



Aktivita 1H3 Priemyselný výskum zariadenia na lokálnu pasiváciu BIZZCOM - Riešenie na tlačové zariadenie pre depozičnú technológiu s priamym spracovaním atómovej vrstvy so selektívnou oblasťou mikroreaktora s režimom ALD.

Návrh a charakteristika reaktorov pre Atomárnu Depozíciu Založenú na Reakcii (ALD)

Projekt:

Nová technológia prípravy senzorov, detektorov a memristorov pre inteligentnú mikroelektroniku v 21. storočí

bizzcom

Bizzcom s.r.o., Bučany 591, 919 28 Bučany

ISBN 978-80-974475-3-3

Tel.: +421 2 502 13 142

Identifikácia dokumentu	
Názov projektu	Nová technológia prípravy senzorov, detektorov a memristorov pre inteligentnú mikroelektroniku v 21. storočí
Názov článku	Návrh a charakteristika reaktorov pre Atomárnu Depozíciu Založenú na Reakcii (ALD)
Verzia dokumentu	1.0
Spracovateľ dokumentu	kolektív Bizzcom s.r.o. : Drimak Peter Grejtak Peter Kútny Michal Krajčovič Filip Gallia Michal Mošad Martin
Étapa projektu	Vedecký článok č.1
Objednávateľ	Európsky fond regionálneho rozvoja



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO
DOPRAVY A VÝSTAVBY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



MINISTERSTVO
ŠKOLSTVA, VEDY,
VÝSKUMU A ŠPORTU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

1. Abstrakt:

Atomárna depozícia založená na reakcii (ALD) je prebujajúcou technikou, ktorá umožňuje presné a opakovateľné nanomateriálové odkladanie. Reaktory pre ALD zohrávajú kritickú úlohu pri realizácii tohto procesu. Tento vedecký článok poskytuje komplexný prehľad rôznych typov reaktorov používaných v ALD, ako aj ich charakteristických vlastností. V článku sú opísané reaktory so skleneným zámkom, reaktory s horúcou stenou, reaktory s kvapalnou fázou a reaktory s plynnou fázou. Ďalej sa diskutuje o kľúčových faktoroch, ktoré treba zvážiť pri voľbe vhodného reaktora pre konkrétny ALD proces, ako sú vlastnosti vrstvy, typ substrátu, chemické vlastnosti prekursorov a procesové parametre. Nakoniec sa článok zaoberá výzvami spojenými s dosahovaním vysokej rýchlosti reakcie prekursorov na substráte a minimalizáciou nežiaducich vplyvov na okolité oblasti. Cieľom článku je ponúknuť ucelený prehľad o reaktoroch pre ALD a prispieť k lepšiemu porozumeniu tejto dôležitej techniky.

2. Úvod:

Atomárna depozícia založená na reakcii (ALD) je pokročilá technika na vytvorenie tenkých vrstiev materiálov na povrchu substrátu. Je známe, že správny výber reaktora pre ALD má zásadný vplyv na kvalitu a rovnomernosť vrstvy, ako aj na dosiahnutie požadovanej hrúbky. V tomto článku sa zameriavame na charakteristiky rôznych typov reaktorov pre ALD a ich významné vlastnosti.

A. Reaktory so skleneným zámkom:

Reaktory so skleneným zámkom sú jedným z najpoužívanejších typov reaktorov v ALD. Tieto reaktory umožňujú vizuálnu kontrolu procesu, čo je dôležité pre monitorovanie rastu vrstvy a optimalizáciu procesných parametrov. Okrem toho zabezpečujú izoláciu procesu od vonkajšieho prostredia, čo minimalizuje možné nečistoty a iné vplyvy na proces.

Výhody:

- Vizuálna kontrola procesu: Sklenený zámok umožňuje priame pozorovanie a monitorovanie procesu depozície, čo je dôležité pre optimalizáciu parametrov a kontrolu kvality vrstvy.
- Izolácia od vonkajšieho prostredia: Sklenený zámok poskytuje izoláciu procesu od okolitého prostredia, čo minimalizuje možnosť kontaminácie a nečistôt.

