

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní
Obor 23-07-8
strojírenská technologie
zaměření
strojírenská metalurgie
Katedra materiálů a strojírenské metalurgie

VELMI TENKÉ DEPONOVANÉ VRSTVY
NA KOVOVÝCH PODKLADECH

KMM-195

Josef P E T R

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vendula Štefanová-VŠST Liberec
Konzultant: Ing. Karel Daňourek, CSc.-ZEZ Liberec

Rozsah práce a příloh

Počet stran : 62
Počet tabulek : 14
Počet obrázků : 20
Počet příloh : 3
Počet výkresů : -

23.května 1986

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Josef P E T R**
obor **strojírenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Velmi tenké deponované vrstvy na kovových podkladech**

Zásady pro vypracování:

1. Seznáňte se s problematikou deponice tenkých vrstev Ti, TiN, TiC ev. dalších na ocelích.
2. Zhotovte vzorky tenkých vrstev Ti na ocelích napařením a naprášením.
3. Porovnejte vlastnosti získaných vrstev, proveďte jejich celkovou analýzu a doporučte vhodné tepelné zpracování ocelí před zhotovením vrstvy Ti.
4. Navrhněte způsob měření tloušťky deponované vrstvy s co největší přesností.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5,
PSC 461 17

V 203/86 S
K / 86 S

KMM / SM

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran textu

Seznam odborné literatury:

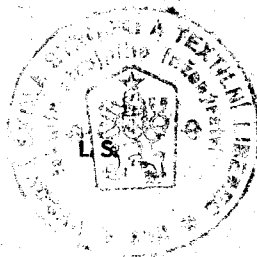
- /1/ EKRTOVÁ, L.: Fyzika tenkých vrstev
- /2/ Výzkumné zprávy ZEZ

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vendula Štefanová

Konzultant : Ing. Karel Dačourek, CSc - ZEZ Liberec

Datum zadání diplomové práce: 9.9.1985

Termín odevzdání diplomové práce: 23.5.1986



Handwritten signature of Ján Alaxin

Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc

Vedoucí katedry

Handwritten signature of Ján Alaxin

Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc

Děkan

V Liberci 3.9. 85
dne 19.....

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.“

V Liberci dne 23. května 1986

Josef Petr

OBSAH

	str.
Seznam použitých zkratek a symbolů.	6
1. ÚVOD.	8
2. TEORETICKÁ ČÁST . . . . .	.10
2.1. Rozdělení metod depozice tenkých vrstev . . . . .	.10
2.2. Naprašování tenkých vrstev magnetronovou depozicí . . . . .	.10
2.2.1. Princip magnetronové depozice . . . . .	.11
2.2.2. Kruhový planární magnetron. . . . .	.14
2.2.3. Obdélníkový planární magnetron. . . . .	.15
2.3. Depozice tenkých vrstev napařováním ve vakuu. . . . .	.17
2.3.1. Princip metody napařování ve vakuu. . . . .	.17
2.3.2. Napařovací aparatury. . . . .	.19
2.3.3. Podložky, vypařované materiály, vypařovací prvky. . . . .	.21
2.4. Tloušťka tenkých vrstev a její měření . . . . .	.23
2.4.1. Metody váhové . . . . .	.24
2.4.2. Metody elektrické . . . . .	.25
2.4.3. Metody optické. . . . .	.26
2.4.4. Metody speciální. . . . .	.27
2.4.5. Aplikace metod měření tloušťky na tenké vrstvy Ti . . . . .	.28
2.5. Přehled vlastností titanu . . . . .	.29
2.5.1. Fyzikální vlastnosti Ti . . . . .	.29
2.5.2. Mechanické vlastnosti Ti. . . . .	.31
2.5.3. Technologické vlastnosti Ti . . . . .	.31
2.5.4. Chemické vlastnosti Ti. . . . .	.32
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST . . . . .	.33
3.1. Vlastnosti materiálu, rozměry a příprava podložky . . . . .	.33

3.2.	Praktická depozice tenkých vrstev Ti.	35
3.2.1.	Depozice tenké vrstvy titanu naprášením	36
3.2.2.	Depozice tenké vrstvy titanu napařením.	37
3.3.	Optická mikroskopie tenkých vrstev titanu	39
3.4.	Elektronová mikroskopie tenkých vrstev titanu	41
3.5.	Měření mikrotvrdomosti tenkých vrstev Ti.	45
3.6.	Měření přilnavosti tenkých vrstev Ti.	48
3.7.	Rentgenová difrakce na tenkých vrstvách Ti.	51
3.8.	Návrh měření tloušťky tenké vrstvy kalotestem	53
4.	ZÁVĚR	57
5.	Seznam literatury	59
6.	Seznam příloh	61

