

# Nanostrukturalne trde zaščitne prevleke: nanašanje, lastnosti in uporaba

doc. dr. Miha Čekada

Institut »Jožef Stefan«, Odsek za tanke plasti in površine

Jamova 39, 1000 Ljubljana

[miha.cekada@ijs.si](mailto:miha.cekada@ijs.si), [www.ijs.si/ctp](http://www.ijs.si/ctp)

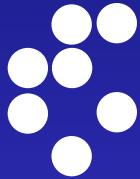
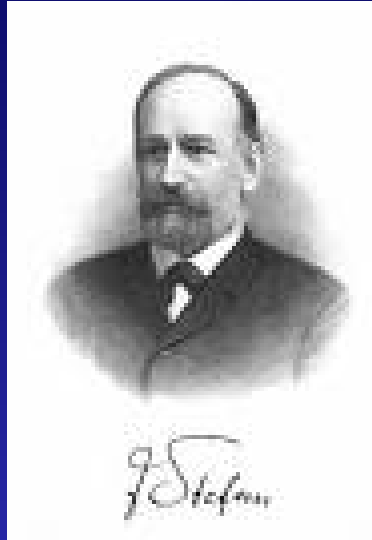


# Uvod

## Jožef Stefan (1835–1893)

Stefan-Boltzmannov zakon

$$j = \sigma T^4$$



## Institut »Jožef Stefan«

ustanovljen 1949

največji raziskovalni institut v Sloveniji

raziskovalna področja:

fizika

novi materiali

kemija in biokemija

znanosti o okolju

elektronske in informacijske tehnologije

reaktorska tehnika

## Odsek za tanke plasti in površine

Raziskovalna področja:

- trde zaščitne prevleke za orodja
- fizika in kemija tankih plasti
- fizika plazme
- defekti v tankih plasteh

Implementacija trdih prevlek v proizvodnjo

**Center za trde prevleke**, Domžale

# Vsebina

## makro

orodni materiali

## mikro

trde prevleke  
nanašanje prevlek  
večplastne prevleke

## nano

nanoplastne prevleke  
simulacija nanašanja  
nanokompozitne prevleke  
barvne prevleke  
industrijska uporaba nanostrukturnih prevlek

# Orodni materiali: makro

**Osnovne zahteve** tehnične lastnosti: trdota, žilavost, kemijska inertnost ...  
omejitve: obstojnost, zdravje, okolje  
cena

**Osnovni koncept** osnova Fe, dodatki Cr, V, W ...

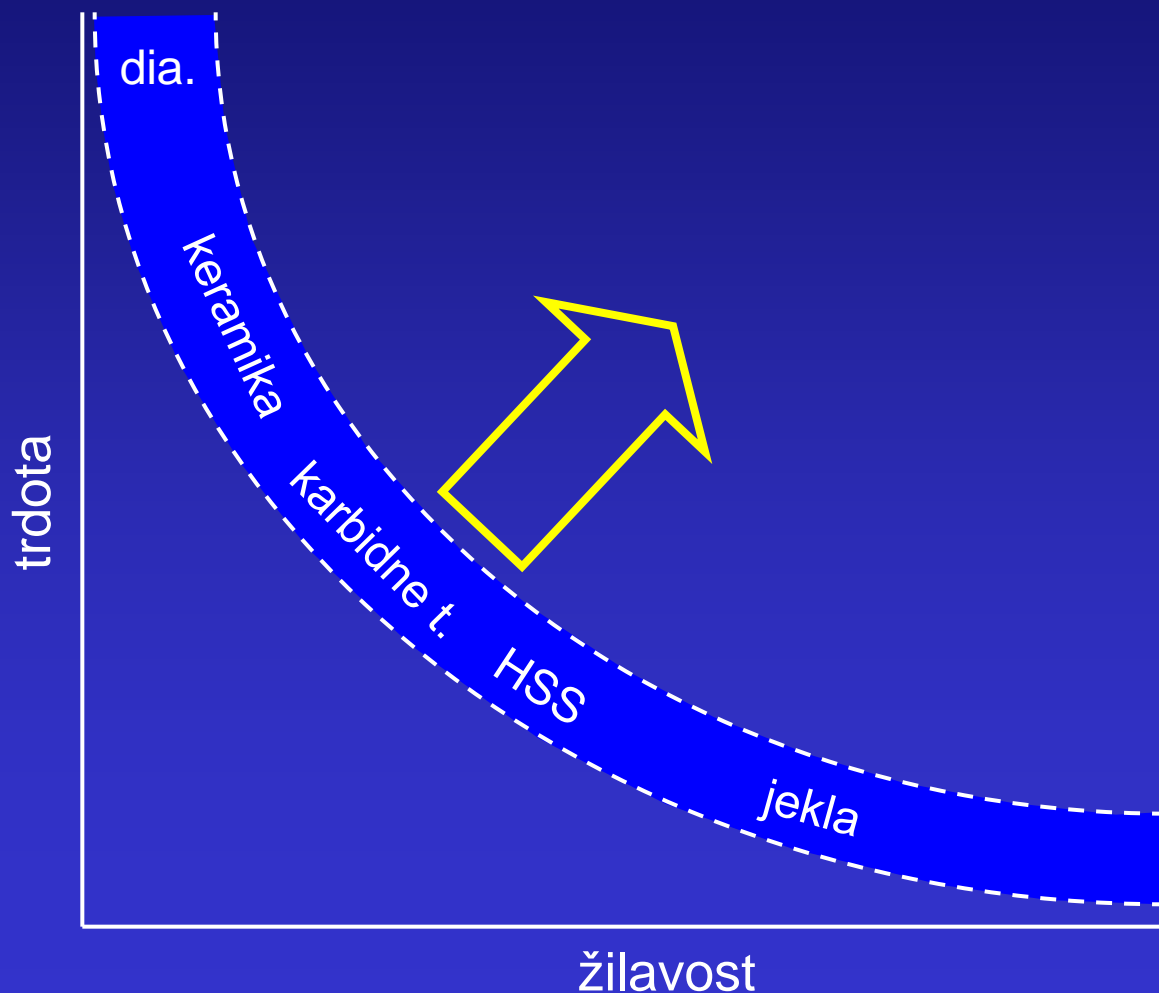
H																He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra																
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	No	Lr

# Orodni materiali: makro

## Novi koncepti

keramični materiali:  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , diamant

kompozitni materiali: WC-Co (karbidna trdina, widia)



# Orodni materiali: mikro

## Koncept

- Spremenimo le površino materiala, osnovo pa pustimo nespremenjeno
- Kombiniramo strukturne lastnosti osnovnega materiala s funkcionalnimi lastnostmi površine

goli material



prekrit s prevleko



modifikacija površine



modifikacija površine + prekrit s prevleko (duplex)



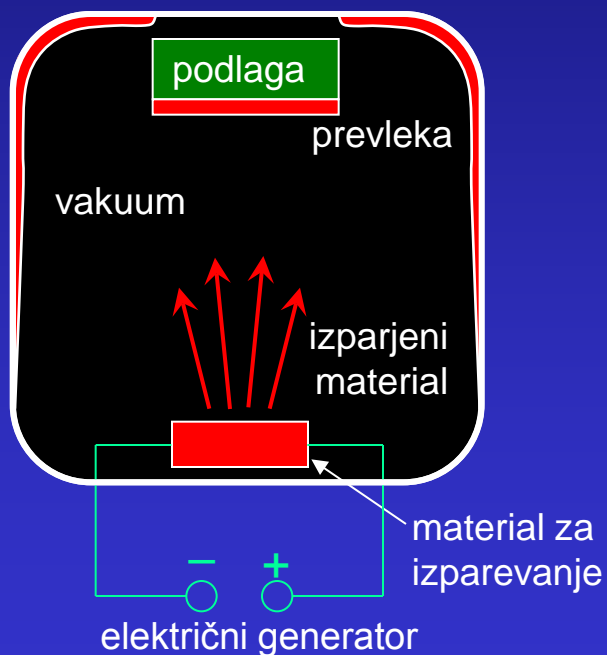
# Nanašanje prevlek

## starejši postopki

elektrokemijski (galvanski Cr),  
kemijski (netokovni Ni)

...

