8	4,3	65,8
9	20,5	550	280	30	8	35	4,6	0,17	5,11	3,00	2	6,00	6,5	71,9	21,9	68,4
10	19,0	450	231	30	8	35	4,6	0,14	4,23	2,48	3	7,44	6,5	73,9	15,1	70,0
Průměr pro AI = 6,5°													75,1	42,9	72,9	
11	20,9	550	271	30	8	35	2,6	0,30	8,75	2,90	5	14,50	10	85,7	94,3	86,4
12	20,7	550	271	30	8	35	2,6	0,30	8,76	2,90	2	5,81	10	68,0	49,3	69,4
13	20,7	550	271	30	4	35	2,8	0,28	8,13	5,81	2	11,61	10	79,3	91,7	79,6
14	21,0	550	271	30	8	35	2,8	0,28	8,12	2,90	3	8,69	10	78,8	86,4	79,8
15	21,3	550	270	30	8	35	2,8	0,28	8,11	2,89	6	17,36	10	86,4	89,7	86,7
16	18,8	450	224	30	4	35	2,8	0,23	6,72	4,80	2	9,60	10	72,4	85,5	74,1
17	19,2	450	223	30	1	35	2,8	0,23	6,71	19,2	5	95,78	10	70,5	90,9	73,8
Průměr pro AI = 10°													77,3	84,0	78,5	

Níže uvedené tabulky 3b1 a 3b2 obsahují podrobnou analýzu částic s počty částic před zpracováním a po zpracování pro částice v rozsahu od 0,1 do 10 μm.

Tabulka 3b2

K o l o	Před 0,1 μm	Po 0,1 μm	Před 0,2 μm	Po 0,2 μm	Před 0,3 μm	Po 0,3 μm	Před 0,4 μm	Po 0,4 μm	Před 0,5 μm	Po 0,5 μm	Před 0,6 μm	Po 0,6 μm	Před 0,7 μm	Po 0,7 μm
1	10406	949	4392	147	1593	375	741	99	373	71	83	19	51	6
2	1267	649	543	370	405	452	302	380	160	202	38	42	30	26
3	9232	2036	3960	1460	1328	983	706	639	434	347	89	66	58	42
4	4763	778	1747	133	859	169	537	49	311	45	71	40	45	32



Tabulka 3b2 (pokračování)

K	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po
o	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
l	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
o														
5	6656	1781	4088	539	1317	677	609	193	356	101	84	30	68	17
6	7083	1466	3718	474	1272	552	518	131	344	59	82	13	55	19
7	6399	1194	2520	316	953	442	483	127	298	88	71	13	29	8
8	5912	1327	2249	783	697	563	329	296	156	188	43	51	27	11
9	5682	1169	2153	732	675	487	293	252	234	193	41	36	30	7
10	4888	893	1760	601	568	388	261	231	164	143	40	33	17	9
11	4492	726	1854	132	558	126	282	22	171	6	33	1	20	0
12	3131	1244	1254	95	432	203	279	203	149	22	21	6	3	1
13	2923	641	1080	102	448	180	282	27	150	11	26	2	11	0
14	1948	439	705	53	384	152	256	36	136	17	14	4	18	0
15	3440	477	1327	90	500	147	288	32	123	14	37	3	28	1
16	1796	614	941	89	431	172	255	46	148	18	33	4	17	1
17	1191	482	713	78	480	143	249	27	133	11	23	3	27	0

Tabulka 3b3

K	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po
o	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	7,0	7,0	10	10
l	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
o																
1	43	6	8	5	5	4	2	0	1	2	1	0	0	0	1	0
2	9	12	3	6	4	5	0	1	2	3	0	1	0	0	0	0
3	29	19	12	9	13	1	5	1	0	2	0	0	0	0	0	0
4	17	52	8	31	10	13	4	6	0	9	0	4	0	2	0	6
5	38	16	15	4	12	5	3	2	2	3	0	7	1	1	0	0
6	43	12	11	10	7	8	2	2	2	2	2	4	1	1	0	3
7	13	3	3	2	1	2	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
8	17	3	2	1	2	1	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0
9	15	3	9	3	10	2	2	2	3	1	4	4	3	0	0	0
10	15	7	4	5	5	4	3	1	7	3	2	3	4	3	0	1



Tabulka 3b3 (pokračování)