Seznam použitých zkratek a symbolů

a [mm]. . .	šířka terče obdélníkového magnetronu
a [Å]. . .	parametr mřížky titanu
b [mm]. . .	délka terče obdélníkového magnetronu
\vec{B} [T]. . .	vektor magnetické indukce
c [Å]. . .	parametr mřížky titanu
d [mm]. . .	průměr rozprašovaného terče
d_{s-k} [mm]. . .	vzdálenost substrát-katoda
\vec{E} [V/m]. . .	vektor intenzity elektrického pole
h [mm]. . .	vzdálenost vypařovací zdroj-podložka
I_d [A]. . .	výbojový proud
m [kg]. . .	hmotnost tenké vrstvy
N_d	počet částic dopadajících na podložku
N_v	počet částic vypařených ze zdroje
p [Pa]. . .	tlak pracovního plynu, provozní tlak
p_0 [Pa]. . .	počáteční vakuum, mezní tlak
r [mm]. . .	vzdálenost vypařovací zdroj-podložka
R	odrazivost rozhraní vzduch-vrstva
R [mm]. . .	poloměr koule u kalotestu
S [mm ²]. . .	plocha substrátu
S_z [mm ²]. . .	plocha vypařovacího zdroje
t [μm]. . .	tloušťka tenké vrstvy
t_0 [μm]. . .	maximální tloušťka tenké vrstvy
U_d [V]. . .	výbojové napětí
x [mm]. . .	vzdálenost od středu podložky
\bar{x}	střední hodnota
Z	zvětšení mikroskopu
α [m ⁻¹]. . .	koeficient absorpce tenké vrstvy
α	alotropická modifikace titanu
β	alotropická modifikace titanu

λ [Å].	vlnová délka rentgenového záření
ρ [kg/m ³].	měrná hmotnost kompaktního materiálu
σ	střední směrodatná odchylka
θ [°]	difrakční Braggův úhel
RV	rotační vývěva
V_1, V_2, V_3	ventily
DV	difuzní vývěva
R.	recipient
Q.	vypařovací zdroj
T.	podložky
Z.	vypařovací zdroj
P.	podložka/substrát/
EA	experimentálně změřená přilnavost
BA	základní přilnavost
IS	vnitřní mechanické pnutí ve vrstvě
MSE.	specifické omyly metody měření adheze
d.v.	dobrý vryp
v.v.	vytrhávání vrstvy
k.z.	kritické zatížení

1. ÚVOD

Problematika depozice tenkých vrstev se v posledních letech stala samostatným a důležitým oborem. Stále větší pozornost se věnuje výzkumu přípravy tenkých vrstev a důkladnému rozboru jejich vlastností. Tento zájem je určován především potenciální možností průmyslového využití různých tenkých vrstev v mnoha praktických aplikacích. Tenké vrstvy našly široké použití ve strojírenství/např. využití odolnosti tenké vrstvy proti korozi/, ve sklářském průmyslu/např. ozdobné povlaky/, v lékařství/např. povlaky chirurgických nástrojů/, v elektrotechnice/např. integrované obvody/, v optickém průmyslu/např. využití interference na tenké vrstvě/, při zkoumání biochemických a fyziologických procesů/tenké vrstvy organických látek/a v dalších důležitých oborech.

Obdobnou pozornost v posledních letech na sebe soustředil neželezný kov titan. Tento výborný konstrukční materiál speciálních vlastností pozvedl výše úroveň techniky a zařadil se mezi materiály, které dnes nabývají důležitosti a v budoucnu budou nepostradatelné. Mezi nejdůležitější příznivé vlastnosti titanu patří malá měrná hmotnost, výborná odolnost proti korozi, příznivý poměr pevnosti ku měrné hmotnosti a vysoká hodnota meze únavy i v korozních prostředích. Těchto vlastností se využívá v mnoha praktických aplikacích, především v leteckém průmyslu/např. stavba letadel a raket/, v chemickém průmyslu/např. výroba kyselin a organických i anorganických sloučenin ve strojírenství/např. stavba parních a spalovacích turbin/. Z ostatních oborů použití lze stručně uvést papírenský, textilní a potravinářský průmysl, vakuovou techniku a lékařství.

Předložená diplomová práce se zabývá spojením nesporných výhod fyziky tenkých vrstev a příznivých vlastností kovu ti-

tanu, a to depozicí tenké vrstvy titanu na kovový podklad metodou napaření a naprášení a výzkumem vlastností takto vzniklých vrstev. Hlavní cíle této práce lze shrnout do několika bodů. Jsou to:

- teoretické seznámení s metodami přípravy tenkých vrstev
- praktická depozice tenkých vrstev titanu
- určení vlastností tenkých vrstev titanu na oceli
- porovnání vlastností u vrstev napařených a naprášených
- určení vlivu tepelného zpracování substrátu před depozicí
- návrh způsobu měření tloušťky deponované vrstvy s co největší přesností