## fizikalno nanašanje iz parne faze PVD (*physical vapor deposition*)



## varianta 1: **naparevanje** (*evaporation*)

- električni tok
- elektronski curek
- katodni lok
- laser

## varianta 2: **naprševanje** (*sputtering*)

- diodno
- triodno
- magnetronsko

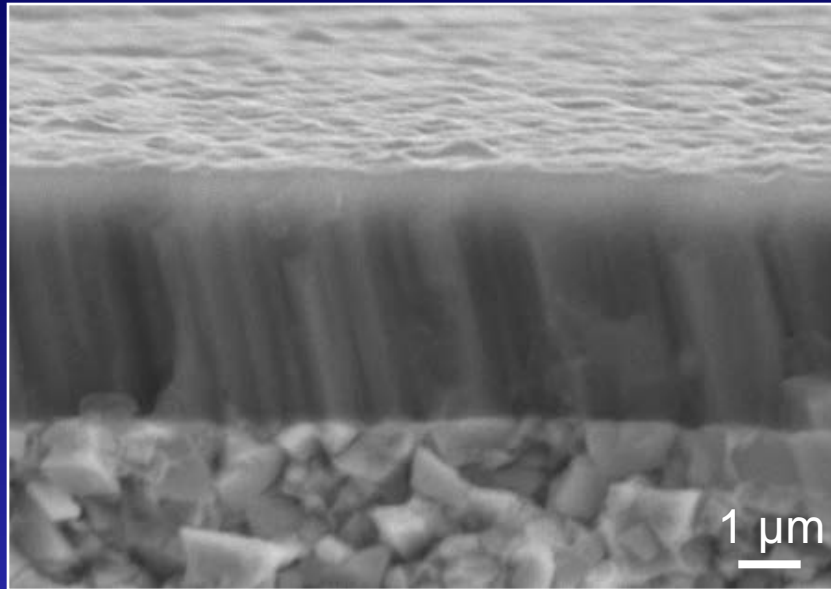
## Izbor materialov

tarča Ti → plast Ti

tarča Ti + plin N<sub>2</sub> → plast TiN

# Standardne prevleke

prevleka  
TiN



## koraki naprej

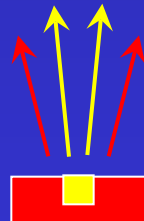
drugi elementi (kovine, nekovine)  
uporaba več elementov



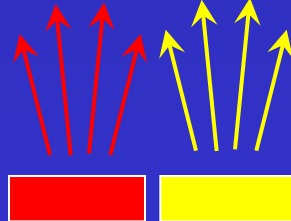
ena  
tarča



zmesna  
tarča



segmentna  
tarča



dve ločeni  
tarči





# Standardne prevleke

CrN

kemijska inertnost



TiAlN

visoka trdota



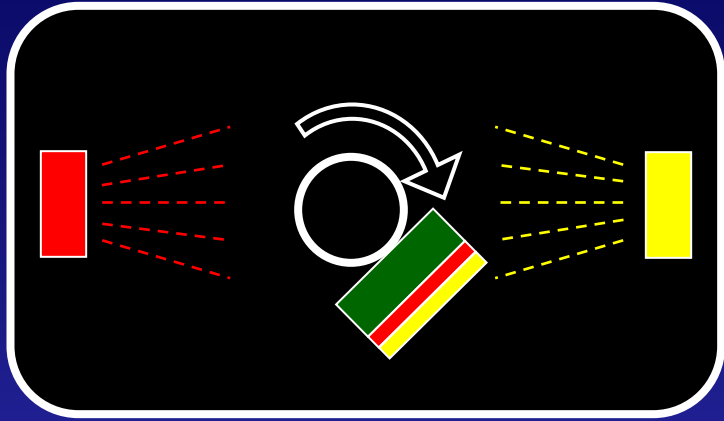
a-CN

nizko trenje

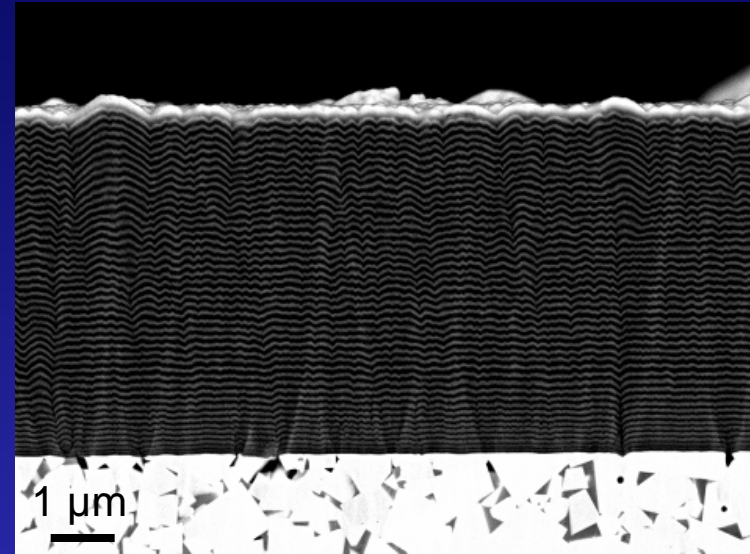


H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra																
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	No	Lr	

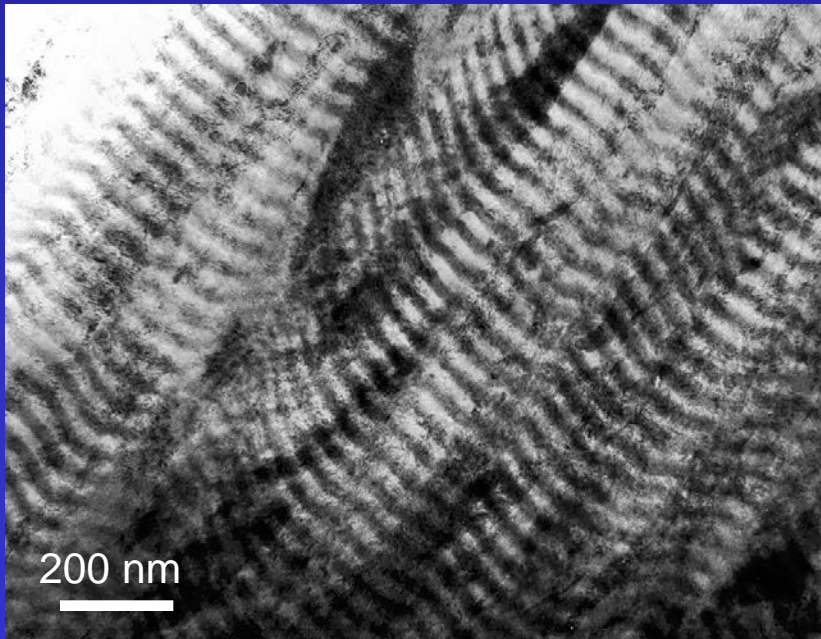
# Nanašanje večplastnih prevlek: iz mikro v nano