K o l o	Před 1,0 μm	Po 1,0 μm	Před 1,5 μm	Po 1,5 μm	Před 2,0 μm	Po 2,0 μm	Před 3,0 μm	Po 3,0 μm	Před 4,0 μm	Po 4,0 μm	Před 5,0 μm	Po 5,0 μm	Před 7,0 μm	Po 7,0 μm	Před 10 μm	Po 10 μm
11	11	0	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
12	3	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	4	0	3	0	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
14	11	2	2	1	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
15	8	0	2	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	4	1
16	8	0	4	0	2	0	2	0	0	0	2	0	1	0	5	0
17	11	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

c) Polyuretanová pěna odstraňovaná z vinylu

V tomto příkladu byla odstraňována polyuretanová pěna z akrylonitrilové butadienové styrenové terpolymerové látky. Při přibližně kolmém dopadu, $83,9^\circ$, se v kolech 6 a 7 polyuretanová pěna začala rozpouštět do vinylové látky. Naopak při úhlu dopadu 6° byla pěna zcela odstraněna. Počet průchodů, N_{pa} , závisel na tloušťce pěny připojené k vinylovému povrchu. Tyto výsledky byly prováděny v obdobných hodnotách plošné energie a výkonu na průchod (F_{eps}) a poněkud nižších hodnotách energie a výkonu na impuls (F_{pps} a F_{pps}). Výsledky jsou v tomto příkladu uvedeny níže v tabulce 3c.

Tabulka 3c

K o l o	V_l	E_{pm}	E_{ps}	R_l	v_s	l	w	F_{eps}	F_{pps}	F_{epa}	N_{pa}	F_{et}	Al	Poznámky
1	20,1	500	294	30	4	28	18,4	0,057	1,68	7,9	1	7,9	6	Pěna odstraněna
2	20	500	294	30	3	28	18,4	0,057	1,68	10,5	3	31,6	6	Pěna odstraněna

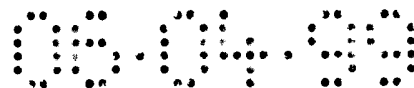


Tabulka 3c (pokračování)

K	V_l	E_{pm}	E_{ps}	R_l	V_s	l	w	F_{eps}	F_{pps}	F_{epa}	N_{pa}	F_{et}	Al	Poznámky
3	20	500	294	30	3	28	18,4	0,057	1,68	10,5	8	84,1	6	Pěna odstraněna
4	20,5	500	322	30	3	28	18,4	0,063	1,84	11,5	3	34,5	6	Nejlepší výsledek odstranění
5	20	500	294	30	3	28	18,4	0,057	1,68	10,5	8	84,1	6	Odstranění slabé (polarizátor)
6	20,4	500	238	30	3	28	8,6	0,099	2,91	8,5	5	42,5	83,9	Poškozeno. Bez vyčištění
7	20,5	500	261	30	3	28	8,6	0,109	3,19	9,3	1	9,3	83,9	Poškozeno. Bez vyčištění

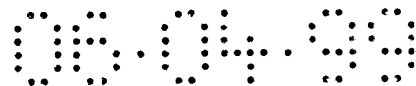
d) Částice na tenké vrstvě chromu na křemenné fotomasce

V tomto příkladu byly odstraňovány částice z fotomasky vytvořené na křemenu a pokryté tenkou vrstvou chromu. Kola 1 až 17 byla prováděna při úhlu dopadu $83,9^\circ$, zatímco kola 18 až 21 při úhlu dopadu 7° . V kolech 19 až 21 byl použit polarizátor (viz obr. 2). Rozsah plošné energie a výkonu pro přibližně kolmý dopad je $0,04$ až $0,07$ J/cm^2 a $1,2$ až $2,0$ MW/cm^2 . Více než polovina z těchto kol byla neúčinná nebo zde došlo k poškození podložky. Oproti tomu kola s "kosým úhlem dopadu" měla daleko větší rozsah plošné energie a výkonu, a přesto byly všechny rozsahy účinné a nedošlo k poškození materiálu podložky. Tyto výsledky ukazují, že při úhlu dopadu, který není kolmý, je operační rozsah pro odstranění částic tohoto typu podstatně větší. Výsledky tohoto příkladu uvádí níže tabulka 3d.



Tabulka 3d

K o l o	V _l	E _{pm}	E _{ps}	R _l	v _s	l	w	F _{eps}	F _{pps}	F _{opa}	N _{pa}	F _{st}	AI	Poznámky
1	19	504	55	30	5	27	5,0	0,04	1,2	1,2	1	1,2	83,9	Odstranění slabé
2	19	510	55	30	3	27	5,0	0,04	1,2	2,1	1	2,1	83,9	Odstranění nikoli
3	21	597	63	30	3	27	5,0	0,05	1,4	2,3	1	2,3	83,9	Odstranění slabé
4	21	597	63	30	3	27	4,0	0,06	1,7	2,3	1	2,3	83,9	Odstranění dobré
5	21	590	62	30	3	27	4,0	0,06	1,7	2,3	1	2,3	83,9	Odstranění částic, určité zakalení
6	22	656	67	30	3	27	4,0	0,06	1,8	2,5	1	2,5	83,9	Zřejmé odstranění částic nikoli
7	22	563	67	30	3	27	4,0	0,06	1,8	2,5	1	2,5	83,9	Dobré odstranění. Praskliny v Cr
8	22	657	67	30	3	27	4,0	0,06	1,8	2,5	1	2,5	83,9	Dobré odstranění
9	22	657	67	30	5	27	4,0	0,06	1,8	1,5	1	1,5	83,9	Dobré odstranění
10	22	657	67	30	3	27	4,0	0,06	1,8	2,5	2	5,0	83,9	Dobré odstranění, beze změny ve druhém průchodu
11	22	656	67	30	3	27	3,8	0,07	2,0	2,5	1	2,5	83,9	Určité poškození
12	20	563	60	30	3	27	3,8	0,06	1,7	2,2	1	2,2	83,9	Bez poškození