Splněním těchto cílů by měly být odstraněny určité nejasnosti týkající se vhodné přípravy a vlastností tenkých vrstev titanu na ocelích, což bude mít přínos pro správné využívání těchto vrstev v praxi. Tenké vrstvy titanu na kovových podkladech mají uplatnění především v lékařství, kde se využívá odolnosti titanu proti tkáním při povlakování chirurgických nástrojů a umělých kloubů, dále ve strojírenství, kde se využívá odolnosti tenkých vrstev titanu proti korozi a ve vakuové technice, kde se využívá dobré přilnavosti titanových vrstev, které slouží jako vrstvy podkladové pro tenké vrstvy nitridů a karbidů titanu, např. při povlakování rezných a tažirenských nástrojů/břitové destičky, vrtáky, frézy, .../a součástí strojů/ozubená kola, hřebeny, .../. Třebaže lze očekávat další praktické využití tenkých vrstev titanu na kovových podkladech, je velmi obtížné předpovědět celý dosah této technologie. To je důvod, proč se depozici tenkých vrstev titanu věnuje stále větší pozornost.

2. TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část diplomové práce obsahuje rozdělení metod depozice tenkých vrstev, teorii depozice tenkých vrstev napařováním ve vakuu a napařováním magnetronovou depozicí, metodiku měření tloušťky tenkých vrstev a přehled vlastností titanu.

2.1. Rozdělení metod depozice tenkých vrstev

Metody, kterými se připravují tenké vrstvy, je možné rozdělit na dvě velké skupiny, a to na metody chemické/včetně metod elektrochemických/ a metody fyzikální. Už v úvodu je třeba poznamenat, že takové dělení je do jisté míry formální, protože mnohé z metod zahrnují jak chemické, tak i fyzikální aspekty/1/. Z metod chemických jsou nejdůležitější metody elektrolytického nanášení, bezproudového elektrolytického nanášení, anodické oxidace/nezaručují dostatečnou adhezi tenkých vrstev/ a nanášení z plynné fáze/dochází k vysokému ohřevu materiálu substrátu/.

Fyzikální metody mají širší uplatnění v praxi než metody chemické, neboť vedou k vytváření vrstev velmi čistých a tedy dobře definovatelných a jsou použitelné prakticky pro všechny látky a velké rozmezí tlouštěk/2/. Z fyzikálních metod jsou pro depozici tenkých vrstev nejdůležitější napařování ve vakuu a napařování, jejichž další rozdělení je patrné z tab.1. Obě tyto metody vyžadují v pracovním prostoru snížený tlak a používají tedy vakuové techniky. Z těchto uvedených fyzikálních metod se diplomová práce ve své teoretické i experimentální části dále zabývá depozicí tenkých vrstev napařováním s odporovým ohřevem napařovaného materiálu a napařováním magnetronovou depozicí.

Tab.1. Rozdělení metod fyzikální depozice tenkých vrstev.

Fyzikální metoda	Typ procesu			
naprašování	magnetronové naprašování		katodové naprašování	
naprašování	elektronový paprsek	elektrický oblouk	elektrický odpor	laser

