

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2016-424

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

B23K 26/00 (2014.01)
B23K 26/073 (2006.01)
B23K 26/064 (2014.01)
C21D 1/09 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

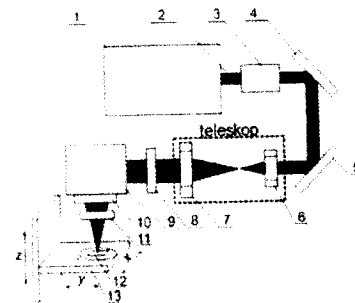
(22) Přihlášeno: **11.07.2016**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **27.06.2018**
(Věstník č. 26/2018)

(71) Přihlašovatel:
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha 8, CZ
MSc. Iaroslav Gnilitkyi, Dolní Břežany, CZ
prof. Leonardo Orazi, Dolní Břežany, CZ

(72) Původce:
MSc. Iaroslav Gnilitkyi, Dolní Břežany, CZ
prof. Leonardo Orazi, Dolní Břežany, CZ
Thibault J.-Y. Derrien, Ph.D., Praha 8, CZ
prof. Dr. Sci. Nadezhda M. Bulgakova, Ph.D.,
Praha 8, CZ
Ing. Tomáš Mocek, Ph.D., Praha 8, CZ

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



(54) Název přihlášky vynálezu:
**Způsob získání pravidelné periodické
struktury a zařízení pro výrobu tétož**

(57) Anotace:
Vynález popisuje způsob a zařízení pro přípravu
vysoce pravidelné periodické struktury pomocí
pulzních ozařování laserem na povrchu kovových
materiálů. Metoda přímé tvorby vysoce
pravidelných struktur na kovových materiálech
zajišťuje aktivaci povrchové elektromagnetické
vlny (Surface Electromagnetic Wave - SEW), která
naruší dopadající laserovou vlnu na povrchu
kovových materiálů způsobem, který zaručuje
vysokou kvalitu a pravidelnost získaného vzorku.

Způsob získání pravidelné periodické struktury a zařízení pro výrobu téhož

Oblast techniky

Předkládaný vynález se týká periodického strukturování povrchů laserovou ablací a konkrétněji vytváření vysoce pravidelné periodicity nanostruktur na kovových površích při vysoké rychlosti zpracování pomocí vysokého stupně koherence povrchových elektromagnetických vln.

Dosavadní stav techniky

Nanostruktury jsou struktury střední velikosti mezi mikroskopickými a molekulárními objekty, obvykle v rozmezí několika jednotek až stovek nanometrů alespoň v jedné prostorové dimenzi. Obecně platí, že nanotechnologie je technický obor zabývající se manipulací hmoty na atomové, molekulární a nadmolekulární úrovni. Termínem manipulace se zejména rozumí technologický cíl přesné manipulace s atomy a molekulami pro výrobu produktů v makroměřítku.

S rostoucí poptávkou po nanostrukturovaných materiálech se technologie jejich rychlé přípravy a zpracování zvyšuje. V současné době je dosud nevyřešeným problémem nalezení vhodné metody pro rychlou a levnou přípravu vysoce pravidelných periodických struktur (Highly Regular Periodic Structures – HR-PS) na povrchu materiálů.

Známé metody zahrnují ozařování pevných terčů ultrakrátkými laserovými pul^zsy, což vede k tvorbě laserem indukovaných periodických povrchových struktur, které se obvykle označují jako LIPSS (Laser-Induced Periodic Surface Structures). Tyto struktury představují periodický povrchový reliéf, jehož orientace je přímo spojená s polarizací laserového světla. LIPSS se mohou tvořit na povrchu různých materiálů (kovy, polovodiče, dielektrika, polymery).

Aplikace založené na LIPSS se objevily již v posledním desetiletí, např. barevná označení, změny smáčivosti povrchu a růst biologických buněk. Dva hlavní problémy, které brání dalšímu zavedení těchto struktur do různých oblastí (jako např. mikroelektronika, optoelektronika, fotovoltaika), však stále přetrvávají. Roste poptávka po strukturální jednotnosti i míra jejich vtisknutí do povrchu materiálů.

~~optoelektronika, fotovoltaika), však stále přetrvávají. Roste poptávka po strukturální jednotnosti i míra jejich vtisknutí do povrchu materiálů.~~

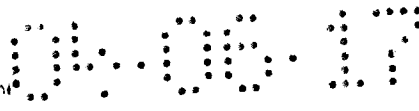
Současně známá technologie LIPSS trpí ztrátou pravidelnosti, např. vzhledem dvojitě periodicity a četnými bifurkačními body. Povrchovou strukturální periodicitu lze kvantitativně matematicky popsat použitím analýzy rychlé Fourierovy transformace v dvourozměrném prostoru (2D-FFT), skenovací elektronové mikroskopie (SEM) nebo mikroskopie atomárních sil (AFM). Průměrná perioda (resp. vlnová délka) struktury je určena jako inverzní poloha píku 2D-FFT, a pravidelnost doby se vyznačuje úhlem rozptylu signálu FFT. Nejpravidelnější struktury dosažené v současné době pouze na jednom druhu materiálu, Cr (*A. Ruiz de la Cruz, R. Lahoz, J. Siegel, G. F. de la Fuente, J. Solis, High speed inscription of uniform, large-area laser-induced periodic surface structures in Cr films using a high repetition rate fs laser, Opt. Lett. 39, 2491-2494 (2014)*), jsou stále nedokonalé. Metoda použitá v uvedeném dokumentu nezachovává vysoce pravidelnou dobu od jedné ke druhé linii struktury na velké ploše (úhel rozptylu 2D-FFT je $\sim 26,5^\circ \pm 1,8^\circ$).