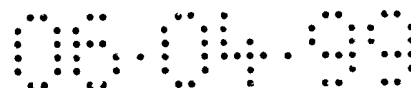


Tabulka 3d (pokračování)

K o l o	V_l	E_{pm}	E_{ps}	R_l	v_e	l	w	F_{eps}	F_{pps}	F_{epa}	N_{pa}	F_{et}	Al	Poznámky
13	18	408	45	30	3	27	3,8	0,04	1,3	1,7	1	1,7	83,9	Bez poškození
14	21	623	65	30	3	27	3,8	0,06	1,9	2,4	1	2,4	83,9	Bez poškození
15	22	653	67	30	3	27	3,8	0,07	1,9	2,5	1	2,5	83,9	Odstranění
16	20	560	60	30	3	27	3,8	0,06	1,7	2,2	1	2,2	83,9	Odstranění
17	18	427	48	30	3	27	3,8	0,05	1,4	1,8	1	1,8	83,9	Odstranění nikoli
18	19	400	20	30	10	29	12	0,01	0,2	0,2	1	0,2	7	Vynikající odstranění
19	20	450	130	30	10	29	7,3	0,06	1,8	1,3	1	1,3	7	Vynikající odstranění (polarizátor, režim "s)
20	20	450	130	30	10	29	7,3	0,06	1,8	1,3	1	1,3	7	Vynikající odstranění (polarizátor, režim "p)
21	21	550	160	30	10	29	7,3	0,08	2,2	1,7	1	1,7	7	Vynikající odstranění (polarizátor, režim "s)

4. Příklady odstranění materiálu užitím dopadu před ohniskem a do ohniska

Jak bylo popsáno výše, ohnisková rovina cylindrické čočky 456 může být zaostřena před rovinu nebo do roviny upravovaného povrchu podložky. Příklad před ohniskem a v ohnisku je znázorněn na obrázcích 5A a 5B.



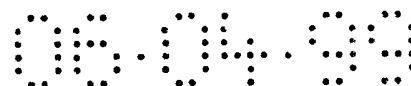
Výsledky následujících příkladů jsou různé. Některé z příkladů preferují dopad před ohniskem, zatímco u jiných je odstranění kvalitnější či poškození menší při dopadu do ohniska. Další proměnnou procesu je zřejmě podle autorů vynálezu umístění ohniskové roviny, což ovlivňuje zamýšlené cíle vynálezu: účinnost odstranění a vyloučení poškození. Ve všech kolech byl použit jako proudící plyn dusík přiváděný rychlostí 44 litrů za minutu.

a) Litografické masky s rentgenovými paprsky

V tomto příkladu byly odstraňovány částice z křemenné fotomasky s tenkou zlatou vrstvou. Odstranění bylo dobré v kolech 1 až 8 a 11 až 16, kde byl použit dopad do ohniska a polarizátor 459 v režimu "p". Dopad před ohnisko bez použití polarizátoru v kolech 17 až 21 bez polarizátoru však měl za následek poškození. Výsledky tohoto příkladu jsou uvedeny níže v tabulce 4a.

Tabulka 4a

K	V_l	E_{prn}	E_{ps}	R_l	v_s	l	w	F_{eps}	F_{pps}	F_{opa}	N_{pa}	F_{et}	Al	Poznámky
1	21,0	500	150	30	15	36	15,5	0,03	0,77	0,81	1	0,81	5,8	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)
2	20,7	500	150	30	15	36	15,5	0,03	0,77	0,81	1	0,81	5,8	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)



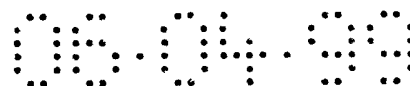
Tabulka 4a (pokračování)