2.2. Naprašování tenkých vrstev magnetronovou depozicí

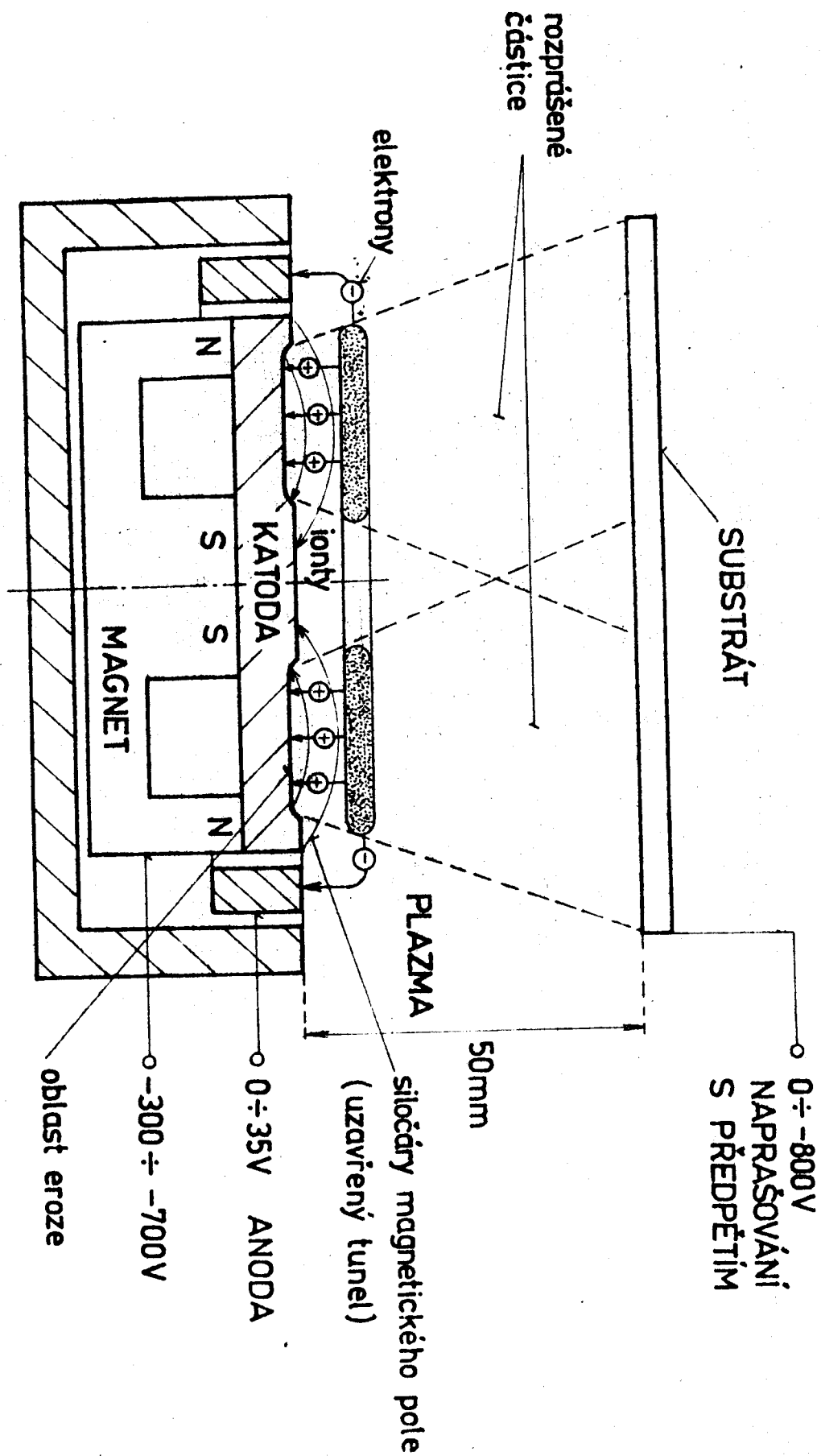
V posledních letech došlo k neočekávanému rozmachu průmyslového využívání magnetronové depozice tenkých vrstev v mikroelektronice, optice, elektrotechnickém průmyslu, vakuové technice, obalové a dekorační technice a řadě dalších oborů/3/. Tento obrovský rozmach byl umožněn vyvinutím celé řady různých typů spolehlivých magnetronů a přímo souvisí s řadou významných předností magnetronového naprašování.

2.2.1. Princip magnetronové depozice tenkých vrstev

Uspořádání a princip funkce magnetronu je schematicky znázorněn na příkladu kruhového planárního magnetronu na obr.1.

Pro magnetronový výboj v planárním magnetronu je charakteristické zkřížení elektrického pole/kolmého na povrch terče/ a magnetického pole/rovnoběžného s povrchem terče/. V důsledku této konfigurace elektromagnetického pole jsou elektrony, způsobující ionizaci Ar plynu, udržovány v blízkosti rozprašovaného terče a konají pohyb po šroubovici s osou rovnoběžnou s povrchem katody. Tím se značně prodlouží dráha elektronů, zvýší se počet srážek a tím se vytvoří hustší plazma/ionizovaný plyn Ar/. To se projeví ve snížení napětí potřebného k udržení výboje a ve zvýšení rozprašování

Obr.1 Schematické zobrazení uspořádání a principu funkce planárního magnetronu/3/.



díky většímu počtu kladných Ar iontů dopadajících z plazmatu na povrch terče. Tyto ionty rozprašují částice terče, jež prochází plazmatem přimknutým k terči směrem k substrátu, který se obvykle umísťuje ve vzdálenosti 50-150mm od povrchu terče/3/, a ulpívají na povrchu substrátu. Plazma je přimknuto k rozprašované terči a má tvar prstence, jež je rozprostřen nad oblastí eroze. V některých případech lze využít teploty plazmatu k ohřevu materiálu substrátu a tím k ušetření energie.

Princip magnetronové depozice tenkých vrstev je tedy založen na rozprašování pevného terče ve zkráceném elektrickém a magnetickém poli za sníženého tlaku a na kondenzaci rozprašených částic na povrchu substrátu. Rozprašování terče se může provádět buď v inertní atmosféře/obvykle v argonu/nebo ve směsi inertního a reaktivního plynu/např. argonu a dusíku/. V prvním případě deponovaná vrstva má stejné složení jako rozprašovaný terč/např. tenká vrstva Ti užitá v diplomové práci/. V druhém případě vytvářené vrstvy jsou sloučeniny materiálu rozprašovaného terče a reaktivního plynu/3//např. tenká vrstva TiN/. Tento druhý případ se nazývá reaktivní magnetronovou depozicí vrstev. Jak ukazují dosud provedené experimenty, magnetronová depozice a magnetronová reaktivní depozice otevírají novou, velmi perspektivní oblast přípravy tenkých vrstev zcela nových vlastností.