perioda nekaj 100 nm

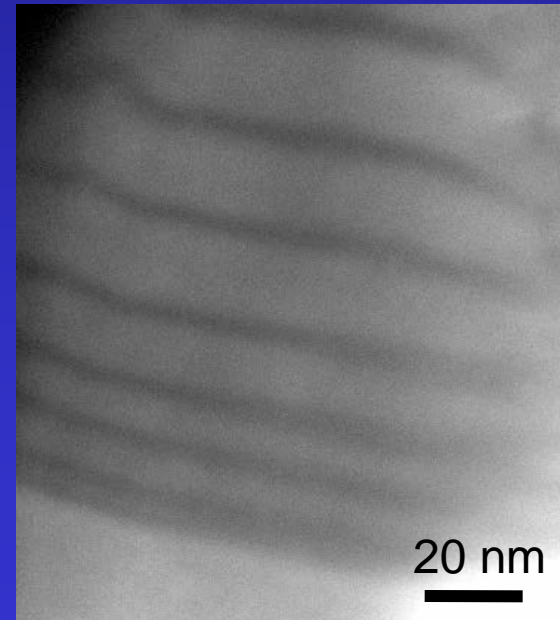


perioda nekaj 10 nm

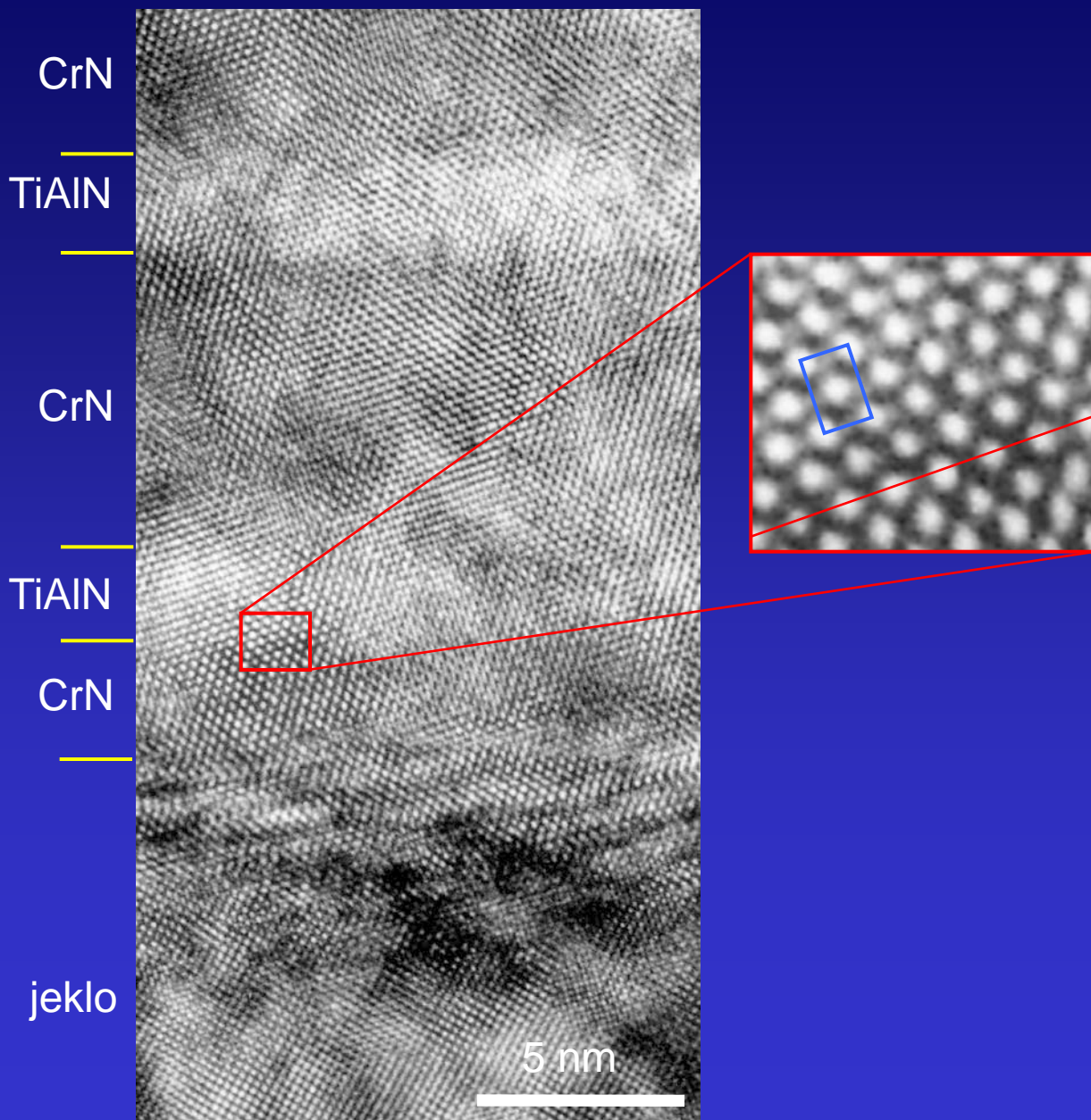


perioda  
nekaj nm

nanoplastna  
prevleka



# Nanašanje večplastnih prevlek: nano



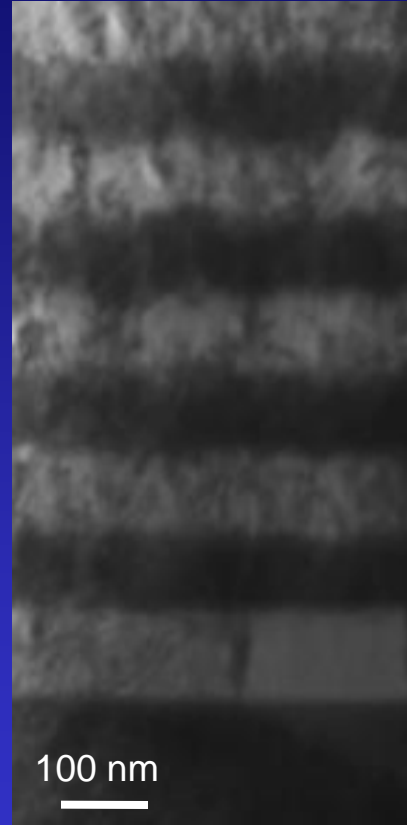
# Režimi rotacije pri nanašanju večplastnih prevlek

