

Obsah

1	Úvod	9
1.1	Tenké vrstvy nitridu titanu	12
2	Metody vytváření tenkých vrstev nitridu titanu	15
2.1	Chemická depozice vrstev - metoda CVD	15
2.2	Fyzikální depozice vrstev - metody PVD	16
2.2.1	Metody vytváření TiN_x vrstev na principu odpařování Ti	18
2.2.1.1	Odpařování elektronovým svazkem	19
2.2.1.2	Obloukové odpařování	20
2.2.2	Metody vytváření TiN_x vrstev na principu rozprašování Ti	21
2.3	Fyzikálně chemická depozice vrstev - metoda PACVD	22
2.4	Hlavní problémy existujících zařízení pro vytváření otěruvzdorných vrstev TiN_x	23
	Literatura	23
3	Reaktivní magnetronová depozice tenkých vrstev nitridu titanu TiN_x	26
3.1	Základní faktory rozhodující o tvorbě TiN_x vrstev	27
3.1.1	Pokrývání terče magnetronu reakčním produktem a efekt hystereze	28
3.1.2	Způsoby umožňující zvýšení rychlosti depozice vrstev při reaktivním naprašování	32
3.1.2.1	Způsoby umožňující snížit pokrývání terče magnetronu reakčním produktem	34
3.2	Vliv čerpací rychlosti na efekt hystereze při reaktivním naprašování tenkých vrstev	37
3.2.1	Kritická čerpací rychlost	39
3.2.2	Experimentální prověření teoretického rozboru	40
3.2.2.1	Závislost $\phi_{Ar} = f(\phi_{N2})$	41
3.2.2.2	Závislost $S_{N2}^s = f(\phi_{N2})$ a $p_{N2} = f(\phi_{N2})$	43
3.2.2.3	Vlastnosti experimentálních závislostí $\phi_{Ar} = f(\phi_{N2})$	46
3.2.2.4	Závislost kritické čerpací rychlosti na parametrech depozičního procesu	47
3.2.2.5	Závislost mikrotvrdoti HV a depoziční rychlosti a_D tenkých vrstev TiN_x na průtoku ϕ_{N2}	49
3.2.2.6	Úloha p_T a S_{N2} v procesu reaktivní depozice vrstev	51
3.2.2.7	Stručné shrnutí hlavních výsledků	51

3.3	Provozní charakteristiky kruhového planárního magnetronu ve směsi Ar + N ₂	52
	Literatura	56
4	Mikrostruktura tenkých vrstev	58
4.1	Modely mikrostruktury tenkých vrstev	59
4.1.1	Model založený na pohyblivosti indukované teplotou T _s	59
4.1.2	Model založený na pohyblivosti indukované teplotou T _s a zahrnující efekt tlaku inertního plynu p	61
4.1.3	Model založený na pohyblivosti indukované teplotou T _s a zahrnující efekty tlaku inertního plynu p a předpětí U _s	62
4.1.4	Model popisující skokové změny mikrostruktury vrstev vytvořených za podmínek nízké pohyblivosti adsorbovaných atomů	64
4.1.5	Model založený na pohyblivosti hranic jednotlivých zrn	66
4.1.6	Shrnutí současného stavu poznání o mikrostrukturu tenkých vrstev	69
4.2	Přechodová zóna T	70
4.2.1	Faktory ovlivňující mikrostrukturu vrstev	71
4.2.2	Hranice mezi zónou I a zónou T	73
	Literatura	75
5	Vlastnosti TiN _x vrstev připravených reaktivní magnetronovou depozicí .	76
5.1	Depoziční rychlost	77
5.2	Mikrotvrdot tenkých TiN _x vrstev	78
5.2.1	Závislost mikrotvrdotí TiN _x vrstev na tloušťce vrstvy	82
5.2.2	Závislost mikrotvrdotí TiN _x vrstev na průtoku dusíku	82
5.2.2.1	Kritický průtok dusíku φ _c	84
5.2.3	Závislost mikrotvrdotí TiN _x vrstev na geometrii terče magnetronu	87
5.2.4	Závislost mikrotvrdotí TiN _x vrstev na výkonu magnetronu P _d	88
5.2.5	Závislost maximální mikrotvrdotí HV _{max} TiN _x vrstev na teplotě T _s a předpětí U _s substrátu	90
5.3	Specifický odpor TiN _x vrstev	90
5.4	Otěruvzdornost tenkých TiN _x vrstev	93
5.5	Adheze tenkých vrstev	96
5.5.1	Rozdílné moduly pružnosti substrátu a vrstvy	100
5.5.2	Rozdílné koeficienty teplotní roztažnosti substrátu a vrstvy	101
5.5.3	Růstové makropnutí generované v naprašovaných vrstvách	105
5.5.3.1	Tlakové a tahové makropnutí v naprašovaných vrstvách	106
5.5.4	Měření adheze tenkých vrstev	108
5.6	Fázové složení a struktura TiN _x vrstev	111
5.6.1	Fáze ε-Ti ₂ N	113
5.6.2	Změna polohy reflexí při změně at % N ve vrstvě	113
5.6.3	Typické rtg difrakční diagramy TiN _x vrstev	114