Magnetronové rozprašování má proti klasickému katodovému rozprašování v diodových nebo triodových systémech řadu výhod. Stručně je lze shrnout následovně/3/:

1. vysoká rychlost depozice vrstev/asi 10^2 až 10^3 nm/min/
2. nízké pracovní napětí/asi 500 V/
3. nižší tlak pracovního plynu/asi 0,1 až 1Pa/

4. asi 3x vyšší/lepší/energetická účinnost
5. malý ohřev substrátu/substrát se umísťuje mimo výboj/
6. malé omezení geometrie a rozměrů substrátu
7. jednoduchá konstrukce a spolehlivý provoz magnetronu
8. dokonalá reprodukovatelnost vytvářených vrstev

Vysoká rychlost depozice vrstev při nízkém tlaku má velmi příznivý vliv na kvalitu vytvářených vrstev. Tato skutečnost a zejména spolehlivý provoz přímo předurčují magnetronové depoziční systémy pro průmyslové využití.

2.2.2. Kruhový planární magnetron

Terč rozprašovaného materiálu u planárního kruhového magnetronu/obr.1./ má tvar kruhové desky. Kruhové planární magnetrony se obvykle vyrábí s různými průměry terčů d asi od 50mm do 200mm/4/. Všechny čs. magnetrony jsou konstruovány tak, že mají vyměnitelný kruhový rozprašovaný terč, což umožňuje rozprašovat libovolný materiál. Magnetrony jsou vyráběny ve dvou verzích: s přímochlazeným a nepřímochlazeným terčem. Chlazení je vodní. Typické provozní parametry kruhových magnetronů jsou shrnuty v tabulce 2. Magnetrony jsou napájeny stejnosměrným elektrickým příkonem. Jsou vhodné pro depozici tenkých vrstev neferomagnetických kovů a je-

Tab.2. Provozní parametry kruhových planárních magnetronů/4/.

magnetron ϕd [mm]	výbojový proud I_d [A]	výbojové napětí U_d [V]	vodní chlazení
ϕ 60mm	0,05-0,5	400-700	nepřímé
ϕ 120mm	0,1-2,0	300-600	nepřímé
ϕ 200mm	0,1-5,5	300-600	přímé
ϕ 200mm	0,1-2,5	300-600	nepřímé

tlak pracovního plynu: $p=0,1$ až 1 Pa
počáteční vakuum: $p_0=10^{-3}$ Pa
vzdálenost katoda-substrát: $d_{s-k}=30$ až 250 mm

jich slitin na kovové, polovodiivé a dielektrické podložky. Všechny vyvinuté magnetrony mohou být snadno zamontovány do běžně používaných systémů, jako například do zařízení pro vakuové napařování, jak bylo provedeno např. v Ústavu fyziky plazmatu ČSAV v Praze.