komora za nanašanje

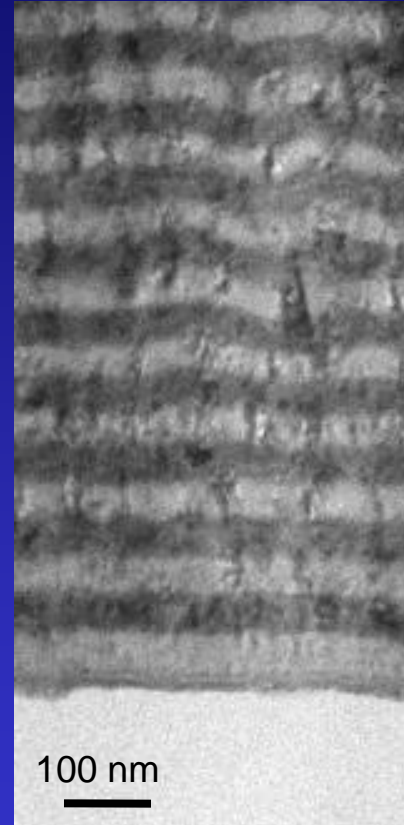


prečni prerez

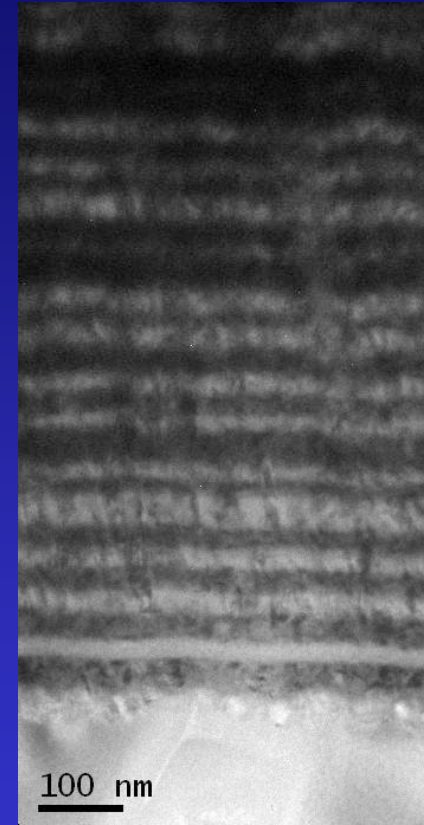
enojna rotacija



dvojna rotacija

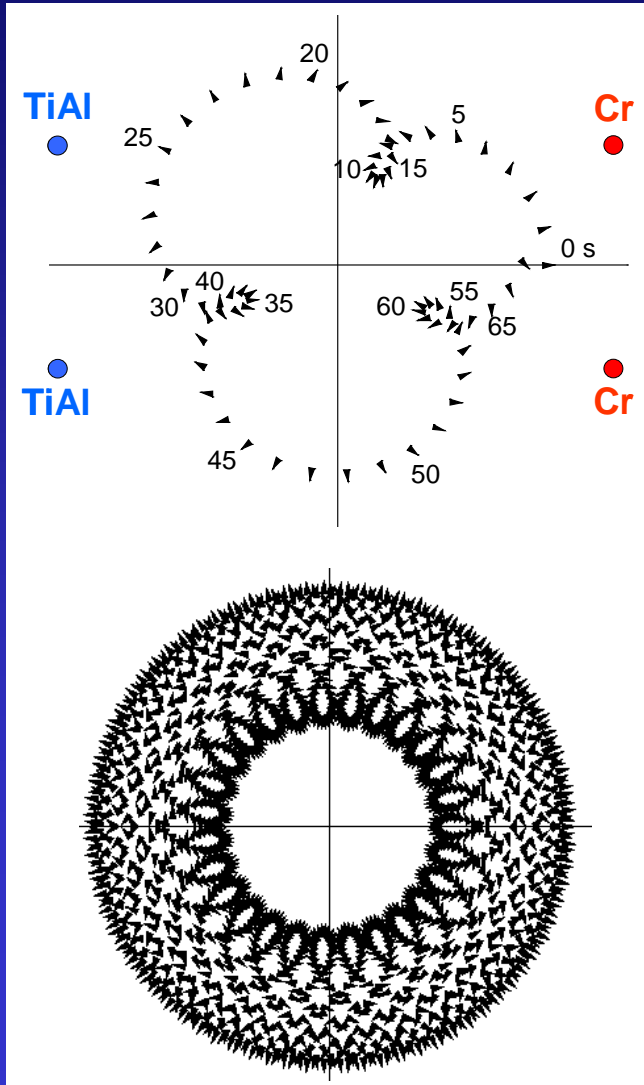


trojna rotacija



# Režimi rotacije pri nanašanju večplastnih prevlek

simulacija rotacije



nm

2500

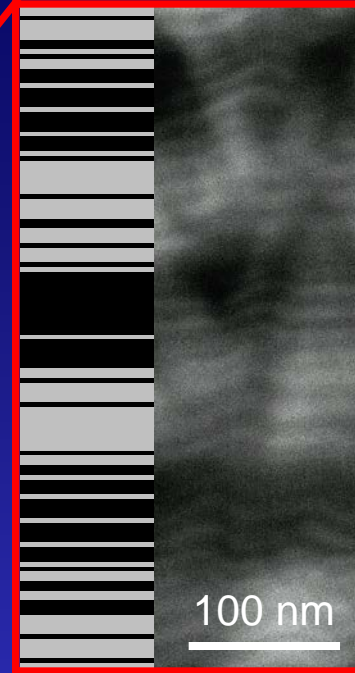
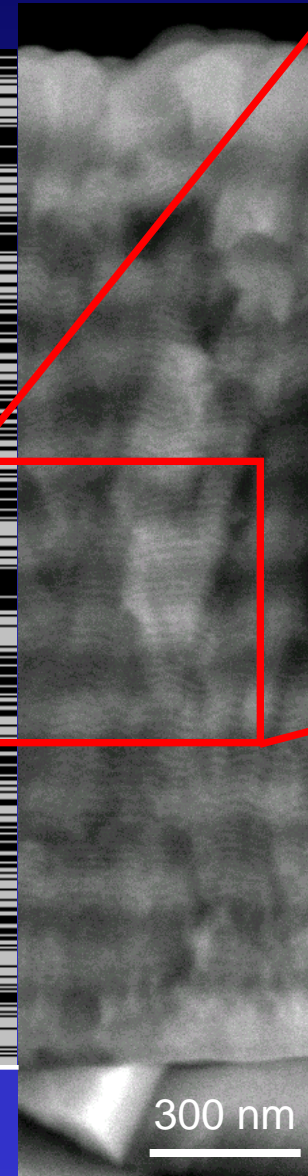
2000