K o l o	V_l	E_{pm}	E_{ps}	R_l	v_s	l	w	F_{ops}	F_{pps}	F_{epa}	N_{pa}	F_{et}	AI	Poznámky
3	20,5	500	150	30	15	36	15,5	0,03	0,77	0,81	1	0,81	5,8	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)
4	20,3	500	150	30	15	36	15,5	0,03	0,77	0,81	1	0,81	5,8	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)
5	20,9	500	150	30	15	36	14	0,03	0,85	0,81	1	0,81	5,8	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)
6	18,1	350	100	30	15	36	14	0,02	0,60	0,57	1	0,57	5,8	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)
7	20,9	500	150	30	15	36	17	0,02	0,70	0,81	1	0,81	5,8	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)



Tabulka 4a (pokračování)

K o l o	V_l	E_{pm}	E_{ps}	R_l	v_a	l	w	F_{eps}	F_{pps}	F_{epa}	N_{pa}	F_{et}	Al	Poznámky
8	20,1	500	60	30	15	27	13	0,02	0,52	0,46	1	0,46	6,1	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)
9	20,1	500	60	30	15	13	28	0,02	0,49	0,94	1	0,94	6,1	Poškození (polarizátor v režimu "p")
10	19,9	500	60	15	15	13	28	0,02	0,50	0,47	1	0,47	6,1	Poškození (polarizátor v režimu "p")
11	20,0	500	40	30	15	13	28	0,01	0,32	0,60	1	0,60	6,1	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)
12	19,9	500	40	30	15	13	28	0,01	0,32	0,60	1	0,60	6,1	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)
13	20,1	500	30	30	15	13	28	0,01	0,27	0,51	1	0,51	6,1	Odstranění dobré, bez poškození (dvojitý polarizátor v režimu "p")

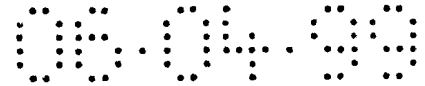


Tabulka 4a (pokračování)

K	V_l	E_{pm}	E_{ps}	R_l	v_s	l	w	F_{eps}	F_{pps}	F_{epa}	N_{pa}	F_{et}	Al	Poznámky
14	20,3	500	40	30	15	13	28	0,01	0,32	0,60	4	2,41	6,1	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)
15	22,0	620	50	30	15	13	28	0,01	0,38	0,73	1	0,73	6,1	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "p", dělič paprsku)
16	22,0	620	40	30	15	13	28	0,01	0,32	0,61	1	0,61	6,1	Odstranění dobré, bez poškození (dvojitý polarizátor v režimu "p")
17	17,1	300	100	30	15	30	14	0,02	0,68	0,65	1	0,65	5,8	Poškození
18	17,6	350	110	30	15	30	14	0,03	0,80	0,76	1	0,76	5,8	Poškození
19	18,2	400	130	30	15	30	14	0,03	0,91	0,87	1	0,87	5,8	Poškození
20	18,8	450	150	30	15	30	14	0,03	1,02	0,97	1	0,97	5,8	Poškození
21	19,6	500	160	30	15	30	14	0,04	1,13	1,08	1	1,08	5,8	Poškození

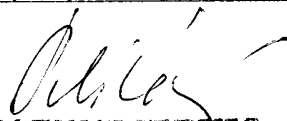
b) Křemenné fotomasky

V tomto příkladu byly odstraňovány částice z křemenné fotomasky s tenkou vrstvou chromu. Odstranění bylo dobré v kolech 2 a 3, kde byl použit dopad před ohnisko, kolo 1, kde byl použit dopad do ohniska, došlo k poškození. Výsledky tohoto příkladu jsou uvedeny níže v tabulce 4b.



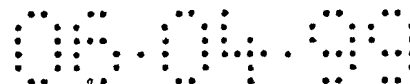
Tabulka 4b

K	V _l	E _{pm}	E _{ps}	R _l	v _s	l	w	F _{eps}	F _{pps}	F _{epa}	N _{pa}	F _{et}	Al	Poznámky
1		500	66	30	10	28	9,4	0,025	0,735	0,71	1	0,71	6,1	Poškození (polarizátor v režimu "s")
2		500	66	30	10	28	9,4	0,025	0,735	0,71	1	0,71	6,1	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "s")
3		500	71	30	20	28	9,4	0,027	0,794	0,038	1	0,038	6,1	Odstranění dobré, bez poškození (polarizátor v režimu "s")


