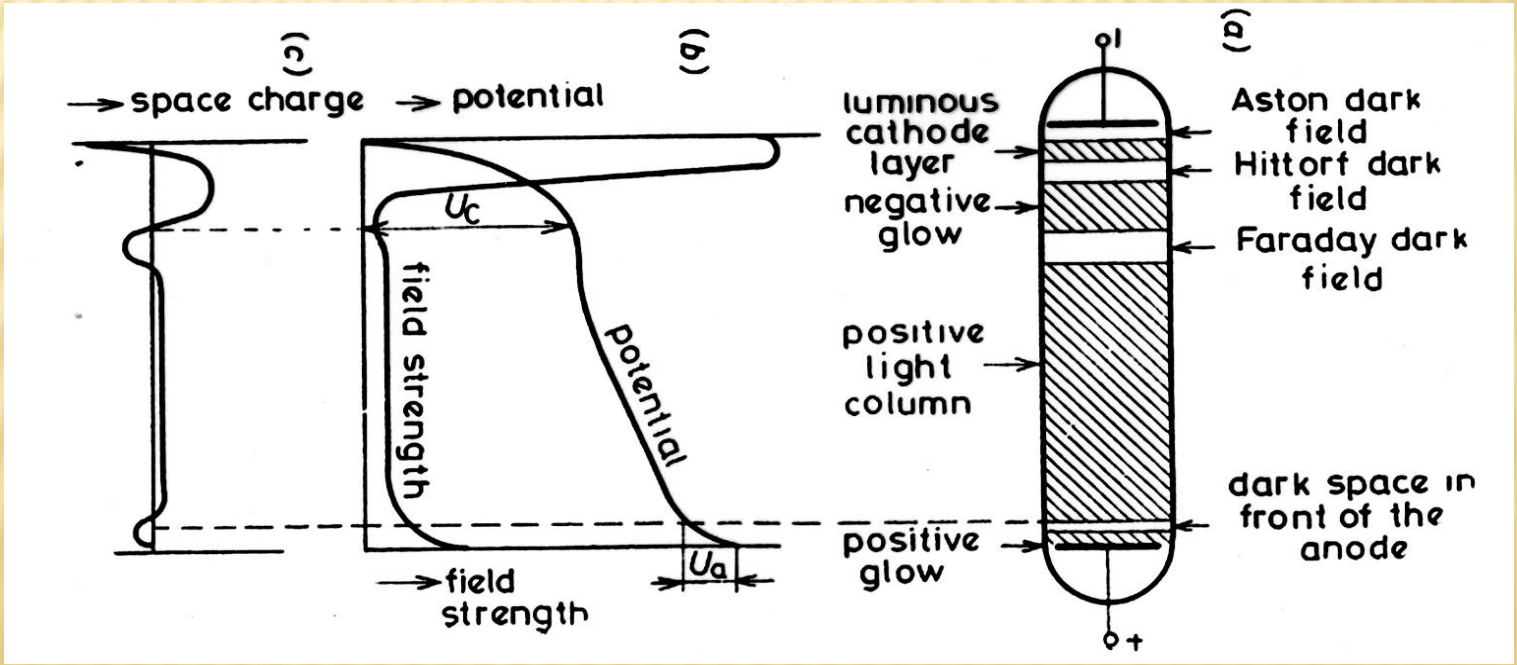
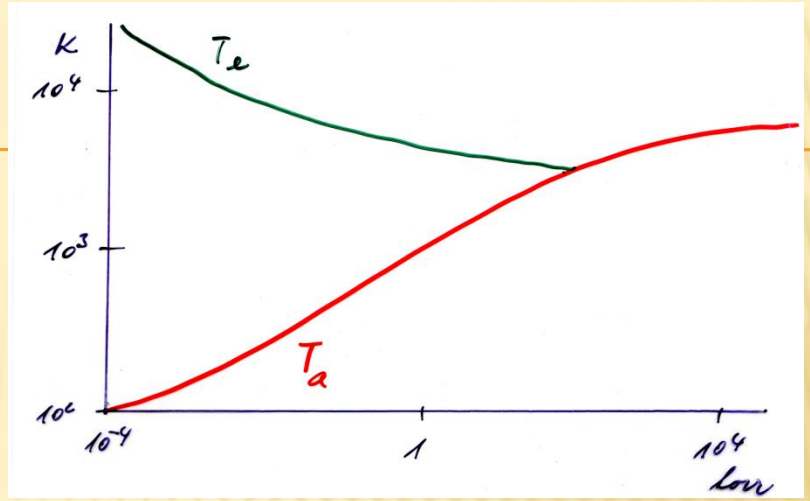
Vítězslav Otruba