1500

1000

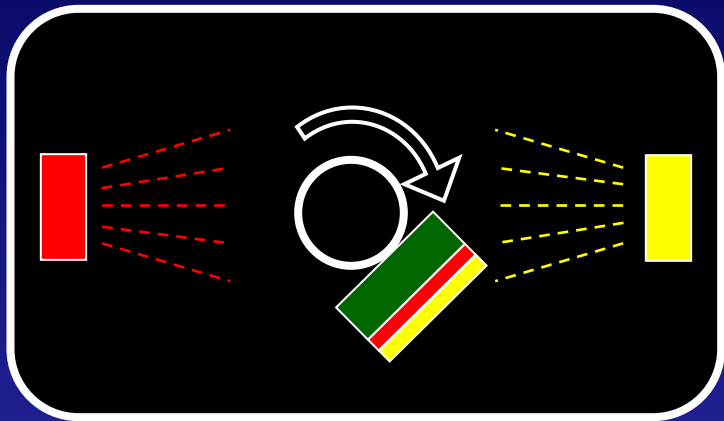
500

0



300 nm

# Nanašanje kompozitnih prevlek



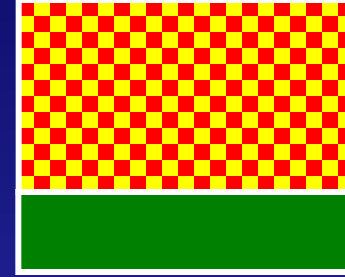
možne strukture



enoplastna  
prevleka



večplastna  
prevleka



kompozitna  
prevleka

## Pogoji za nastanek nanokompozitne prevleke

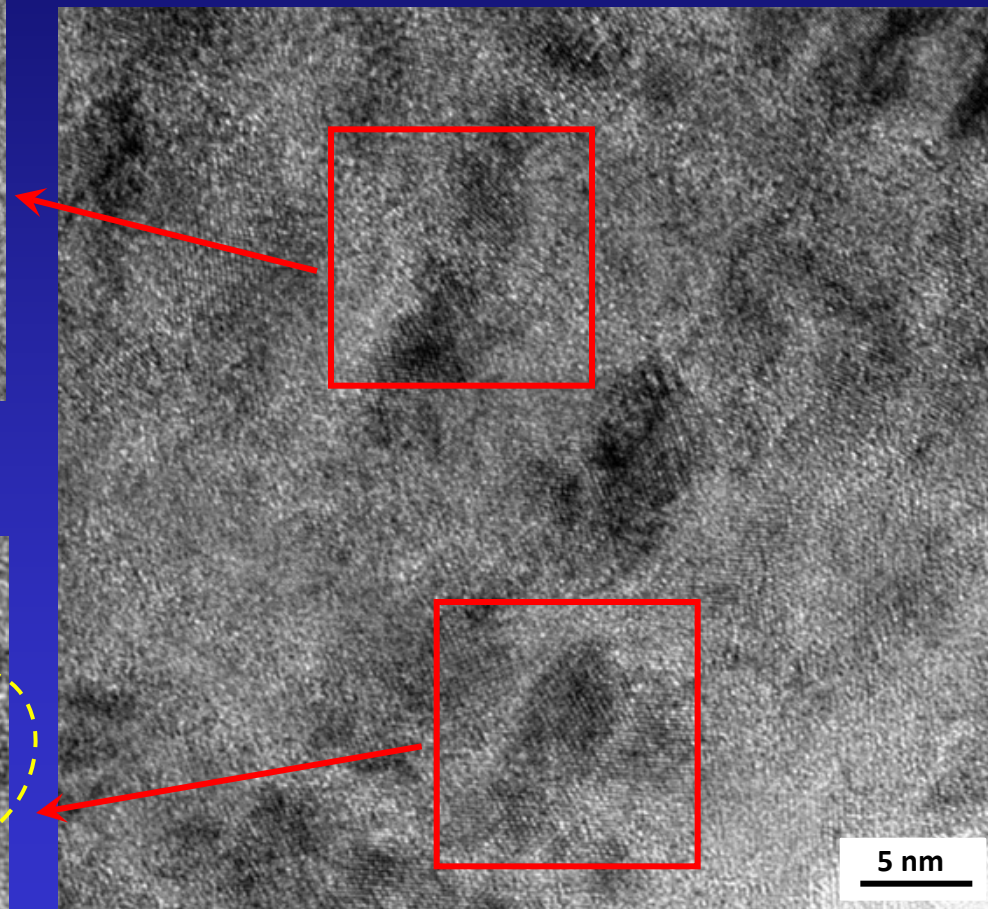
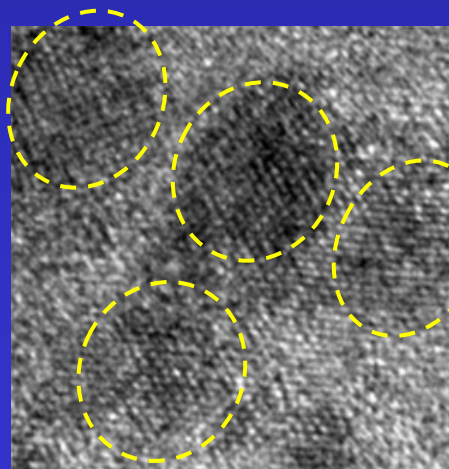
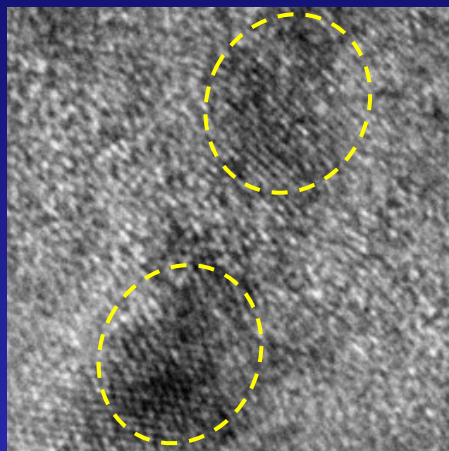
intrinzične lastnosti: - vsaj ena faza mora imeti visoko trdoto  
- kemijska inertnost

segregacija: - fazi med sabo ne smeta biti topni  
- ustrezni pogoji za difuzijo

strukturna intergiteta: - visoka kohezija na fazni meji  
- fleksibilnost sekundarne faze