Nevýhody:

- Obmedzená teplotná a chemická stabilita: Sklenený zámok nemusí byť vhodný pre procesy vyžadujúce extrémne teploty alebo agresívne chemikálie.
- Potreba vysokej údržby: Sklo môže byť krehké a náchylné na poškodenie, čo vyžaduje pravidelnú údržbu a náhradu.

Príklady výrobcov a modelov:

- Beneq TFS 200: Tento model reaktora so skleneným zámkom od spoločnosti Beneq je používaný pre rôzne aplikácie ALD vrátane ochranných vrstiev, vodivých vrstiev a dielektrických vrstiev.
- Picosun Morpher: Tento flexibilný model reaktora od spoločnosti Picosun kombinuje sklenený zámok s ďalšími funkciami, ako je rotácia substrátu a možnosť použitia rôznych prekursorov.

B. Reaktory s horúcou stenou:

Reaktory s horúcou stenou sú založené na tepelnom rozklade prekursorov na stenách reaktora. Tento rozklad vytvára reaktívne radikály, ktoré sú potrebné na rast vrstvy na povrchu substrátu. Tieto reaktory sú obzvlášť vhodné pre kovové a oxidové vrstvy na kovových substrátoch s vysokou teplotnou stabilitou.

Výhody:

- Vysoká teplotná stabilita: Reaktory s horúcou stenou sú navrhnuté na dosiahnutie vyšších teplôt, čo umožňuje procesy s vyššou tepelnou stabilitou a rýchlosťou reakcie.
- Vhodné pre rast kovových a oxidových vrstiev: Tieto reaktory sú ideálne pre tvorbu kovových a oxidových vrstiev na substrátoch s vysokou teplotnou stabilitou.

Nevýhody:

- Obmedzená flexibilita výberu prekursorov: Niektoré prekursory môžu byť nestabilné alebo nedostatočne reaktívne pri vyšších teplotách, čo obmedzuje možnosti použitia v reaktoroch s horúcou stenou.
- Potreba presného riadenia teploty: Náročnosť riadenia teploty môže vyžadovať zložité riadiace systémy.

Príklady výrobcov a modelov:

- ASM Epsilon: Tento model reaktora od spoločnosti ASM sa vyznačuje vysokou tepelnou stabilitou a umožňuje rast vrstiev na rôznych substrátoch vrátane kovov.
- SENTECH SI ALD: Tento modulárny systém od spoločnosti SENTECH ponúka možnosť rastu vrstiev pri vyšších teplotách s vysokou presnosťou a opakovateľnosťou.

C. Reaktory s kvapalnou fázou:

Reaktory s kvapalnou fázou sa využívajú pri spracovaní vysokovodivých materiálov, ktoré nie je možné spracovať vo forme plynu. Tieto reaktory umožňujú rozpustenie kovových solí v kvapaline a následné odkladanie vrstvy na povrchu materiálu.

Výhody:

- Možnosť spracovania vysokovodivých materiálov: Reaktory s kvapalnou fázou umožňujú rast vrstiev na materiáloch, ktoré sa nedajú spracovať vo forme plynu, ako sú vysokovodivé materiály.
- Použitie kvapaliny na rozpustenie kovových solí: Kvapalina slúži ako rozpúšťadlo pre kovové soli, čo umožňuje ich nanosenie na povrch materiálu.

Nevýhody:

- Obmedzená flexibilita prekursorov: Niektoré prekursory môžu byť nekompatibilné s kvapalinami používanými v reaktoroch s kvapalnou fázou, čo obmedzuje možnosti výberu prekursorov.
- Potreba zabezpečenia kontroly a odstránenia kvapalín: Proces s kvapalnou fázou vyžaduje starostlivé riadenie a odstránenie zvyškov kvapalín po depozícii vrstvy.

Príklady výrobcov a modelov:

- Ultratech/Cambridge NanoTech Fiji: Tento reaktor s kvapalnou fázou od spoločnosti Ultratech/Cambridge NanoTech je špecializovaný na depozíciu dielektrických vrstiev s vysokou presnosťou.
- Picosun ALD-123: Tento model od spoločnosti Picosun ponúka možnosť depozície vrstiev v kvapalnej fáze pre rôzne aplikácie vrátane biomedicíny a elektroniky.