5.6.4	Korelace mezi mikrotvrdotí, makropnutím a mikropnutím, fázovým složením, stechiometrií a texturou TiN _x vrstev	116
5.6.5	Vliv tloušťky vrstvy na vlastnosti TiN _x vrstev	119
5.6.6	Řízení textury při vytváření TiN _x vrstev	120
5.7	Srovnání TiN _x a (Ti, Al, V)N _x vrstev	123
	Literatura	124
6	Depozice tenkých vrstev nitridu titanu obloukovým odpařováním Ti za sníženého tlaku	127
6.1	Obloukový výboj za sníženého tlaku	127
6.1.1	Katodová skvrna oblouku	129
6.1.2	Emise částic z katody obloukového výboje	132
6.1.2.1	Rychlost odpařování v katodové skvrně	133
6.1.2.2	Prostorové rozložení odpařovaných částic	136
6.1.2.3	Energetické rozdělení odpařovaných částic	141
6.1.2.4	Metody separace makročástic	144
6.1.3	Iniciování elektrického oblouku	146
6.2	Využití obloukového výboje pro depozici vrstev	148
6.2.1	Depozice vrstev obloukovým odpařováním	148
6.2.1.1	Depozice vrstev pulsním obloukovým odpařováním	148
6.2.1.2	Depozice vrstev stacionárním obloukovým odpařováním	149
6.2.1.3	Technologický depoziční proces	150
6.2.2	Konstrukce obloukových odpařovačů	151
6.3	Depozice tenkých vrstev nitridu titanu obloukovým odpařováním v technologickém zařízení	153
6.3.1	Zařízení DA 500-01	153
6.3.2	Parametry obloukového výboje	155
6.3.2.1	Elektrické parametry výboje	155
6.3.2.2	Energetická bilance na katodě obloukového výboje	156
6.3.2.3	Vztah mezi tlakem, průtokem a složením pracovního plynu při obloukovém odpařování	158
6.3.3	Procesy na substrátu	162
6.3.3.1	Depoziční rychlost	162
6.3.3.2	Iontový proud na substrát	163
6.3.3.3	Energetická bilance na substrátu a stacionární depoziční teplota	166
	Literatura	169
7	Plazmatem aktivovaná chemická depozice (PACVD) tenkých vrstev nitridu titanu	171
7.1	Možnosti snížení depoziční teploty v metodách pracujících na principu chemické depozice vrstev	172
7.2	Princip metody PACVD a její realizace	173
7.3	Typické parametry zařízení použitých pro PACVD tenkých vrstev nitridu titanu	175

7.4	Typické vlastnosti TiN vrstev vytvořených metodou PACVD	177
7.5	Fyzikální srovnání PVD a CVD metod deposice tenkých TiN vrstev	179
	Literatura	181