Laserem indukovanými periodickými povrchovými strukturami se dále zabývají následující dokumenty:

Patent US7875414 popisuje způsob tvorby periodické struktury na rozsáhlé ploše jednoosým laserovým paprskem. Tato metoda používá laserovou fluenci těsně nad, ale téměř tak nízkou, jako je práh ablace. Skenování překrytím je navíc nastaveno tak, aby byl počet impulsů laserového paprsku ozařovaného na totožné poloze povrchu materiálu v rozmezí od 10 do 300, což však pro vysokou pravidelnost a rychlou produkci stále není dostatečné množství.

Patentová přihláška US20080216926 se týká struktur na kovových materiálech, ale tato metoda neposkytuje pravidelnost periodické struktury.

Je třeba uvést, že žádná z výše uvedených dosud známých metod přímo neodkazuje na vysokorychlostní zápis vysoce pravidelných periodických struktur na velké ploše.



Předkládaný vynález poskytuje metodu pro získání pravidelné struktury na povrchu substrátů, přičemž tento způsob umožňuje ultrarychlý zápis laserem a dosažení velmi pravidelných struktur, které mají například úhel rozptylu FFT signálu menší než 15° . Periodické struktury s periodicitou mezi λ a $\lambda/2$, kde λ je vlnová délka laseru, vyrobené metodou podle vynálezu také nevykazují žádné bifurkační body. Periodické struktury s úhlem rozptylu FFT signálu menší než 15° a nevykazující žádné bifurkační body se v tomto textu označují jako „vysoce pravidelné“ periodické struktury.

Tento vynález tedy poskytuje způsob pro ^{vytváření} získání pravidelné struktury, nejlépe s úhlem rozptylu FFT signálu menším než 15° , na povrchu substrátu s použitím pulzního laserového paprsku o vlnové délce λ , kde

- se použije substrát, který má imaginární část dielektrické permitivity rovnou nebo větší než absolutní hodnota reálné části dielektrické permitivity při dané vlnové délce λ laserového paprsku,
- se ozařuje povrch substrátu pomocí pulzního laserového paprsku, kdy
 - je trvání laserového pulsu uvedeného laserového paprsku menší než doba, kterou elektrony v substrátu potřebují pro termalizaci s mřížkou,
 - je pulzní laserový paprsek lineárně polarizovaný, tak aby se excitovaly povrchové elektromagnetické vlny šířící se na uvedený povrch podél směru polarizace,
 - je průměr ozářeného místa na povrchu substrátu menší než nebo rovný třem charakteristickým délkám rozpadu dané povrchové elektromagnetické vlny,
 - je fluence z pulzního laserového paprsku vyšší, než je prahová hodnota ablace.

Fluence je zvolena tak, že silná ablace substrátu se indukuje, aniž by vznikalo nadměrného množství roztaveného substrátu, čímž dochází k ablaci se zachováním uvedeného periodického absorpčního profilu na kovovém povrchu a vytvoří se velmi pravidelná periodická struktura.

Pro vlnovou délku λ laserového paprsku je typický rozsah vlnových délek od UV (např. od 100 nm) do poloviny IR (např. od 10 μm) části spektra.

Termín „substrát“ označuje těleso z materiálu, na který se aplikuje periodická struktura. „Substrát“ se v této oblasti také běžně nazývá „materiál“, „terčik“ nebo „vzorek“.

~~Metoda, jak je zde popsána, je založena na stanovení a dosažení podmínek nezbytných pro vytvoření vysoce pravidelných periodických struktur.~~

Metoda, jak je zde popsána, je založena na stanovení a dosažení podmínek nezbytných pro vytvoření vysoce pravidelných periodických struktur.

První podmínkou pro efektivní řízení volných elektronů pulzním laserovým paprskem musí být doba trvání laserového pulsu^z menší než čas, který elektrony v substrátu potřebují až do jejich termalizace s mřížkou. Trvání laserového paprsku se běžně pohybuje v rozmezí subpikosekund, může se však prodloužit i na několik pikosekund.

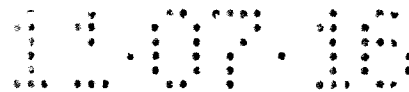
Druhá podmínka je, že velikost osvětlené plochy musí být menší než nebo rovná třem charakteristickým délkám rozpadu povrchové elektromagnetické vlny (Surface Electromagnetic Waves – SEW), což je obvykle $\leq 30 \mu\text{m}$, v závislosti na materiálu substrátu. V tomto případě jsou volné elektrony uvedené do pohybu SEW souvisle oscilují na celé osvětlené ploše, a tím zajišťují vysoce pravidelnou absorpci energie laseru na osvětlené ploše s periodicitou podél polarizace světla.