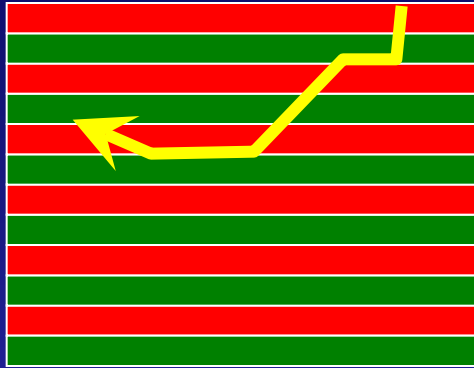
# Struktura nanokompozitne prevleke

sočasno nanašanje Ti in Si v atmosferi  $N_2$



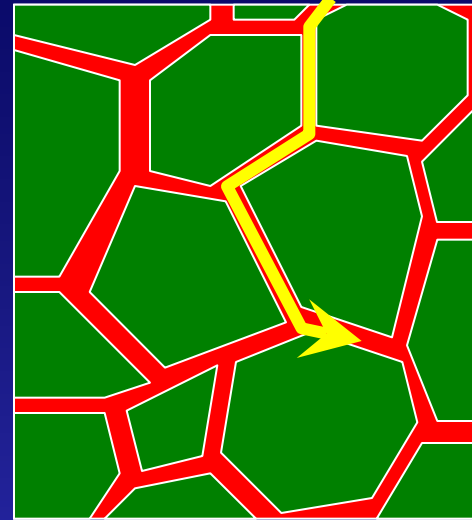
# Značilnosti nanostrukturnih prevlek

## Ovirano širjenje mikrorazpok

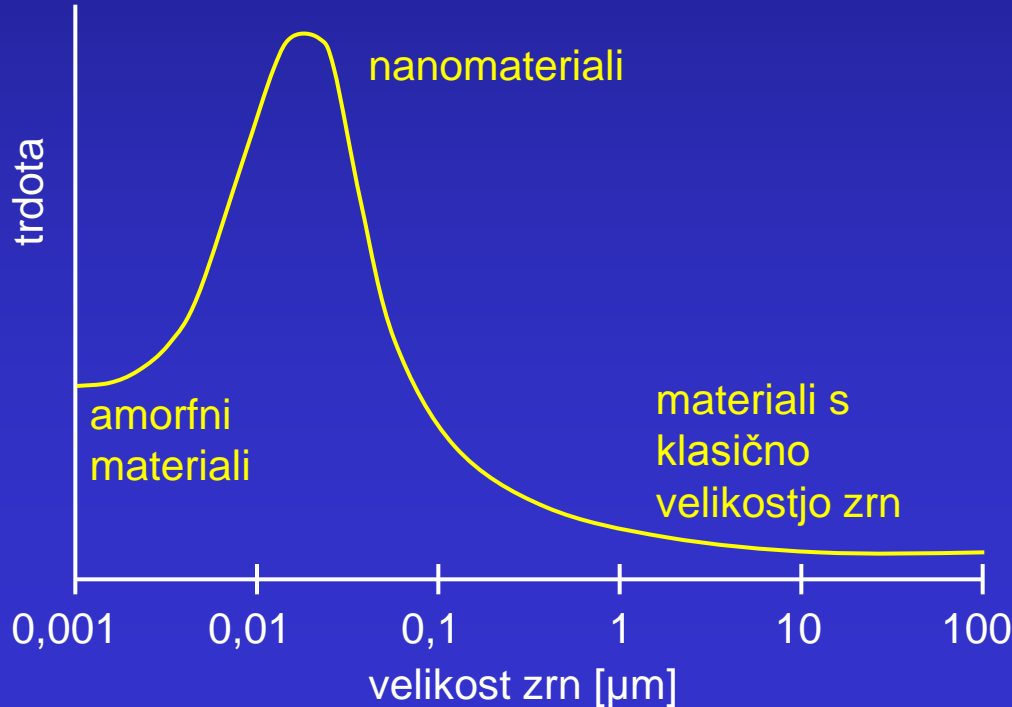


zrna TiN

»plasti«  $\alpha$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$



## Utrjevanje



Primer:

TiN: 2100 HV

NbN: 1400 HV

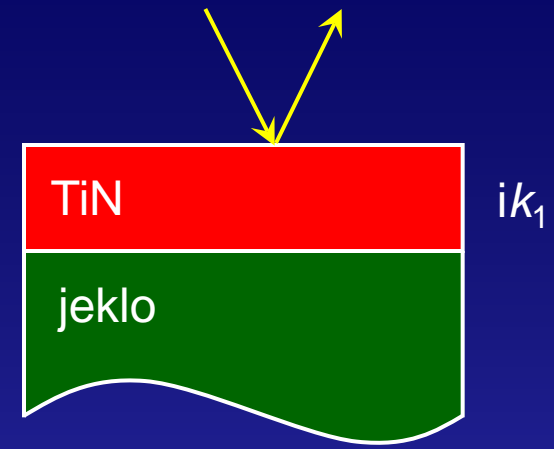
TiN/NbN: 5200 HV



# Barvne prevleke

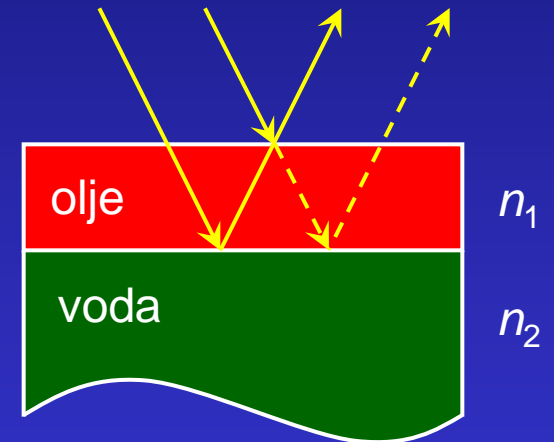
## Intrinzična barva

- Odvisna le od optičnih lastnosti prevleke
- Neodvisna od smeri pogleda
- Lahko le v manjši meri spreminjamo s kemijsko sestavo



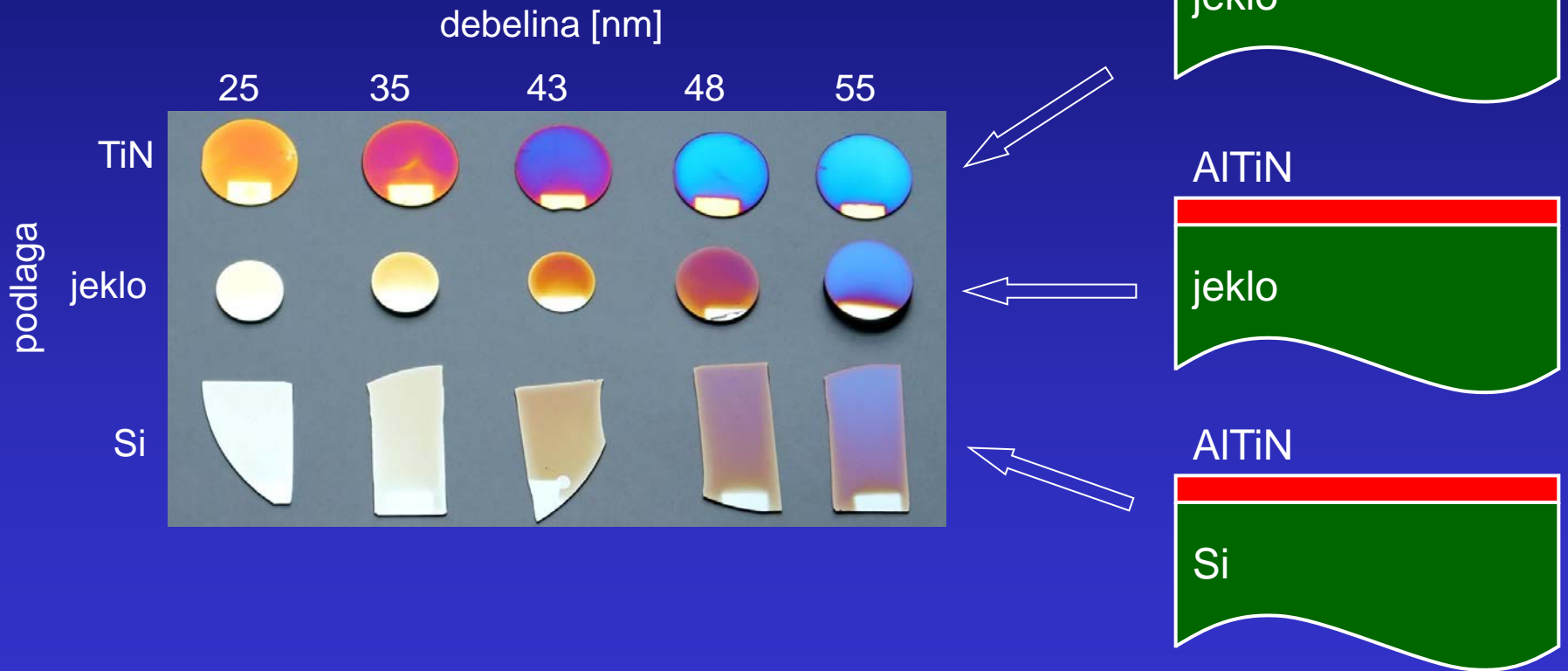
## Interferenčna barva

- Odvisna od optičnih lastnosti prevleke in podlage
- Odvisna tudi od debeline prevleke
- Velika kotna odvisnost (prelivanje barv)