PATENTSERVIS
Praha a.s.
24

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Postup odstranění nežádoucího materiálu z upravovaného povrchu podložky bez ovlivnění fyzikálních vlastností žádoucího materiálu zůstávajícího na upravovaném povrchu vedle nežádoucího materiálu nebo pod ním, **vyznačující se tím, že zahrnuje následující kroky:**
 - volbu podložky a nežádoucího materiálu, který má být z upravovaného povrchu odstraněn a který nelze odstranit ozařováním upravovaného povrchu energetickými fotony působícími v úhlu dopadu přibližně kolmém k upravovanému povrchu v předem stanovené prostorové a časové koncentraci, nepostačující ke změně fyzikálních vlastností žádoucího materiálu;
 - ozaření upravovaného povrchu energetickými fotony v kosém úhlu v uvedené předem stanovené prostorové a časové koncentraci, aby se z upravovaného povrchu uvolnil nežádoucí materiál a
 - současné spuštění plynu v podstatě inertního k uvedené podložce, proudícího přes nežádoucí materiál.
2. Postup podle nároku 1, **vyznačující se tím, že uvedený kosý úhel je menší než přibližně 20°.**
3. Postup podle nároku 2, **vyznačující se tím, že uvedený kosý úhel je menší než přibližně 10°.**
4. Postup podle nároku 1, **vyznačující se tím, že uvedený žádoucí materiál je křemík.**
5. Postup podle nároku 4, **vyznačující se tím, že uvedený nežádoucí materiál je vybírán ze skupiny, obsahující oxid hlinitý a nitrid křemičitý.**
6. Postup podle nároku 1, **vyznačující se tím, že uvedený žádoucí materiál je chrom.**
7. Postup podle nároku 1, **vyznačující se tím, že uvedený žádoucí materiál je akrylonitrilový butadienový styrenový terpolymer a uvedený nežádoucí materiál je polyuretan.**



8. Postup podle nároku 1, **vyznačující se tím, že uvedené energetické fotony mají energii přibližně 5 eV na foton.**
9. Postup podle nároku 1, **vyznačující se tím, že uvedené energetické fotony jsou generovány pulsním excimerovým KrF laserem.**
10. Přístroj k odstranění nežádoucího materiálu z upravovaného povrchu podložky bez ovlivnění fyzikálních vlastností žádoucího materiálu zůstávajícího na upravovaném povrchu vedle nežádoucího materiálu nebo pod ním, obsahující opěru podložky, přívodní systém záření pro nasměrování záření na podložku podpíranou uvedenou opěrou položky a přívodní systém plynu pro zavádění společně s nasměrováním záření na podložku podpíranou uvedenou opěrou položky proudění plynu v podstatě interního k uvedené podložce, **vyznačující se tím, že uvedený přívodní systém záření je zkonstruován k nasměrování záření na podložku podpíranou uvedenou opěrou položky v kosém úhlu, který je menší než 20°.**
11. Přístroj podle nároku 10, **vyznačující se tím, že uvedený přívodní systém záření obsahuje laser a otočné zrcadlo umístěné v dráze záření emitovaného laserem a uvedený přívodní systém záření dále obsahuje stojan otočného zrcadla, který nastavitelně podpírá uvedené otočné zrcadlo tak, že uvedené otočné zrcadlo je nastavitelné alespoň ve svislém směru.**
12. Přístroj podle nároku 11, **vyznačující se tím, že uvedený přívodní systém záření obsahuje cylindrickou čočku, která je v dráze záření emitovaného laserem, a stojanovou konstrukcí cylindrické čočky, která obsahuje zařízení pro vertikální nastavování uvedené cylindrické čočky a pro nastavování po vodorovné ose tak, aby se měnilo ohnisko záření vzhledem k opěře podložky.**
13. Přístroj podle nároku 12, **vyznačující se tím, že dále obsahuje zařízení k nastavování opěry podložky pro nastavování uvedené opěry podložky podél horizontální roviny představované osami x a y.**



14. Přístroj podle nároku 10, **vyznačující se tím, že dále obsahuje zařízení k nastavování opěry podložky pro nastavování uvedené opěry podložky podél horizontální roviny představované osami x a y.**
15. Přístroj podle nároku 14, **vyznačující se tím, že uvedené zařízení k nastavování opěry podložky posouvá uvedenou opěru podložky nejprve po jedné z uvedených os, tj. x nebo y, a poté po opačné z uvedených os x a y.**
16. Přístroj podle nároku 15, **vyznačující se tím, že uvedená osa x probíhá příčně vzhledem ke směru záření působícího na podložku a uvedený přívodní systém plynu obsahuje hubici s centrální osou, která je držena před zářením působícím na substrát a slouží k úpravě podložky vysušením před vystavením záření.**
17. Přístroj podle nároku 10, **vyznačující se tím, že uvedený přívodní systém plynu směřuje plyn v opačném směru vzhledem ke směru záření přiváděného na podložku.**
18. Přístroj podle nároku 10, **vyznačující se tím, že uvedený přívodní systém záření obsahuje zařízení pro nastavování úhlu dopadu záření přiváděného na část podložky na uvedené opěře podložky a zařízení pro posouvání uvedené opěry podložky vzhledem k uvedenému přiváděnému záření k odstranění oblasti materiálu na podložce.**
19. Přístroj podle nároku 18, **vyznačující se tím, že uvedené zařízení pro nastavování obsahuje zařízení pro změnu úhlu dopadu v rozsahu 5 až 10 stupňů.**
20. Přístroj podle nároku 18, **vyznačující se tím, že uvedené zařízení pro nastavování zahrnuje provádění změny úhlu dopadu v krocích o velikosti jedna desetina stupně.**