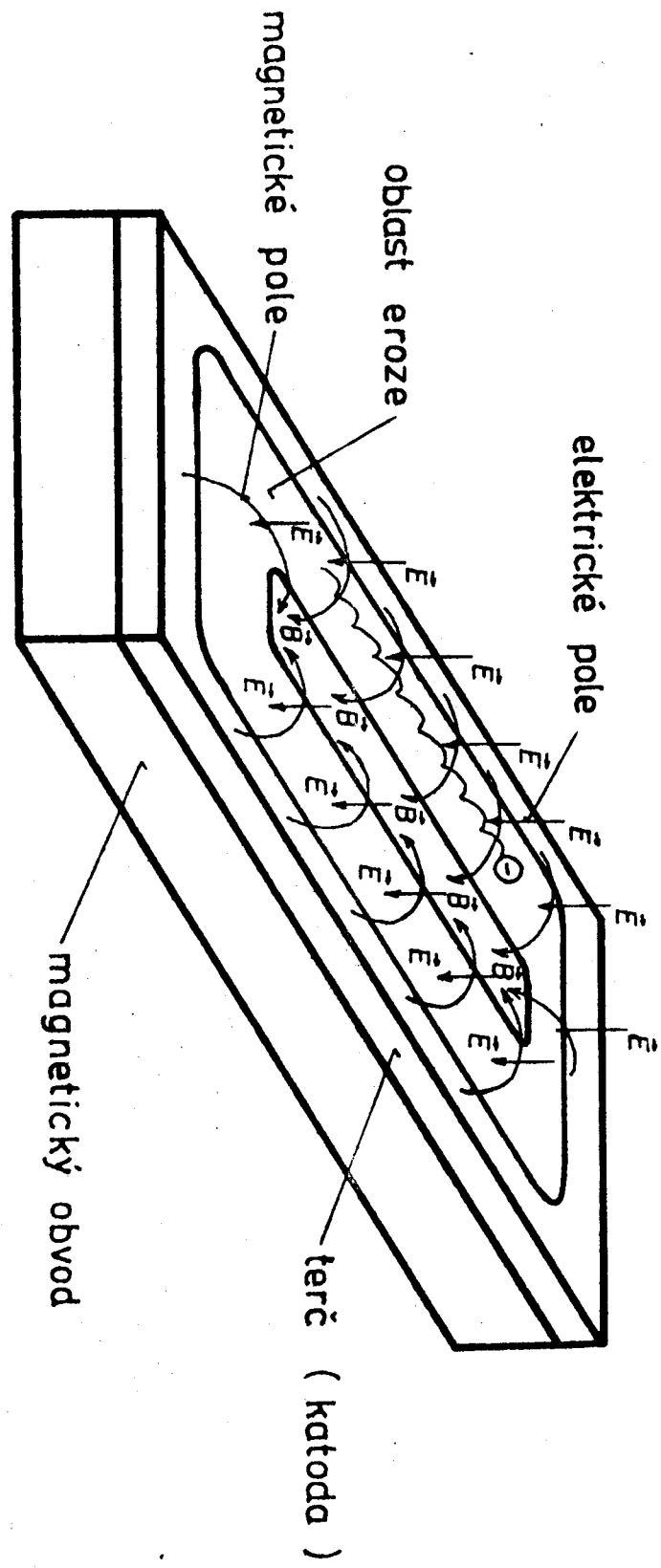
2.2.3. Obdélníkový planární magnetron

Terč rozprašovaného materiálu u obdélníkového magnetronu má tvar obdélníkové desky, jejíž šířka je konstantní a přibližně rovna 100 až 150mm a jejíž délka může být libovolně velká/4/. Délky terčů se pohybují od několika desítek centimetrů až do několika metrů. Schematické znázornění obdélníkového magnetronu je uvedeno na obr. 2, z něhož je vidět, že i u obdélníkového magnetronu je uzavřený „tunel“ ze siločar magnetického pole zkřížený s polem elektrickým, kolmým na povrch terče, a oblast eroze vytváří uzavřenou prstencovou plochu. Koeficient využití plochy terče je větší než u kruhového magnetronu/4/.

První čs. obdélníkový magnetron byl vyvinut v Ústavu fyziky plazmatu ČSAV v Praze v roce 1981. Provozní zkoušky vyvinutého magnetronu byly úspěšné. Tento obdélníkový magnetron pracuje stabilně se silnými terči až do tloušťky 10mm a dosažené parametry magnetronu jsou plně srovnatelné se špičkovými obdélníkovými magnetrony dodávanými předními světovými firmami jako je Balzers, Leybold-Heraeus a další. Typické parametry vyvinutého obdélníkového magnetronu jsou následující/4/:

- výbojový proud: $I_d = 0,1 - 10A$
- výbojové napětí: $U_d = 300 - 600V$
- tlak pracovního plynu: $p = 0,1 - 1Pa$
- počáteční vakuum: $p_0 = 10^{-3} Pa$

Obr.2 Schema obdélníkového planárního magnetronu/4/.



-rozměry terče: $a \times b = 100 \times 300 \text{ mm}$

-vzdálenost substrát-katoda: $d_{s-k} = 50 - 300 \text{ mm}$

-chlazení: vodní přímé nebo nepřímé

Na základě získaných poznatků lze zkonstruovat obdélníkový magnetron s libovolnou délkou a s magnetickým obvodem vytvořeným z tvrdých feritů tuzemské výroby. Také tyto magnetrony mohou být zamontovány do napařovací aparatury, jak bylo provedeno v k.p. ZEZ Praha, VVPZ Liberec/obr. 8/.

2.3. Depozice tenkých vrstev napařováním ve vakuu

Jak již bylo uvedeno v kap. 2.1., depozice tenkých vrstev napařováním patří mezi fyzikální metody přípravy tenkých vrstev. V současné době je to metoda velmi rozšířená a to hlavně proto, že je poměrně jednoduchá a navíc při zachování určitých experimentálních podmínek může poskytovat vrstvy extrémní čistoty/2/.

2.3.1. Princip metody napařování ve vakuu

Metoda napařování tenkých vrstev ve vakuu má jednoduchý princip, založený na vypařování tuhých látek/kovů, sloučenin/ve vakuu po jejich zahřátí na potřebnou teplotu. Při zahřátí tuhé látky na určitou teplotu se odpařují její atomy, resp. molekuly do okolního prostoru/1/.

Daný kov se může odpařovat, je-li v uzavřeném systému vakuum lepší, než je tlak par vypařovaného kovu při dané teplotě vypařování, tzn. že tlak par vypařovaného kovu převyšuje tlak zbývajících plynů v systému/absolutního vakua nelze dosáhnout//5/. Po splnění této podmínky páry kovu kondenzují na chladných místech. Tohoto jevu můžeme využít k tvoření tenkých kovových vrstev na daných podložkách. Kov určený k napařování se vyhřeje ve vakuu na teplotu,

při níž je jeho tlak par dostatečný. Páry kovu pak kondenzují na chladných místech, tedy i na vhodně umístěných plochách substrátu, které chceme pokrýt tenkou vrstvou.