Charakteristická délka L rozpadu SEW musí být řádově o velikosti laserového bodu použitého ke generování struktury. Pro objasnění exponenciálního rozpadu SEW nesmí velikost laserového bodu na povrchu substrátu překročit $3L$. Délka rozpadu SEW je dána výrazem $L = 1/(2 \times \text{Im}(\beta))$, (1)

kde $\beta = 2\pi(\epsilon/(\epsilon+1))^{0.5}/\lambda$ na rozhraní vzduch-substrát. Dielektrická permitivita ϵ je dána experimentálními měřeními a je rovněž tabelována, jak je známo odborníkovi v oboru.

Porovnáním délky L rozpadu SEW substrátu s pravidelností získaných vysoce pravidelných periodických struktur (měřeno množstvím $\delta\theta$, které popisuje disperzi nad orientačním úhlem paralelních struktur, pokud jde o použitou laserovou polarizaci) se zjistila vynikající korelace.

Třetí podmínka je, aby byla fluence laseru vyšší než je prahová hodnota ablace aplikována na malou osvětlenou plochu, měla velkou amplitudu absorpčního vzoru s vrcholem v režimu silné ablace a vedenou zlepšeným mechanickým namáháním v radiálním směru již při jednotlivých laserových pulsech^z, které umožňuje zamezit tvorbě nadměrného množství zbývajícího na povrchu po ablaci roztaveného materiálu. Silná ablace následovaná rychlým ztuhnutím zbývající mělké taveniny zachovává pravidelný absorpční profil na kovovém povrchu, čímž se vytvoří velmi pravidelná periodická struktura. Jednoplusová laserová fluence musí roztavit materiál, excitovat jeho rozvinutou ablaci a může být od zlomku J/cm^2



po několik J/cm^2 (např. až $20 \text{ J}/\text{cm}^2$) v závislosti na prahu ablace z určitého materiálu na určité vlnové délce.

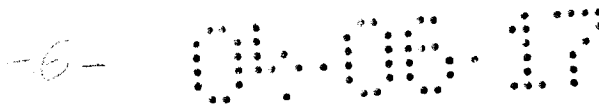
Čtvrtá podmínka udává, že dielektrická permitivita ε substrátu musí vykazovat vysoké tlumení, tj. imaginární část dielektrické permitivity se nachází v blízkosti nebo je vyšší než absolutní hodnota reálné části uvažované vlnové délky λ záření, jak vyjadřuje tato rovnice:

$$\text{Im} [\varepsilon(\lambda)] \geq |\text{Re} [\varepsilon(\lambda)]| \quad (2).$$

Kovové nebo grafitové substráty tuto podmínku obvykle splňují.

Jakmile jednotlivé výsledky osvětlení vytvoří velmi pravidelnou periodickou strukturu, další laserový pulz se může překrývat s předchozím jen částečně v málo strukturních dobách a reprodukovat periodickou strukturu na nové osvětlené ploše indukci koherentních elektronových oscilací, které jsou předem definované překrývajícími se strukturovanými oblastmi. Je výhodné, když překrytí má alespoň 30 % oblasti bodu, ještě výhodněji alespoň 50 % oblasti bodu. Proto by se rychlost skenování a rychlost opakování laseru měla nastavit tak, aby se překrývaly dva body ozářené jeden po druhém. Vysoká rychlost skenování a vysoká rychlost opakování (např. vyšší než 1 kHz, nejlépe přibližně 1 MHz) jsou obzvláště vhodné pro průmyslové využití vynálezu. Vysoké rychlosti skenování lze dosáhnout například použitím galvanometrické skenovací hlavy nebo jiného vysokorychlostního skeneru, například na principu technologie proužkové projekce, nejlépe v kombinaci s translační fází. Relativně malé překrývání mezi osvětlenými oblastmi a řádkovým rozkladem dostačující pro vznik velmi pravidelných periodických struktur umožňuje vysokou rychlost skenování strukturování substrátu, kterou zajišťuje například snímací technika kombinující vysokorychlostní skener a translační fází. Polarizace laserového světla může být v libovolném úhlu vzhledem ke směru skenování.

Předkládaný vynález poskytuje rychlý a levný způsob výroby zápisu HR-PS na velké plochy povrchů substrátu. Periodické struktury povrchu se vytvoří jako výsledek interference dopadajícího záření a rozptýlených povrchových elektromagnetických vln (SEW), po níž následují samofokusační účinky, které nevedou přímo k pravidelným periodickým strukturám. Technický problém, který se musí vyřešit, je zajištění interferenční podmínky pro dosažení vysoce pravidelných periodických struktur a při vysoké rychlosti zápisu. Další technické problémy k vyřešení jsou minimalizace negativního vlivu procesů souvisejících s tvorbou periodické struktury (termoplastické deformace, netepelné tavení) a mechanismy ablace



(spalace, fázová exploze, Coulombova exploze). Metoda přímé tvorby vysoce pravidelných struktur na kovových materiálech zajišťuje aktivaci povrchové elektromagnetické vlny (SEW), jež naruší dopadající laserové vlny na povrchu substrátu způsobem, který zaručuje vysokou kvalitu a pravidelnost získaného vzorku.