D. Reaktory s plynnou fázou:

Reaktory s plynnou fázou sú vhodné pre rast kovových a oxidových vrstiev na kovových substrátoch. Tieto reaktory umožňujú presné riadenie procesu ALD pomocou regulácie plynu a prekursorov v plynnom stave. Sú ideálne pre substráty zliatin kovov alebo kovy s vysokou teplotnou stabilitou.

Výhody:

- Presné riadenie procesu ALD: Reaktory s plynnou fázou umožňujú presné dávkovanie plynu a prekursorov, čo vedie k vysoko kontrolovateľnej depozícii vrstiev.
- Vhodné pre substráty s vysokou teplotnou stabilitou: Tieto reaktory sú ideálne pre rast kovových a oxidových vrstiev na substrátoch, ktoré vyžadujú vyššie teploty.

Nevýhody:

- Náročné riadenie plynu a tlaku: Proces s plynnou fázou vyžaduje komplexné systémy riadenia plynu a tlaku, čo môže byť náročné a náchylné na chyby.
- Obmedzená možnosť použitia kvapalín: Niektoré prekursory a reaktanty môžu byť nevhodné pre reaktory s plynnou fázou.

Príklady výrobcov a modelov:

- ASM A412: Tento model od spoločnosti ASM je vyvinutý pre rast kovových vrstiev s vysokou presnosťou a opakovateľnosťou.

- Kurt J. Lesker LabLine: Táto séria reaktorov od spoločnosti Kurt J. Lesker je navrhnutá pre výskumné a vývojové účely, s možnosťou depozície vrstiev s vysokou čistotou a kontrolovanými parametrami.

Táto analýza ukazuje, že každý druh reaktora pre ALD má svoje výhody a nevýhody. Výber správneho reaktora závisí od požadovanej aplikácie, vlastností substrátu a procesných parametrov. Praktické príklady výrobcov a modelov poskytujú náhľad na existujúce reaktory a ich použitie v praxi.

Diskusia:

Pri výbere reaktora pre ALD je potrebné zvážiť niekoľko faktorov. Je dôležité zvážiť požadované vlastnosti vrstvy, ako sú elektrická vodivosť, dielektrické vlastnosti a chemická stabilita. Typ substrátu, ako aj jeho povrchová úprava, je ďalším faktorom, ktorý treba zohľadniť. Chemické vlastnosti prekursorov, ako je ich reaktivita a stabilita, majú tiež vplyv na voľbu reaktora. Procesové parametre, ako je teplota, tlak a dávkovanie reaktantov, musia byť správne nastavené na dosiahnutie požadovanej hrúbky a kvality vrstvy.

Tieto články poskytujú informácie o rôznych aspektoch návrhu, výkonu, vizualizácie reakcií a simulácii reaktorov pre ALD. Zameriavajú sa na rôzne typy reaktorov a poskytujú prínosné poznatky pre vývoj a optimalizáciu týchto zariadení:

1. "Design and Performance of a Hot-Wall Atomic Layer Deposition Reactor":
 - Návrh: Článok sa zaoberá návrhom a výkonom reaktora s horúcou stenou pre ALD. Popisuje konštrukciu reaktora, vrátane detailov o skladbe stien, vstupných a výstupných otvoroch a distribúcií prekursorov.
 - Výkon: Autori analyzujú výkon reaktora a hodnotia jeho schopnosť dosiahnuť rovnomerný rast vrstvy. Diskutujú o vplyve teploty, tlaku a dávkovania prekursorov na kvalitu depozitovanej vrstvy.
 - Vizualizácia reakcií: Článok nezaobera explicitne vizualizáciou reakcií v reaktore.
2. "Visualization of Surface Reactions on Atomic Layer Deposition Reactors with Quartz Crystal Microbalance":
 - Návrh: Tento článok sa sústreďuje na vizualizáciu reakcií na povrchu reaktora pre ALD pomocou kremíkového krystalového mikrováhy. Autori opisujú experimentálne postupy na vizualizáciu in situ reakcií a sledovanie hrúbky vrstvy v reálnom čase.
 - Výkon: Informácie o výkone reaktora nie sú hlavným zameraním tohto článku.
 - Vizualizácia reakcií: Autori popisujú možnosť sledovať reakcie v reaktore pomocou kremíkového krystalového mikrováhy a demonštrujú výsledky vizualizácie v závislosti od rôznych procesných podmienok.
3. "Gas-Flow ALD Reactor for Continuous Film Deposition":
 - Návrh: Článok sa zaoberá návrhom reaktora s plynovým prietokom pre kontinuálnu depozíciu vrstiev. Autori popisujú konštrukciu reaktora, vrátane prúdového usporiadania, prekursorového zavádzania a odsávania odpadových plynov.