GRIMMOVA VÝBOJKA (GD-OES; GD-MS)

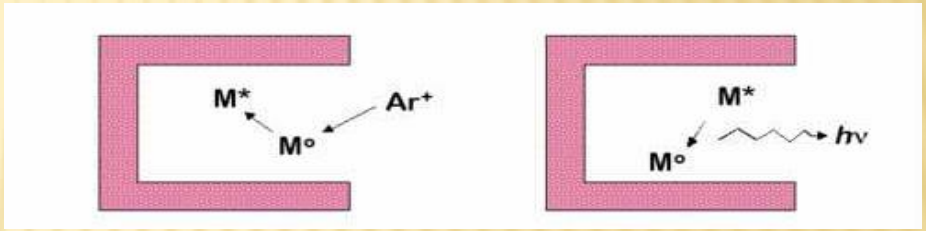
Doutnavý výboj je samostatný výboj se studenou katodou. V katodovém prostoru probíhají elementární procesy, ve kterých vznikají nosiče náboje především iontovým impaktem a fotoemisí. Tepelná ionizace se neuplatňuje. Tlak plynu 10 Pa – 10 kPa, teplota elektronů desítky tisíc Kelvina, atomů nízká.
Katodový prostor – největší úbytek potenciálu. Astonův tmavý prostor – malá energie elektronů, nedochází k excitaci. Katodová svítící vrstva – spektrum je dáno plynovou náplní a materiálem elektrod, katodicky rozprašovaném do výboje – analytické aplikace.
Kladný sloupec – malý a konstantní potenciálový spád – především analýza plynů.