V jednom provedení pro vlnovou délku laserového paprsku menší než 1300 nm jsou jako substrát vhodné tyto materiály: Cr, Fe, Mo, Ni, ocelí, Ti, W a jejich slitiny.

V jednom provedení pro vlnovou délku laserového paprsku menší než 900 nm jsou jako substrát vhodné tyto materiály: Be, Bi, a-C, Co, Cr, Fe, grafit, Mo, Nb, Ni, ocelí, Ti, V, W a jejich slitiny.

V jednom provedení pro vlnovou délku laserového paprsku menší než 500 nm jsou jako substrát vhodné tyto materiály: Ag, Au, Be, Bi, a-C, Co, Cr, Cu, Fe, grafit, Mo, Nb, Ni, ocelí, Pt, Ta, Ti, V, W a jejich slitiny.

Předkládaný vynález dále poskytuje zařízení uzpůsobené speciálně pro provádění metody podle vynálezu.

Uvedené zařízení pro výrobu pravidelné periodické struktury na povrchu substrátu zahrnuje:

- prostředek pro generování pulzního laserového paprsku s dobou trvání pulsu menší než 10 ps a vysokou opakovací frekvencí,
- f-theta čočku vyznačující se tím, že dokáže zaostřit laserový paprsek tak, aby ozařoval oblast o průměru až tři charakteristické délky rozpadu SEW,
- galvanometrickou skenovací hlavu, která umožňuje vysokou koherenci povrchových elektromagnetických vln, a nejlépe translační fázi (např. motorizovanou) pro umístění substrátu,
- polarizátor a půlvlnná destička

Otáčení polarizátoru a půlvlnné destičky řídí směr laserem indukované struktury.

Translační fáze (fáze xy nebo fáze xyz) zajišťuje translační a/nebo rotační pohyb substrátu.

V jednom preferovaném provedení se zařízení dále skládá z atenuátoru umístěnému tak, aby byl laserový paprsek generovaný pomocí zařízení pro generování pulzního laserového paprsku směřován do atenuátoru, teleskopu a prostředků pro směřování laserového paprsku od atenuátoru do teleskopu. Teleskop umožňuje před skenovací hlavou galvanoskenery zvýšit aperturu paprsku pomocí čoček pozitivní ohniskové vzdálenosti, nebo oddělit součtem jejich



ohniskových vzdáleností, čímž je dosaženo zaostření laserového paprsku na přesnou a dostatečně malou osvětlenou plochu.

Objasnění obrázků

Obr. 1 znázorňuje příklad zařízení pro ultrarychlý laserový zápis vysoce pravidelných periodických struktur na povrchu substrátu.

Obr. 2 znázorňuje schéma rozšiřování laserového paprsku založeného na principu teleskopu.

Obr. 3 znázorňuje schéma zaostřování laserového paprsku.

Obr. 4 znázorňuje směr vyrobených struktur vzhledem ke směrům polarizace a skenování, jejichž vzájemná orientace může být libovolná.

Obr. 5 znázorňuje překrytí osvětlených bodů v řádkovém rozkladu a mezi řádkovými rozklady po skenování povrchu substrátu.

Obr. 6 znázorňuje typický pohled na vysoce pravidelné periodické struktury na kovovém substrátu, jako příklad na molybdenu.

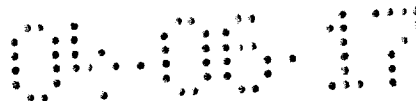
Obr. 7 znázorňuje příklad algoritmu metody.

Obr. 8 shrnuje požadavky na výběr materiálů schopných vykazovat vysoce pravidelné periodické struktury po ozáření pulzním laserem na vlnové délce 1030 nm: (a) ukazuje délku rozpadu SEW materiálů; (b) představuje dielektrickou permitivitu materiálů, které splňují kritéria pro výběr).

Příklady uskutečnění vynálezu

Tento vynález je zde ilustrován příklady, které by neměly být chápány jako další omezení.

V jednom příkladu, jak je znázorněno na obrázku 1, zařízení obsahuje ultrarychlý laserový systém 1 s dobou trvání impulzu řádu nebo menší než 10 ps a vysokou rychlostí opakování. Energie pulsu je zvolena s cílem překonat práh ablace materiálu v provedení s atenuátorem 3. Paprsek 2 je zaměřen na teleskop, který se skládá z čočky 6 a 7 se sekvencí zrcadel 4 a 5. Po teleskopu se expandovaný paprsek 2 vychýlí na povrchu substrátu 12 prostřednictvím galvanometrické snímací hlavy 9 připojené k f-theta čočce 10. Otáčení půlvlnné destičky 8 ve vztahu k polarizátoru 11 umožňuje definovat směr laserem indukovaných struktur. Laserový paprsek 2 byl zaostřen na povrchu substrátu 12 a skenován hlavou galvanoskeneru 9 do té



míry, která se vztahuje k ohniskové vzdálenosti F , aby bylo vychýlení paprsku 2 zanedbatelné. Mnohem větší plochy se získaly pohybem vzorku s motorizovanou fází XYZ 13 pod galvanoskenerem 9.