198-99

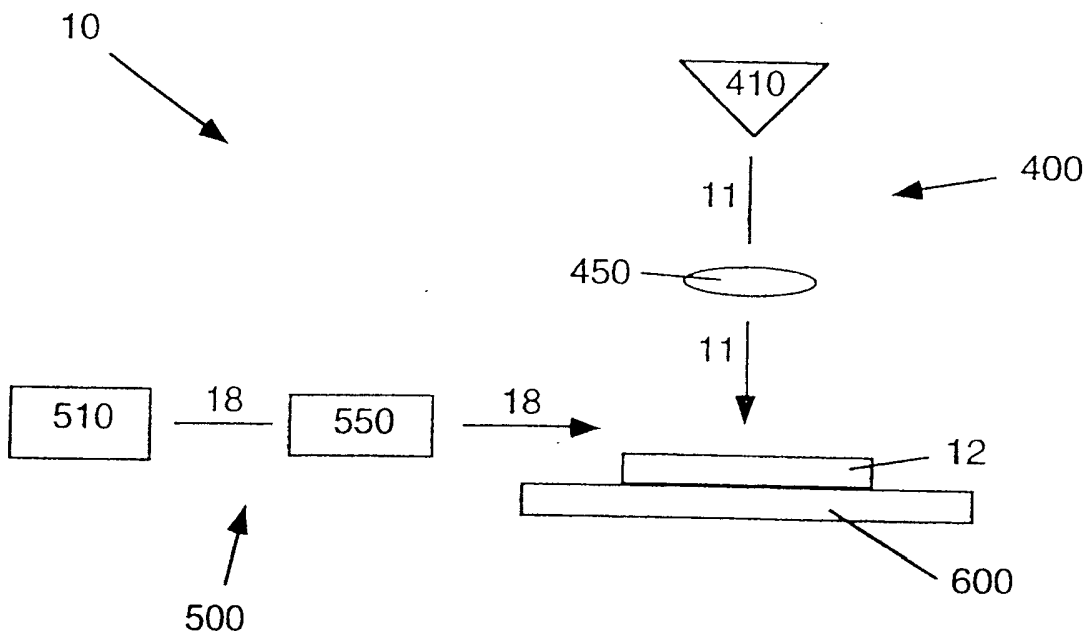


FIG. 1

Policek

05.04.99

198-99

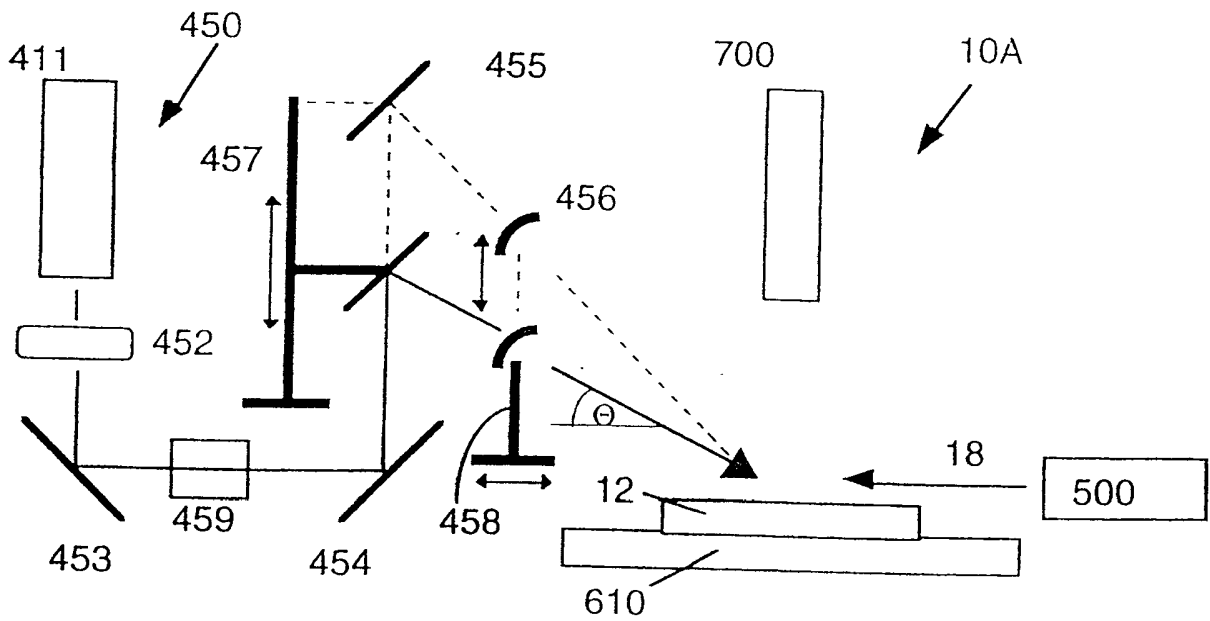


FIG. 2