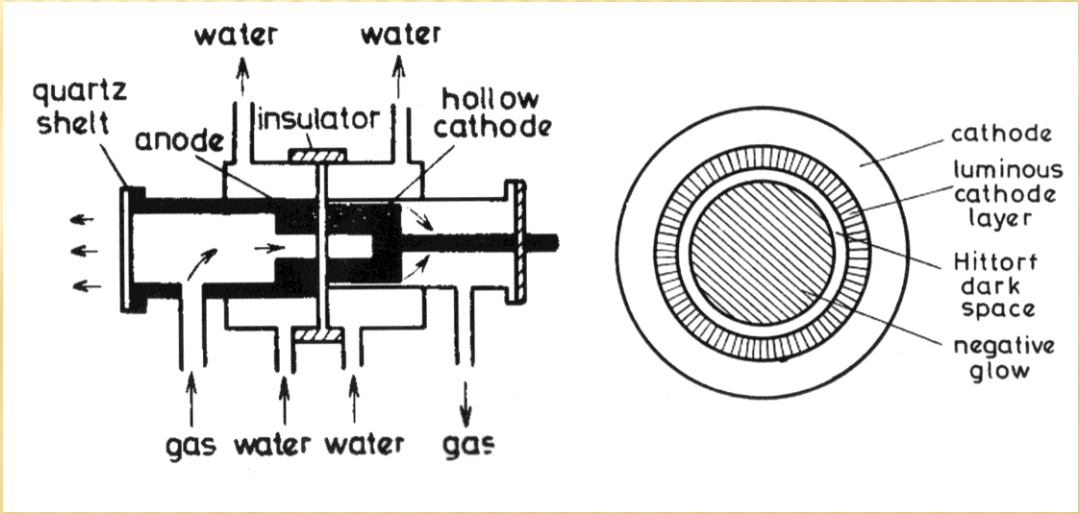


DUTÁ KATODA



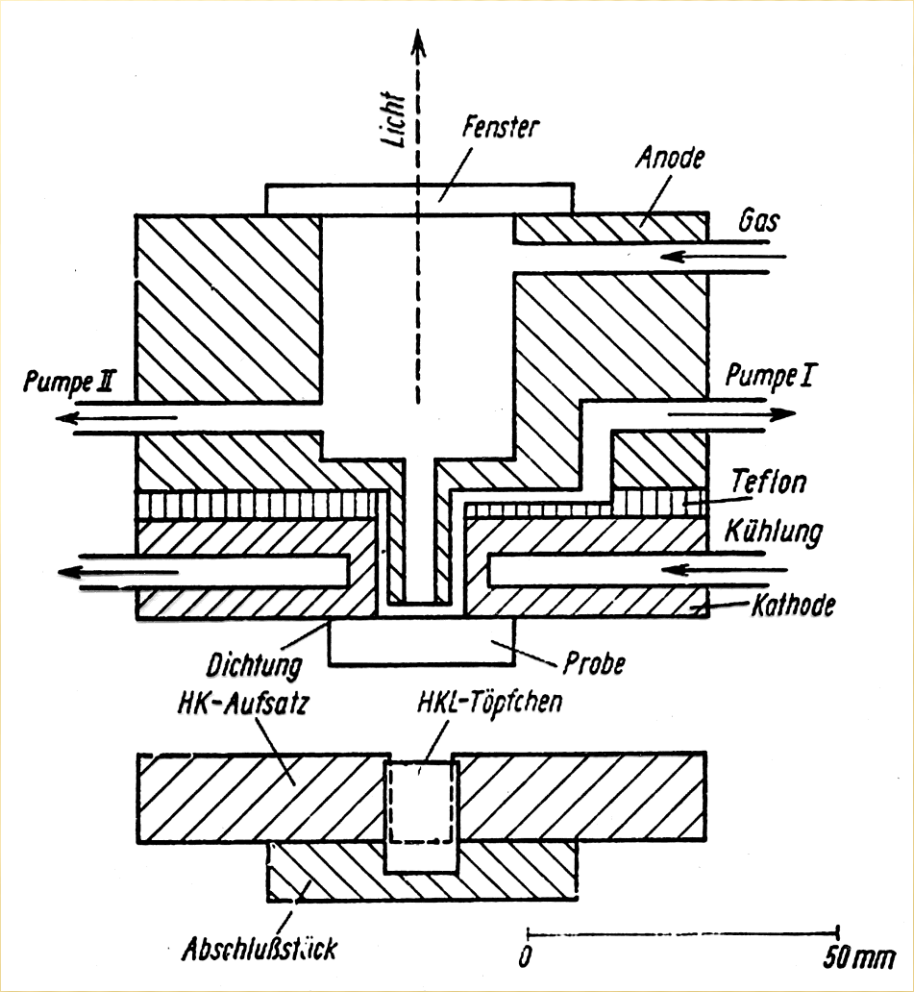
Provozní napětí 200 - 1000V
napájení ze zdroje konstantního proudu (záporná odpor výboje – se zvyšujícím se proudem klesá napětí výboje!)
Provozní proud 1- 50 mA (chladná katoda), do 1A při horké duté katodě, kdy se mimo odprašování uplatní odpařování materiálu.
Aplikace: Vyšší koncentrace (0,1 – 10 ppm), excitace i P, S, F…
Př.: stanovení F v UO_2
Pouze chladná dutá katoda: jemná struktura čar (chlazení N_2 liq.), izotopové složení.
Horká dutá katoda (do 2000°C) obsahy 0,01 – 1 ppm