Navrhované nastavení umožňuje získat pravidelné i nepravidelné struktury s poměrem stran v závislosti na použitém materiálu 12, ale v mnoha případech kolem jednotky. Použitím lineárně polarizovaného světla je možné získat kvazi-pravidelné lineární struktury s periodicitou pod vlnovou délkou laserového paprsku.

Mezi faktor, který umožňuje získat vysoce pravidelné struktury, patří průměr laserového bodu, ne větší než tři charakteristické velikosti délky rozpadu SEW. To umožňuje zachovat koherenci laserem excitovaných elektronů v rámci ablačních struktur pro příští laserové pulsy.

Mezi metodu, která zmenšuje laserový bod, patří zvyšování apertury paprsku 2 před hlavou galvanoskeneru 9 pomocí teleskopu, což znázorňuje obr. 2, který obsahuje dvě čočky 6 a 7, které pomohou rozšířit paprsek 2 přicházející ze směru 14.

V dalším příkladu uvedeném na obr. 3 zmenší laserový bod zaostřovací f -theta čočkou 10.

Úhel mezi směrem polarizace E a směrem skenování S . Směr polarizace E je orientován kolmo k požadovanému směru struktur, které se mají získat (viz obr. 4).

Udržování překrývání mezi osvětlenými body a mezi řádky skenování se vyřešila tak, jak je uvedeno na obr. 5. Jednotlivé řádkové rozklady se musí překrývat, aby se zachovala koherence mezi strukturami na dříve zpracovaném povrchu a na novém.

Optimální laserová fluence byla odhadnuta v závislosti na substrátu 12 s cílem dosáhnout ablace materiálu a zabránit nadměrnému objemu taveného substrátu 12. Malé osvětlené body upřednostňují hlubší ablaci substrátu 12 v důsledku vyšších radiálních namáhání ve srovnání s většími body.

~~Obr. 6 znázorňuje obraz SEM vysoce pravidelné periodické struktury. Uvedený vzorek byl vyroben metodou skenování povrchu molybdenu o vlnové délce 1030 nm, trvání pulsu 213 fs,~~

Obr. 6 znázorňuje obraz SEM vysoce pravidelné periodické struktury. Uvedený vzorek byl vyroben metodou skenování povrchu molybdenu o vlnové délce 1030 nm, trvání pulsu 213 fs, laserové energii 0,75 J/puls, 62% překrývání mezi impulzy a 50% překrývání mezi řádkovými rozklady.

Obr. 7 zobrazuje požadavky na ultrarychlý laserový zápis HR-PS na kovovém substrátu 12. Sloupec I shrnuje obvyklé podmínky pro tvorbu periodické struktury na kovových površích. Extrémně vysoká rychlost zápisu na velké ploše (sloupec II) spolu s malými osvětlenými body, které se překrývají podél řádkového rozkladu a mezi řádkovými rozklady (sloupec III), umožňuje dosáhnout vysoké pravidelnosti periodických struktur.

Obr. 8 ukazuje příklad výběru materiálů pro zápis HR-PS na vlnové délce 1030 nm na základě analýzy mechanismu jejich vzniku. Struktury pocházejí z excitace povrchových elektromagnetických vln (SEW) na povrchu kovových materiálů. Materiály umožňující takové možnosti sdílí specifická kritéria zveřejněná v souhrnu vynálezu. Na obrázku jsou uvedeny materiály, jejichž délka rozpadu SEW je menší než 10 μm a které mají vysoké optické tlumení. Je tedy známo, že prostorová koherence vyvolané SEW v laserem osvětleném bodě stojí na počátku vysoké pravidelnosti získaných periodických struktur. SEW může vyvolat každé rozptylové centrum subvlnové délky. Rozptylová centra mohou být poruchy velikosti bodu, nanohrot podobný dipólu tvořící vzorek drsnosti, větší objekt jako nanočástice přítomná na povrchu, nebo dokonce škrábanec. Použitím bodu malé velikosti excitované SEW komunikují na malé ploše, kde lze zachovat prostorovou koherenci. Vzdálenost excitované SEW je spojena s délkou rozpadu L povrchových elektromagnetických vln. Malá velikost bodu umožňuje spustit selektivní excitaci SEW s krátkým dosahem.

Průmyslová využitelnost

Ultrarychlé laserové mikrozpracování povrchů z různých materiálů je rostoucí technologií pro celou řadu průmyslových aplikací, například pro fotovoltaiku, fotoniku, mikroelektroniku a optoelektroniku. Periodické nanostrukturování povrchu otevírá nové možnosti na trhu pro zpracování povrchu laserem v průmyslových aplikacích. Metodu lze použít např. pro strukturování solárních článků, zápis povrchových vlnovodů, optické mřížky, lehké extrahování povrchů světelných diod, Ramanův rozptyl s vylepšeným povrchem, vodoodpudivé povrchy, nebo označení výrobků proti padělání. Veškeré uvedené aplikace

vyžadují zhotovení velkoplošných, vysoce pravidelných a jednotných periodických struktur při vysoké rychlosti zápisu, které je navrženo v předkládaném popisu, jenž řeší dosavadní problémy s nízkou rychlostí zápisu a nízkou kvalitou periodických struktur.