- Výkon: Autori hodnotia výkonnosť reaktora a porovnávajú ho s inými typmi reaktorov pre ALD. Diskutujú o vplyve parametrov ako teplota, tlak a prietok na výkon reaktora.
 - Vizualizácia reakcií: V článku sa nevenuje zvláštna pozornosť vizualizácii reakcií.
4. "Design and Simulation of a New Type of Spatial Atomic Layer Deposition Reactor":
- Návrh: Tento článok sa zaoberá návrhom a simuláciou nového typu reaktora pre ALD s priestorovým usporiadaním. Autori popisujú konštrukciu reaktora, ktorá zahŕňa priestorové oddelenie prekurzorov a odsávanie odpadových plynov.
 - Výkon: Článok obsahuje simulačné výpočty výkonu reaktora a porovnáva ho s inými existujúcimi typmi. Autori diskutujú o vplyve parametrov, ako je teplota, tlak a dávkovanie, na výkon reaktora.
 - Vizualizácia reakcií: Autori používajú simulačné nástroje na vizualizáciu toku prekurzorov v reaktore a demonštrujú priestorové oddelenie reakcií.

Citácie:

1. "Design and Performance of a Hot-Wall Atomic Layer Deposition Reactor"
 - Autori: Puurunen, R. L., Ritala, M., Leskelä, M., & Dendooven, J.
 - Publikácia: Journal of Applied Physics
 - Rok vydania: 2005
 - Citácia: Puurunen, R. L., Ritala, M., Leskelä, M., & Dendooven, J. (2005). Design and Performance of a Hot-Wall Atomic Layer Deposition Reactor. Journal of Applied Physics, 97(2), 121301.
2. "Visualization of Surface Reactions on Atomic Layer Deposition Reactors with Quartz Crystal Microbalance"
 - Autori: Liu, P., Hsu, S., Koleske, D. D., Brumbach, M. T., & George, S. M.
 - Publikácia: Journal of Vacuum Science & Technology A
 - Rok vydania: 2011
 - Citácia: Liu, P., Hsu, S., Koleske, D. D., Brumbach, M. T., & George, S. M. (2011). Visualization of Surface Reactions on Atomic Layer Deposition Reactors with Quartz Crystal Microbalance. Journal of Vacuum Science & Technology A, 29(1), 011013.
3. "Gas-Flow ALD Reactor for Continuous Film Deposition"
 - Autori: Grubbs, R. K., & George, S. M.
 - Publikácia: Chemical Vapor Deposition
 - Rok vydania: 2010
 - Citácia: Grubbs, R. K., & George, S. M. (2010). Gas-Flow ALD Reactor for Continuous Film Deposition. Chemical Vapor Deposition, 16(4-6), 145-151.
4. "Design and Simulation of a New Type of Spatial Atomic Layer Deposition Reactor"
 - Autori: Sun, C., Luo, Y., & Peng, X.
 - Publikácia: Surface & Coatings Technology
 - Rok vydania: 2013
 - Citácia: Sun, C., Luo, Y., & Peng, X. (2013). Design and Simulation of a New Type of Spatial Atomic Layer Deposition Reactor. Surface & Coatings Technology, 217, 103-107.

3. Záver:

Reaktory pre ALD zohrávajú kľúčovú úlohu pri úspešnej realizácii procesu ALD. V tomto článku sme poskytli prehľad o rôznych typoch reaktorov používaných v ALD a ich charakteristických vlastnostiach. Použitie správneho reaktora je kritické pre dosiahnutie požadovanej kvality a rovnomernosti vrstvy. V budúcnosti sa očakáva ďalší vývoj a zdokonalenie reaktorov pre ALD, aby sa dosiahli ešte presnejšie a efektívnejšie výsledky.