DUTÁ KATODA + GRIMMOVA VÝBOJKA

- Konstrukce pro provozní analýzu v duté katodě i Grimmově výbojce
- Provozní podmínky:
  - I = 10 – 1000 mA
  - U ≅ 1000 V
  - p = 50 – 1000 Pa
  - pracovní plyn Ar, He, Ne
- průměr anody 5 – 12 mm
- vzdálenost anoda – katoda ≈ 0,2 – 0,8 mm

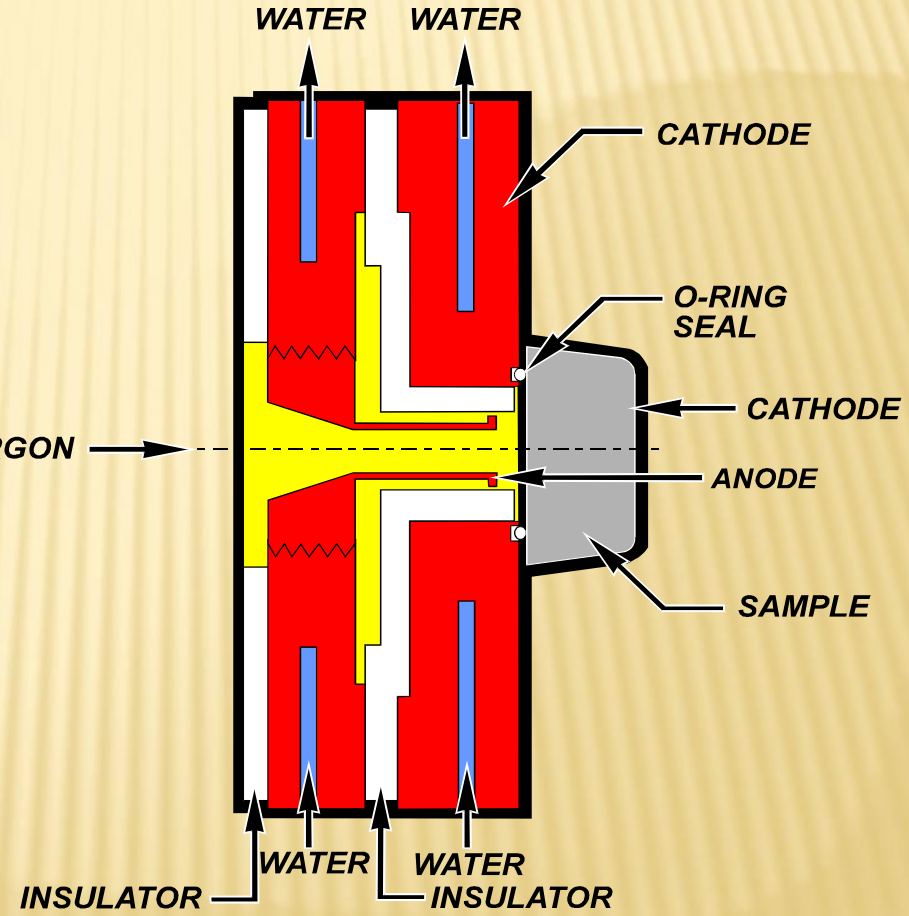


CO JE GD-OES (GRIMMŮV VÝBOJ)

- Optická emisní spektrometrie s buzením v doutnavém výboji, "GD-OES" je zkratka z anglického označení Glow Discharge Optical Emission Spectrometry
- Je jedna z nejvýznamnějších metod pro analýzu chemického složení kovových materiálů
- Je možné ji použít pro prvkovou analýzu např. nitridů, karbidů, oxidů, s použitím vysokofrekvenčního doutnavého výboje i pro analýzu nevodivých látek
- Mimo analýzy objemového složení homogenních vzorků ("bulk"), umožňuje i analýzu hloubkových koncentračních profilů různých povlaků, tenkovrstvých struktur a povrchově modifikovaných materiálů (QDP, z anglického "Quantitative Depth Profiling").