Seznam vztahových značek

- 1 ultrarychlý laserový systém
- 2 laserový paprsek
- 3 atenuátor
- 4 zrcadlo
- 5 zrcadlo
- 6 čočka
- 7 čočka
- 8 půlvlnná destička
- 9 galvanometrická skenovací hlava
- 10 f-theta čočka
- 11 polarizátor
- 12 materiál pro HR-PS
- 13 motorizovaná fáze xyz
- 14 směr laserového paprsku

Patentové nároky

1. Způsob vytváření pravidelné periodické struktury na povrch^u substrátu za použití pulzního laserového paprsku o vlnové délce λ , výhodně s úhlem rozptylu FFT signálu menším než 15° ,
vyznačující se tím, že

- se použije substrát, který má imaginární část dielektrické permitivity rovnou nebo větší než absolutní hodnota reálné části dielektrické permitivity při dané vlnové délce λ laserového paprsku,
- místo na povrchu substrátu (12) se ozařuje pomocí pulzního laserového paprsku (2),
kdy:
 - je trvání laserového pulsu^z uvedeného laserového paprsku (2) menší než doba, kterou elektrony v substrátu (12) potřebují pro termalizaci s mřížkou,
 - je pulzní laserový paprsek (2) lineárně polarizovaný, aby se vyvolaly povrchové elektromagnetické vlny šířící se na uvedený povrch podél směru polarizace,
 - je průměr ozářeného místa na povrchu substrátu menší než tři charakteristické délky rozpadu dané povrchové elektromagnetické vlny,
 - je fluence pulzního laserového paprsku (2) vyšší, než je prahová hodnota ablace.

2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že se ozařování povrchu substrátu (12) provádí pomocí ozařování^z množství bodů na povrchu substrátu, v kterém se body částečně vzájemně překrývají, přičemž výhodně uvedené množství bodů je uspořádáno alespoň v jednom řádku a laserový paprsek skenuje přes tento alespoň jeden řádek.

3. Způsob podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že se generuje pulzní laserový paprsek, poté se zvětší jeho apertura a následně se laserový paprsek zaostří na povrch substrátu.

4. Způsob podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že průměr ozářeného místa na povrchu substrátu je menší nebo roven $30 \mu\text{m}$.

5. Způsob podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že doba trvání laserového pulsu^z laserového paprsku (2) je menší nebo rovna než 10 ps , výhodně nižší než 1 ps .



6. Způsob podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že vlnová délka laserového paprsku je menší než 1300 nm a substrát je vybrán z: Cr, Fe, Mo, Ni, oceli, Ti, W a jejich slitin.

7. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že vlnová délka laserového paprsku je menší než 900 nm a substrát je vybrán z: Be, Bi, a-C, Co, Cr, Fe, grafitu, Mo, Nb, Ni, oceli, Ti, V, W a jejich slitin.

8. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že vlnová délka laserového paprsku je menší než 500 nm a substrát je vybrán z: Ag, Au, Be, Bi, a-C, Co, Cr, Cu, Fe, grafitu, Mo, Nb, Ni, Pt, oceli, Ta, Ti, V, W a jejich slitin.

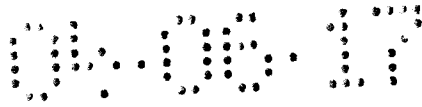
9. Zařízení pro výrobu pravidelné periodické struktury na povrchu substrátu způsobem podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že zařízení obsahuje:

- prostředky pro generování pulzního laserového paprsku (2) s dobou trvání pulsu ^z menší než 10 ps a vysokou opakovací frekvencí,
- prostředky pro skenování a dodávání pulzního laserového paprsku na substrát, nejlépe galvanometrická ^{ou} snímací hlava ^u (9),
- polarizátor (11) a půlvlnnou destičku (8), které jsou otočné kvůli určení směru polarizace, a tím i směru laserem indukované struktury,
- prostředky pro zaostřování pulzního laserového paprsku na substrát, nejlépe f-theta čočka (10).

10. Zařízení podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že prostředky pro generování pulzního laserového paprsku (2) mají opakovací frekvenci nejméně 1 kHz, nejlépe alespoň 0,5 MHz.

11. Zařízení podle nároku 9 nebo 10, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje teleskop umístěný mezi prostředky pro generování pulzního laserového paprsku (2) a prostředky pro skenování a dodávání pulzního laserového paprsku (2) na substrát (12).