# Barvne prevleke

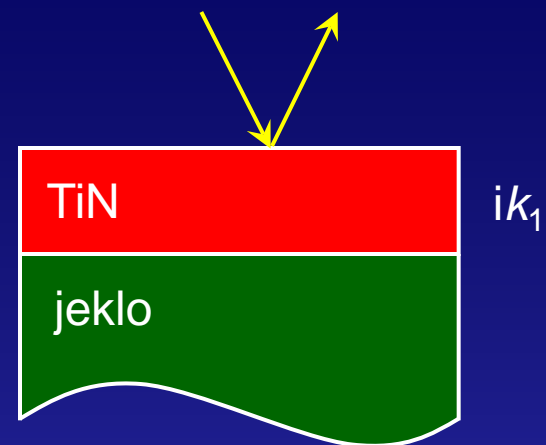
## Nanos zelo tanke plasti AlTiN



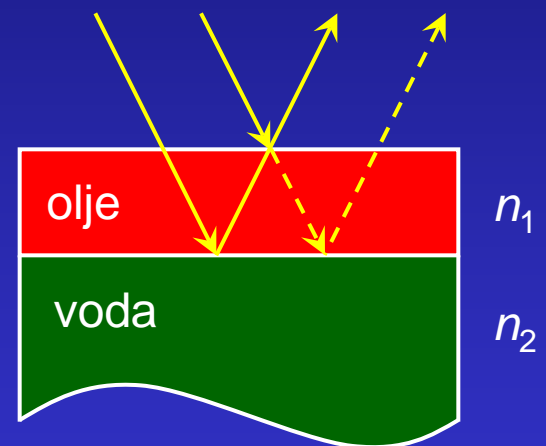
# Barvne prevleke

Razlaga nastanka barve:  
kombinacija absorpcije  
in interference 1. reda

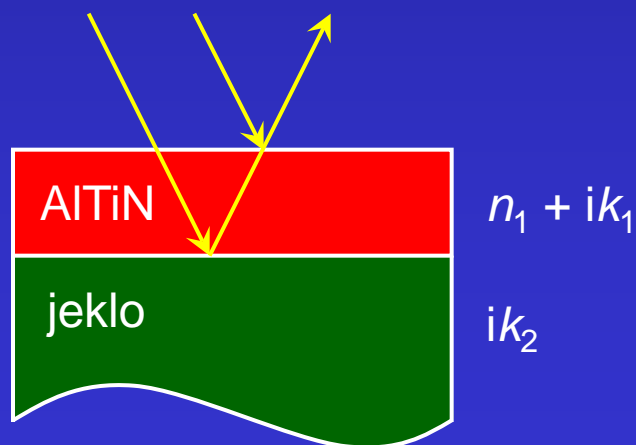
## Intrinzična barva



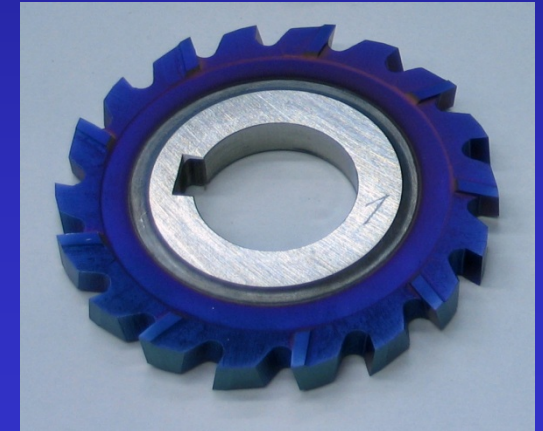
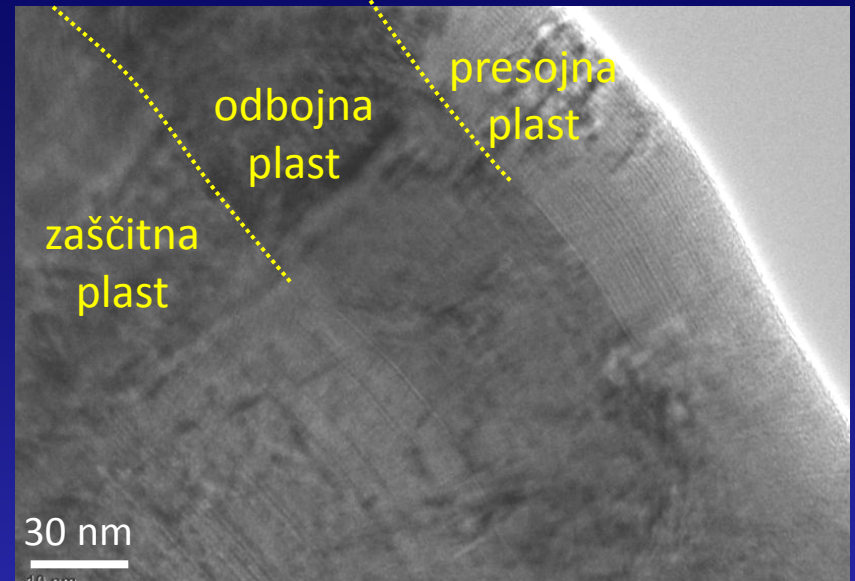
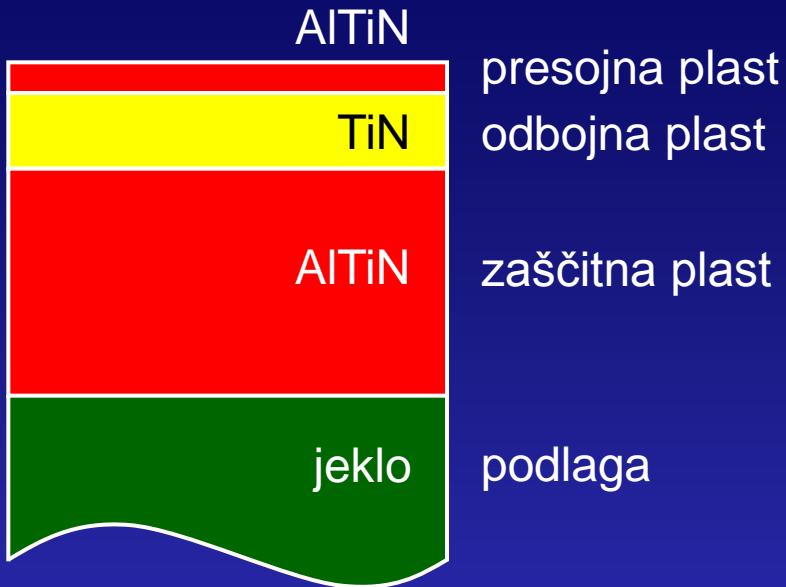
## Interferenčna barva