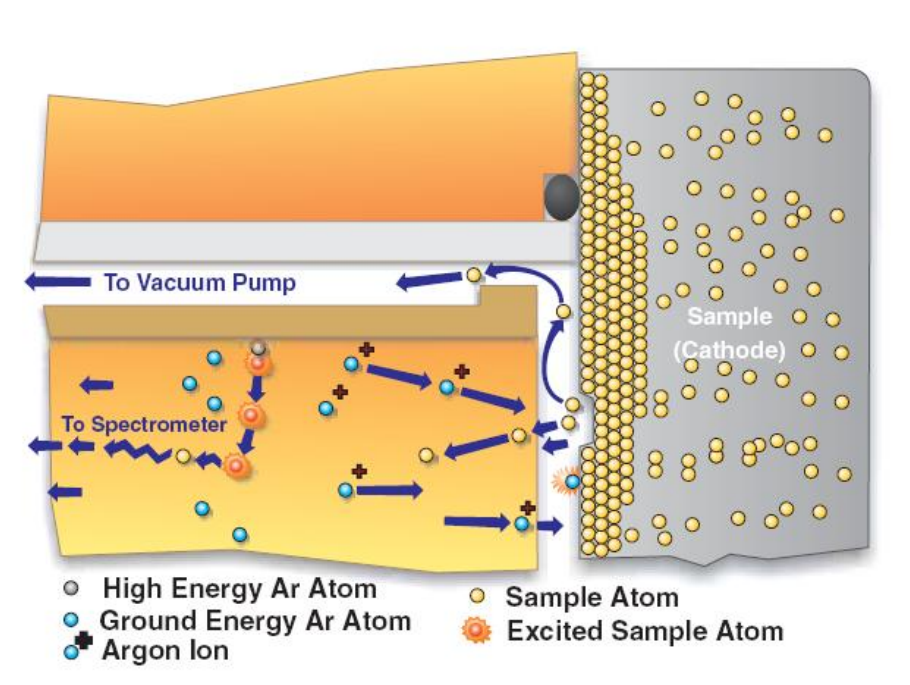
GRIMMOVA VÝBOJKA

- vzorek se umístí do excitačního zdroje tak, že je vodivě spojen s katodou a zároveň odděluje vnitřní prostor výbojky od atmosféry
- pracovní tlak plynu (Ar) je v řádu stovek Pa
- pracovní napětí typicky 700-1200 V, proud 0,2-0,4 A/cm^2
- v dutině anody vznikne doutnavý výboj, ve kterém analyzovaný vzorek plní funkci katody