12. Zařízení podle některého z nároků 9 až 11, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje atenuátor (3), přičemž se atenuátor (3) nachází mezi prostředky pro generování pulzního laserového paprsku (2) a prostředky pro skenování a dodání pulzního laserového paprsku (2) na substrát

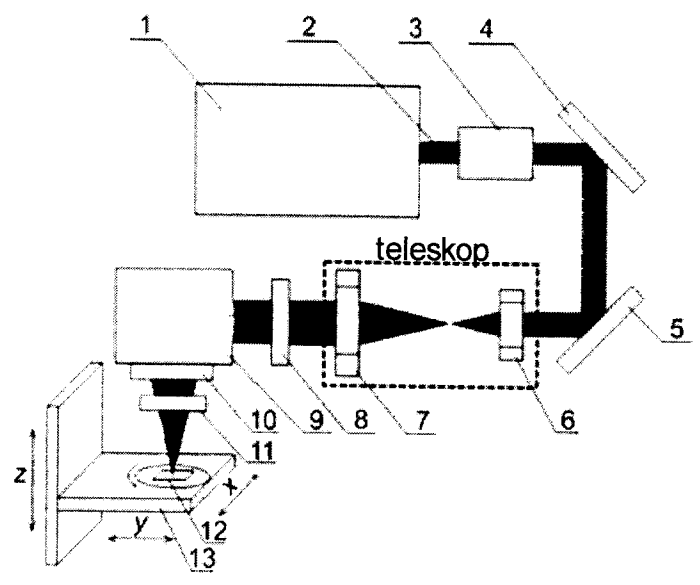


- 13 -

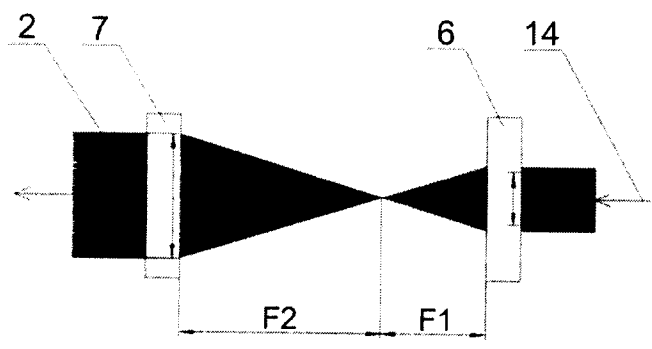
(12), nebo mezi prostředky pro generování pulzního laserového paprsku (2) a teleskopem, kdy daný teleskop obsahuje nejlépe dvě čočky (6) a (7).

13. Zařízení podle některého z nároků 9 až 12, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje motorizovanou fázi XYZ (13) pro zajištění translačního a rotačního pohybu¹⁴ substrátu (12).

Obrázky:



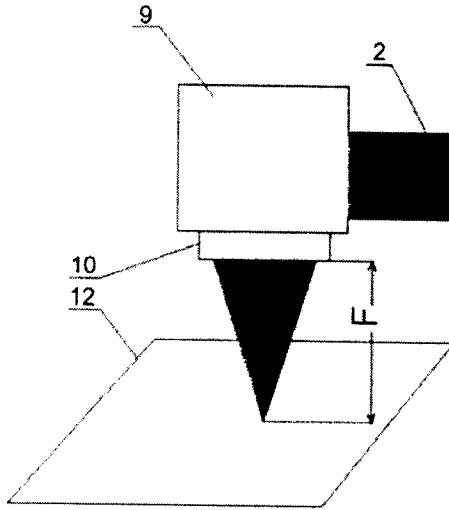
Obr. 1



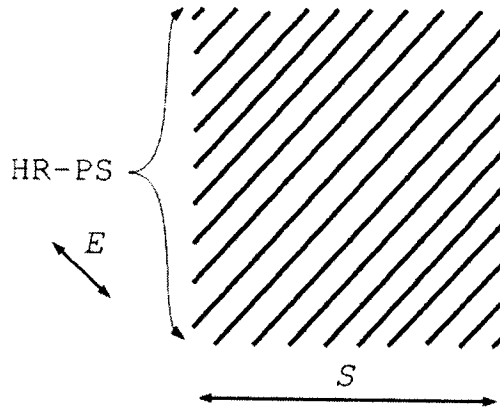
Obr. 2

2/4

12.07.16

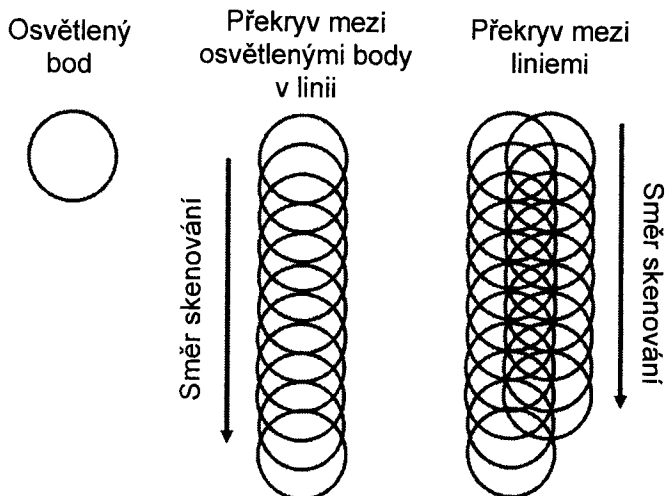


Obr. 3

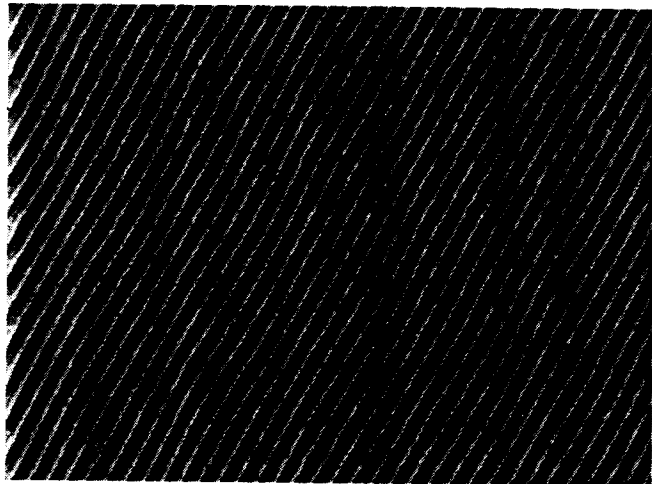


E: směr polarizace
S: směr skenování

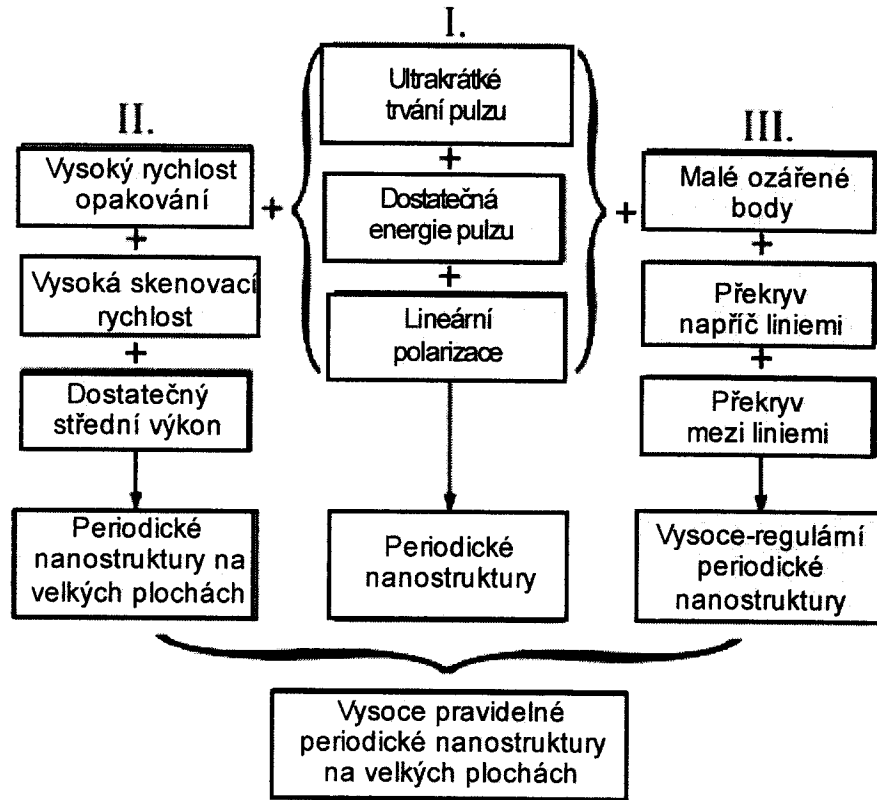
Obr. 4



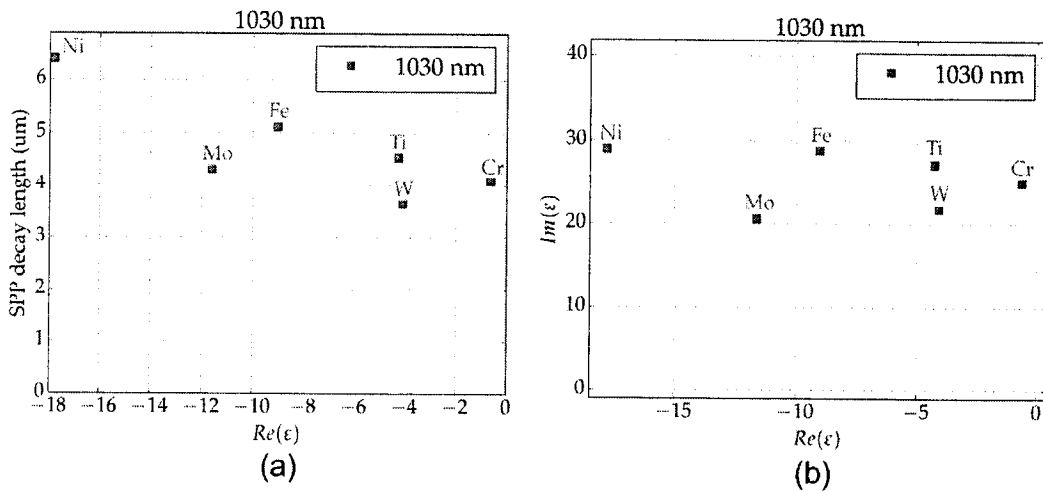
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8