Patent

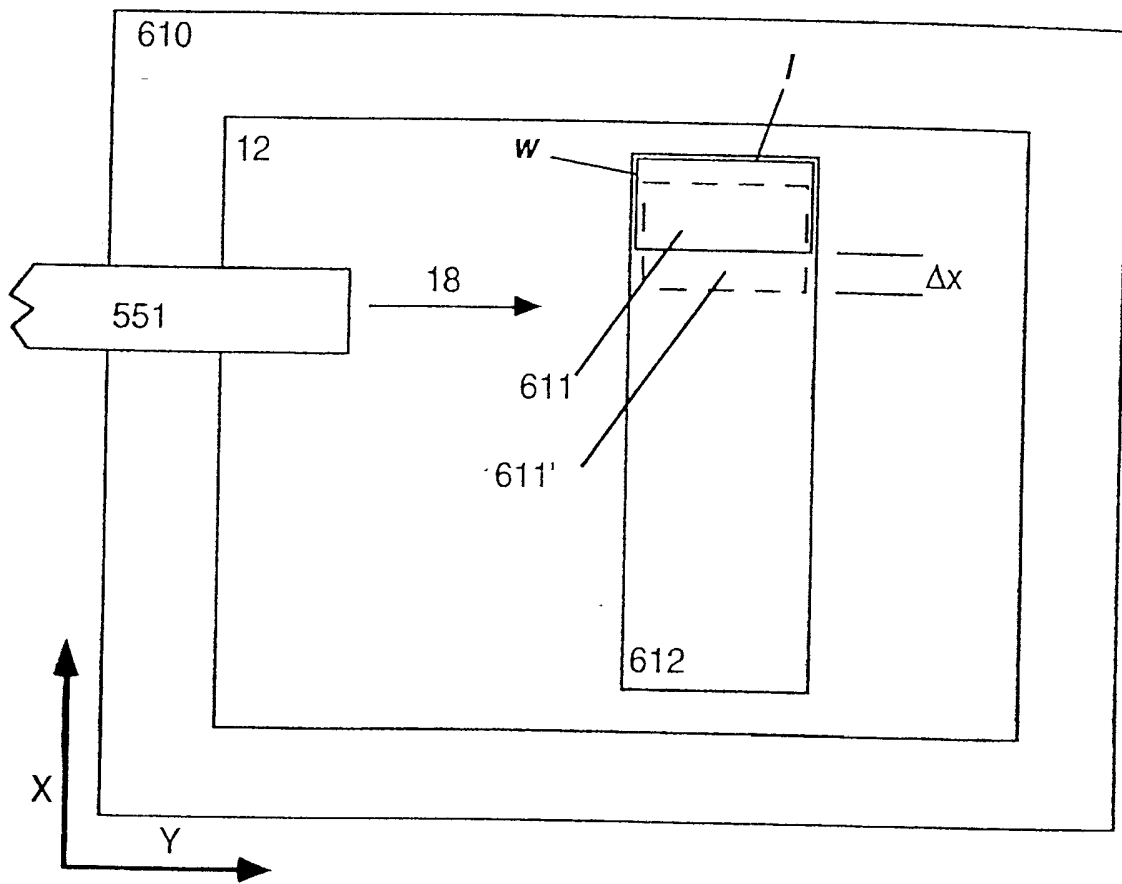


FIG. 3

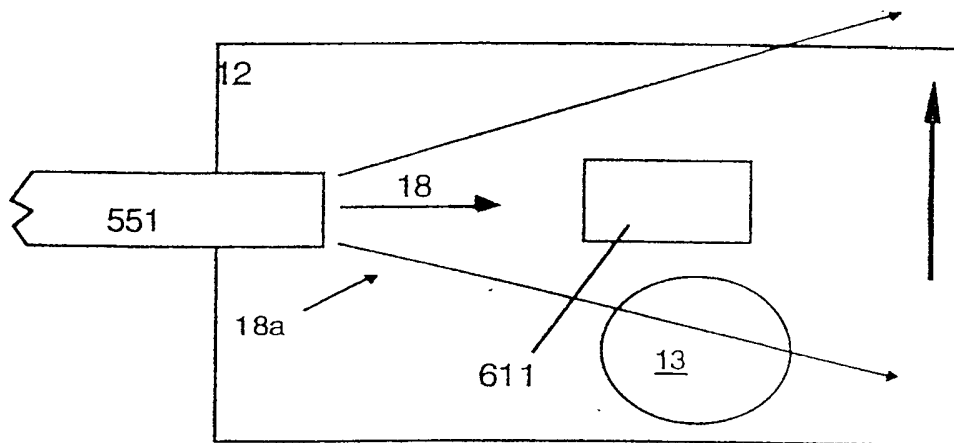


FIG. 4A

Milica