Při vypařování ve vakuu se páry kovu šíří v tzv. „molekulárních paprscích“ zcela přímočaře/5/, dokud se na své dráze nesrazí s jiným atomem nebo molekulou. Při napařování je snaha dosáhnout co nejmenší tlak v pracovním prostoru, neboť molekuly zbytkových plynů jednak brání vypařeným atomům ve volném pohybu, jednak jsou unášeny k substrátu, kde se usazují ve formě nečistot, které mají negativní vliv na kvalitu tenkých vrstev. Pracovní prostor napařovací aparatury tedy musí být vyčerpán. Při běžných rozměrech aparatur a teplotě 25°C je nutno užívat tlaků 10⁻² až 10⁻⁴ Pa. Požadavek extrémní čistoty vrstvy vede k nutnosti pracovat v oboru ultravysokého vakua, tj. při tlacích menších než 10⁻⁵ Pa/5/.

Počet napařených částic závisí mimo jiné i na geometrické konfiguraci systému, tj. na tvaru a vzájemné poloze vypařovacího prvku a podložky. Je-li zdroj přibližně bodový a rovná podložka je v kolmé vzdálenosti h, ubývá tloušťka vrstvy/vytvořená za určitou dobu/s druhou mocninou vzdálenosti, takže největší tloušťka t₀ je ve středu podložky/tj. ve vzdálenosti h/, a ubývá jí do stran s x/obr.3/podle vztahu/2/:

$$\frac{t}{t_0} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{x}{h}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

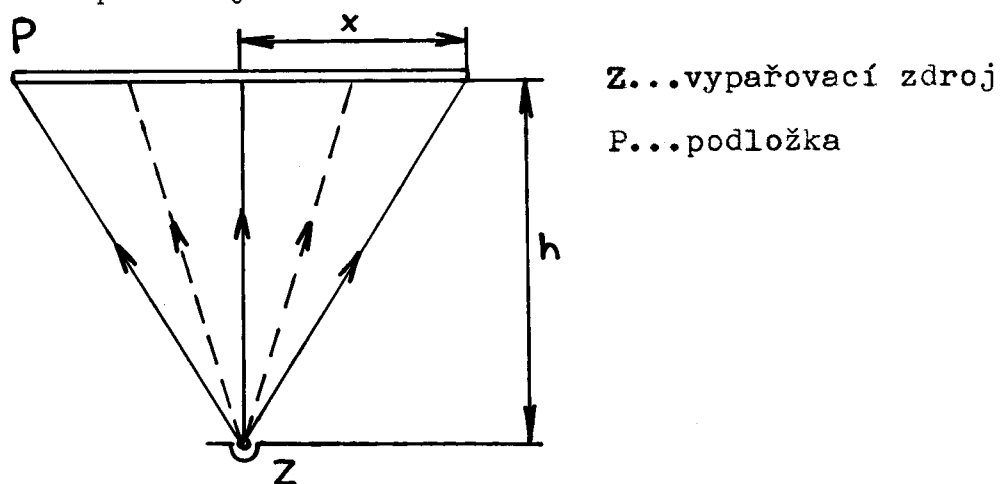
V případě geometrického uspořádání plošného zdroje s plochou S_z a podložky podle obr.5 dopadne na jednotkovou plochu podložky N_d molekul za 1 sekundu/1/podle vztahu:

$$N_d = \frac{S_z N_v \cos \vartheta \cos \psi}{r^2 \pi}$$

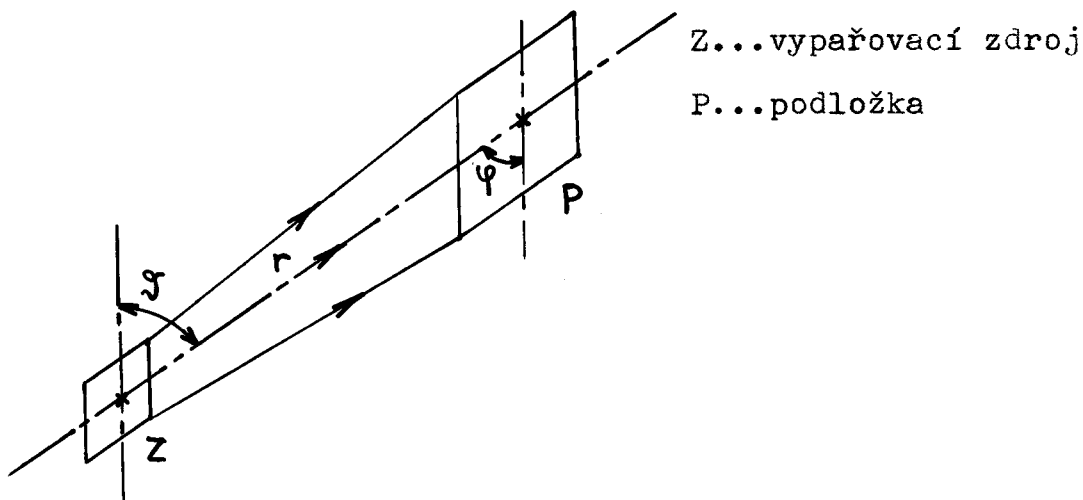
kde N_v je počet částic vypařených z jednotkové plochy/lm²/

za 1 sekundu/dáno rovnicí v /1/ na str.18/, r je vzdálenost zdroje a podložky a význam úhlů φ a ϑ je patrný z obr.4.