## Kombinacija

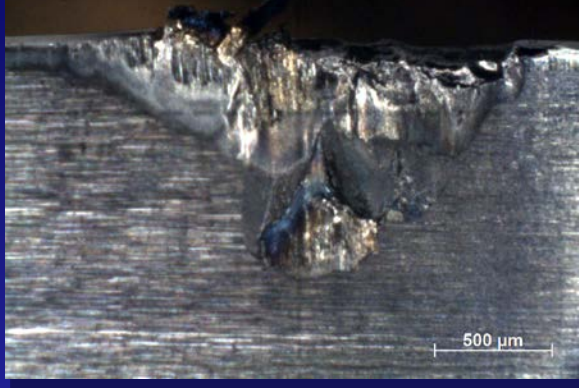


# Barvne prevleke: aplikacija

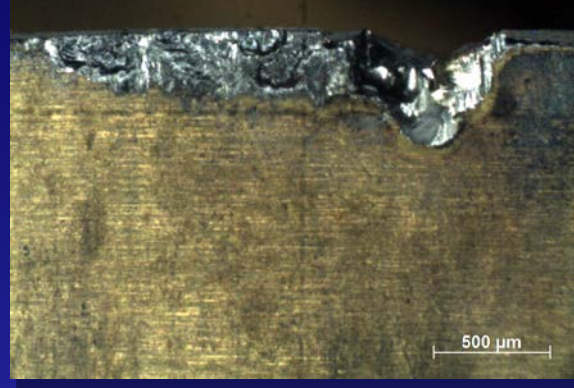


# Uporaba nanostrukturnih prevlek

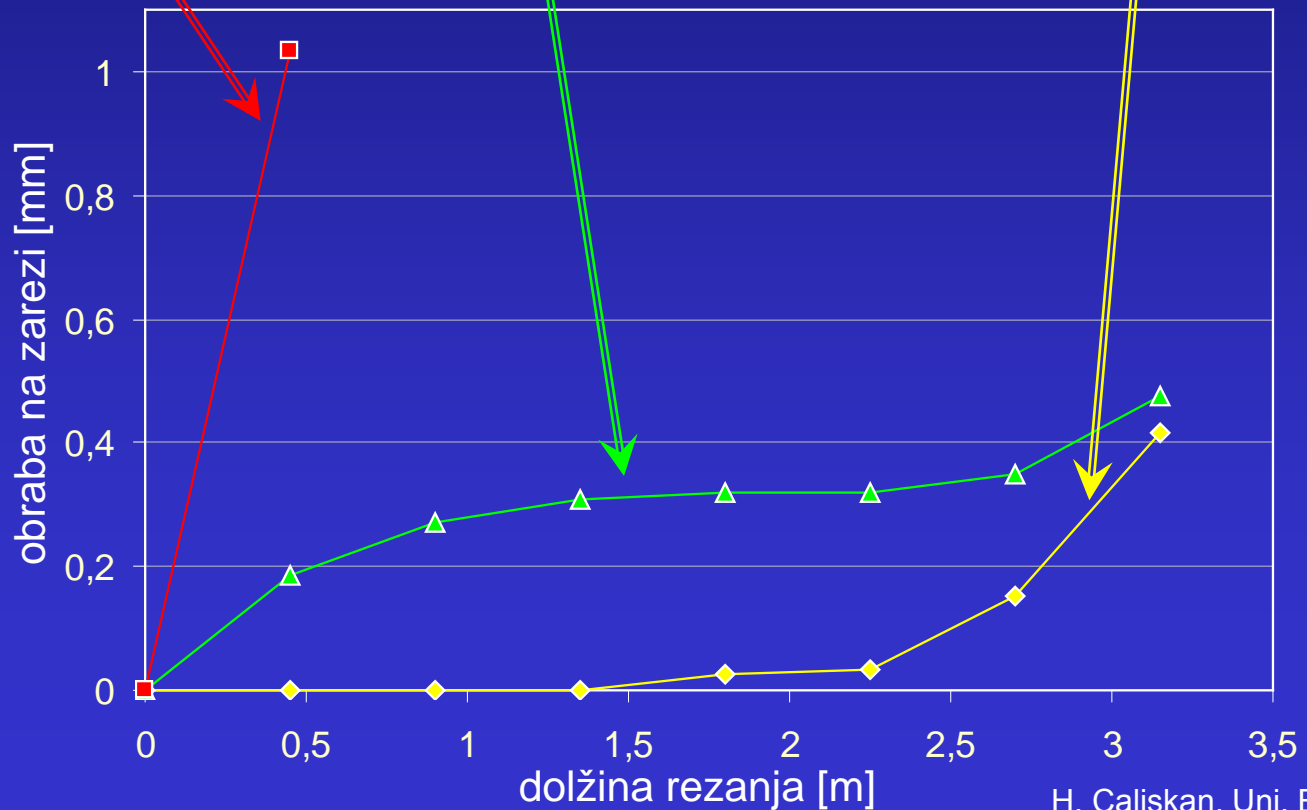
golo orodje



standardni TiAlN



nanokompozit TiAlSiN



frezanje  
AISI O2 (1.2842)  
58 HRC  
suho  
HM rezalne ploščice

# Uporaba nanostrukturnih prevlek

## Kriteriji za izbiro ustrezne prevleke

vrsta obdelave:	odrezovanje, preoblikovanje, brizganje plastike
način obdelave:	z/brez prekinitev, z/brez mazanja
vrsta obdelovanca:	njegova trdota, nagnjenost k sprejemanju
vrsta orodnega materiala:	hitrorezno jeklo, karbidna trdina, kermet
geometrija orodja	

## Poenostavljeno priporočilo za rezalne postopke

<55 HRC:  
standardni TiAlN



<62 HRC:  
nanoplastni AlTiN

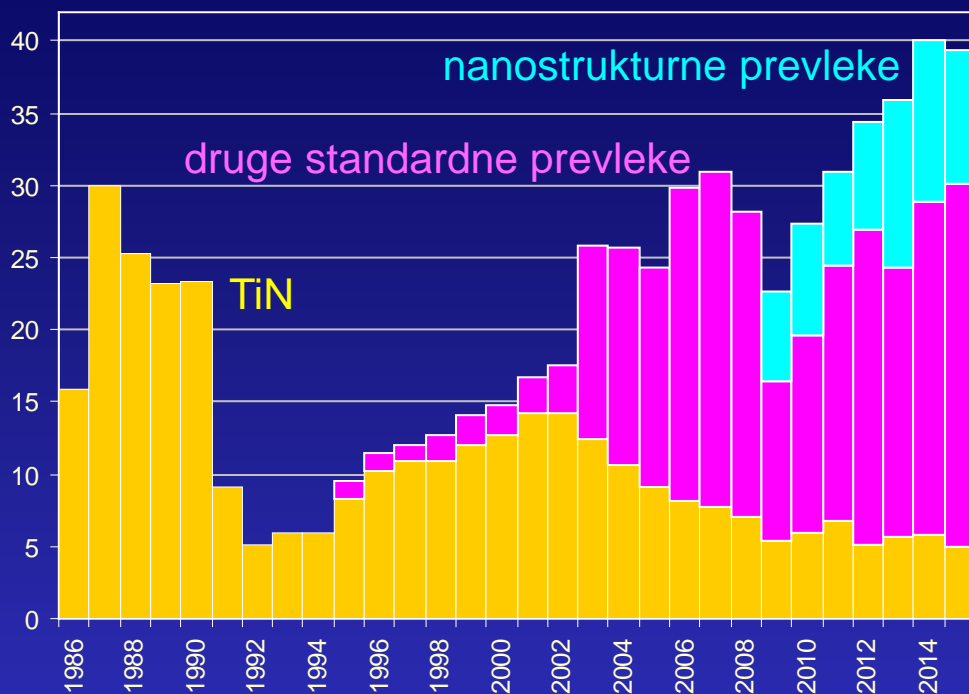


<70 HRC:  
nanokompozitni TiAlSiN



Končno besedo pa ima preskus v proizvodnji!

# Uporaba nanostrukturnih prevlek



Nanašanje prevlek za industrijo:  
absolutno / deleži

Zakaj delež nanostrukturnih prevlek  
ne raste?

- cena
- uveljavljene standardne prevleke
- premalo specifičnih potreb