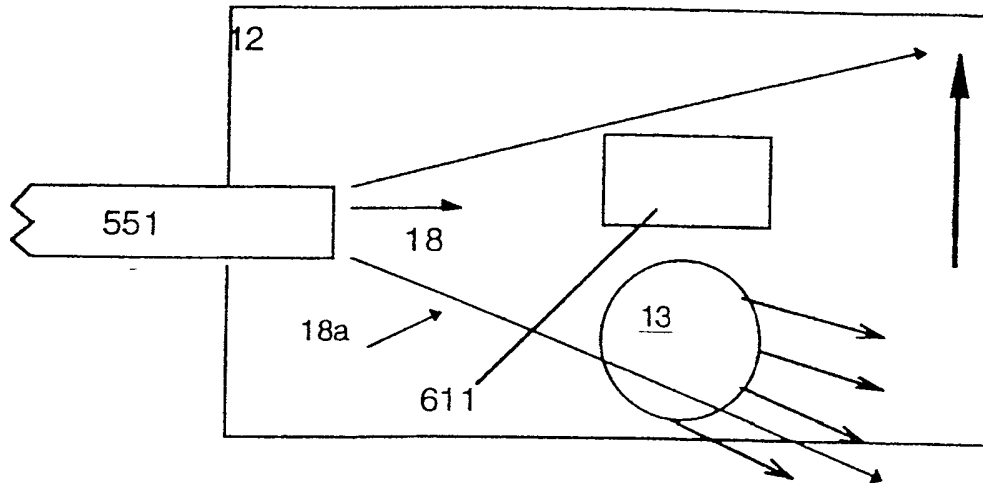


FIG. 4B

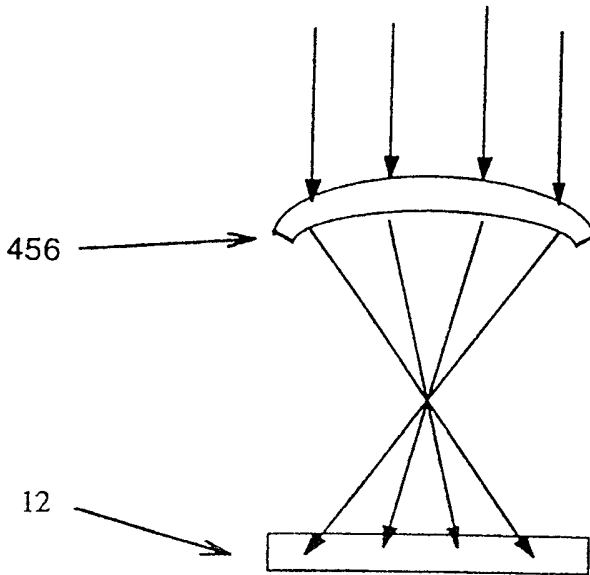


Fig. 5A

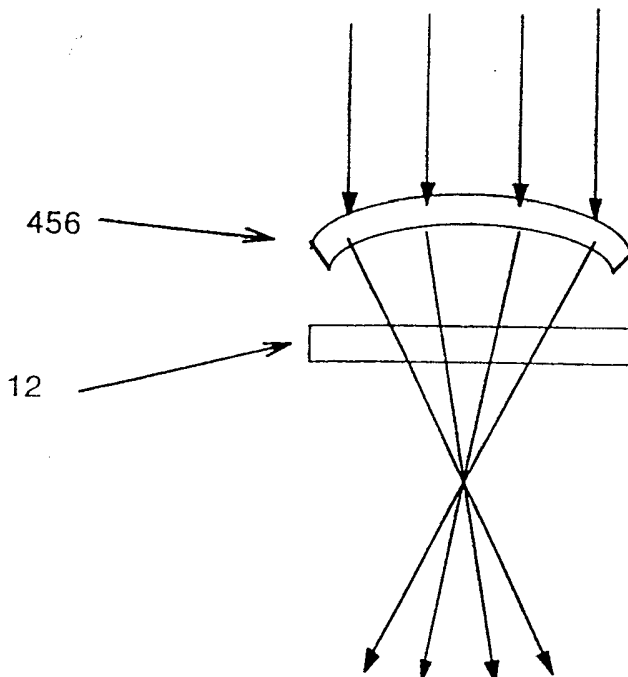


Fig. 5B