Obr.3 Kolmé uspořádání bodového zdroje a rovinné podložky.



Obr.4 Šikmé uspořádání plošného zdroje a rovinné podložky.



2.3.2. Napařovací aparatury

Napařovací aparatury musí splňovat dva hlavní požadavky/1/:

1. zabezpečit dostatečně vysoké vakuum s minimálním obsahem znečišťujících plynů v co nejkratším čase
2. umožnit přenos pohybu a přívod elektrického proudu do pracovního prostoru

Používané aparatury splňují tyto požadavky v různé míře,

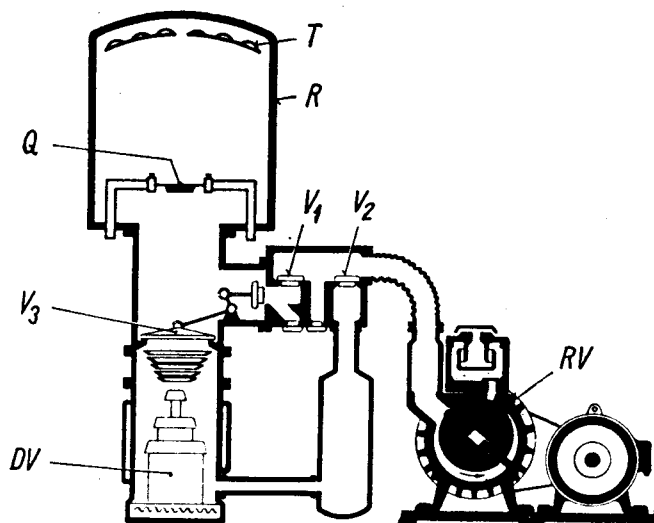
která je obvykle určitým kompromisem mezi zamýšleným cílem, tj. dosažením vhodných vlastností napařených vrstev, a finančními a technickými možnostmi. První požadavek vede k použití vysokovakuových vývív s dostatečnou čerpací rychlostí a co nejkratšího a nejširšího spojovacího potrubí mezi vývívou a čerpaným prostorem. Běžně se dnes používá kovových olejových difúzních vývív s náplní kvalitního minerálního nebo silikonového oleje, předčerpávaných rotačními vývěvami/2/. Tyto vývěvy pracují na jednoduchém principu, který je vysvětlen např. v /6/. Čerpací rychlost se obvykle volí několik set l/s. Pronikání olejových par do pracovního prostoru se zamezuje umístěním vhodných lapačů/chlazených vodou nebo kapalným dusíkem/za vývěvu.

Dosažení nízkého mezního tlaku vyžaduje ovšem i dostatečnou těsnost systému a použití materiálů s nízkou tenzí par a s možností jejich odplynění. Nejlepším konstrukčním materiálem je leštěná nerezavějící ocel/2/. U běžných aparatur se používá těsnění z pryže nebo silikonové pryže, v náročnějších aparaturách z Vitonu nebo se dokonce užívá pouze kovových těsnících kroužků, většinou měděných nebo zlatých.

Dostatečně velký/pro daný způsob použití napařovací aparatury/a snadno přístupný pracovní prostor se obvykle realizuje recipientem/nejčastěji kovovým/, umístěným na kovové základní desce, který lze zvedat ručně nebo hydraulicky. V dolní části bývá prtenec s řadou různých průchodek/elektrických i mechanických pro přenos translačního nebo rotačního pohybu do vakua/a s odbočkami k připojení vakuuměru, hmotového spektrometru nebo jiného pomocného zařízení/2/. Recipient bývá opatřen skleněnými průhledy pro vizuální sledování procesu napařování. Dále bývá na recipientu

umístěn jehlový ventil, který umožňuje připouštění definovaného množství plynu a někdy i zařízení pro optickou metodu kontroly tloušťky napařovaných vrstev. Schematické znázornění klasické vakuové napařovací aparatury je na obr.5.

Obr.5 Schema vakuové napařovací aparatury/2/.



RV...rotační vývěva

V_1, V_2, V_3 ...ventily

DV...difuzní vývěva

R...recipient

Q...vypařovací zdroj

T...podložky

2.3.3. Podložky, vypařované materiály, vypařovací prvky

Podložka neboli substrát slouží jako mechanická opora tenké vrstvy, proto jsou na podložky kladené určité požadavky. Vzhledem k požadované dlouhodobé stabilitě parametrů vrstev není přípustné, aby mezi podložkou a vrstvou probíhaly chemické reakce, které by mohly vlastnosti vrstvy změnit. Dále se kladou úměrné požadavky na mechanickou pevnost samotné podložky a zároveň na dostatečnou přilnavost neboli adhezi vrstvy k podložce, a to nejen při normální teplotě,