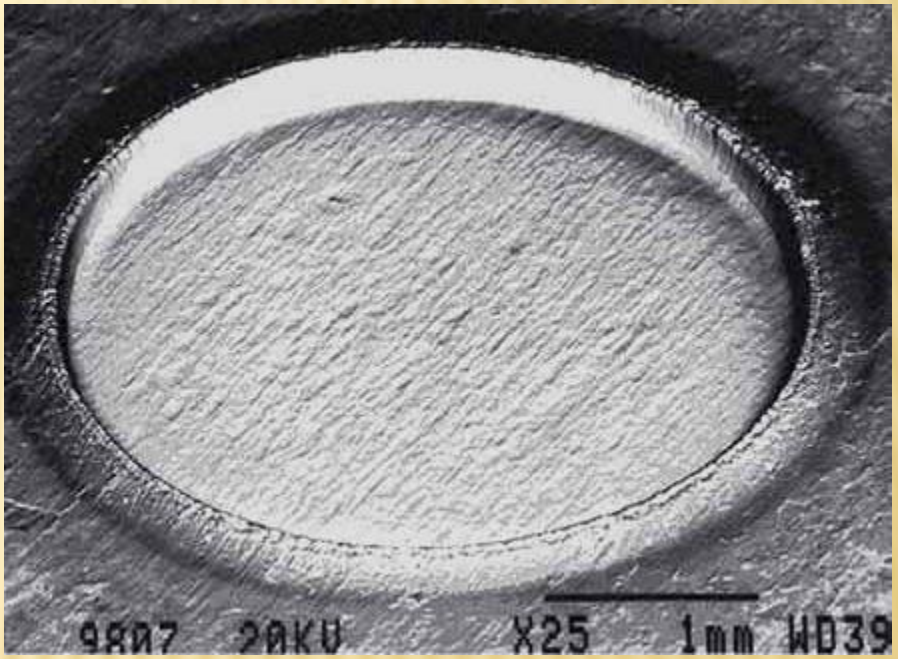
ELEMENTÁRNÍ POCHODY

- ionty argonu z plazmatu jsou urychlovány elektrickým polem k povrchu vzorku a vyrážejí atomy vázané v krystalové mřížce vzorku.
- atomy se dostávají do oblasti plazmatu s velkou koncentrací volných elektronů, zde jsou ve srážkách s elektrony excitovány a při deexcitaci emitují atomové spektrum prvků přítomných ve vzorku.



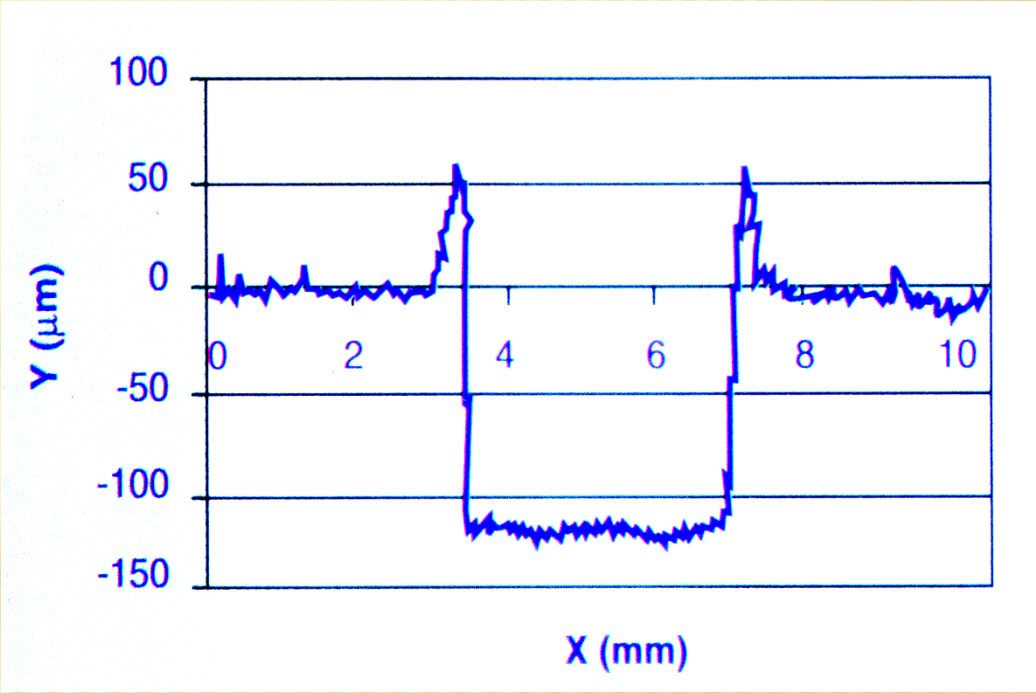
ANALYTICKÁ STOPA DOUTNAVÉHO VÝBOJE

- Snímek dokumentuje rovnoměrnost odběru vzorku. Buzení poskytuje reprezentativní plochu nutnou na provedení správné a přesné objemové či profilové analýzy.
- Grimmova výbojka umožňuje proces katodového odprašování s možností řízení elektrického napětí, proudu a tlaku argonu na povrchu vzorku.
- Snížení interference jednotlivých čar vede k lineární závislosti kalibračních křivek.
- Vyšší přesnost a nižší spotřeba kalibračních standardů ve srovnání s jiskrou jsou přednostmi GDS.



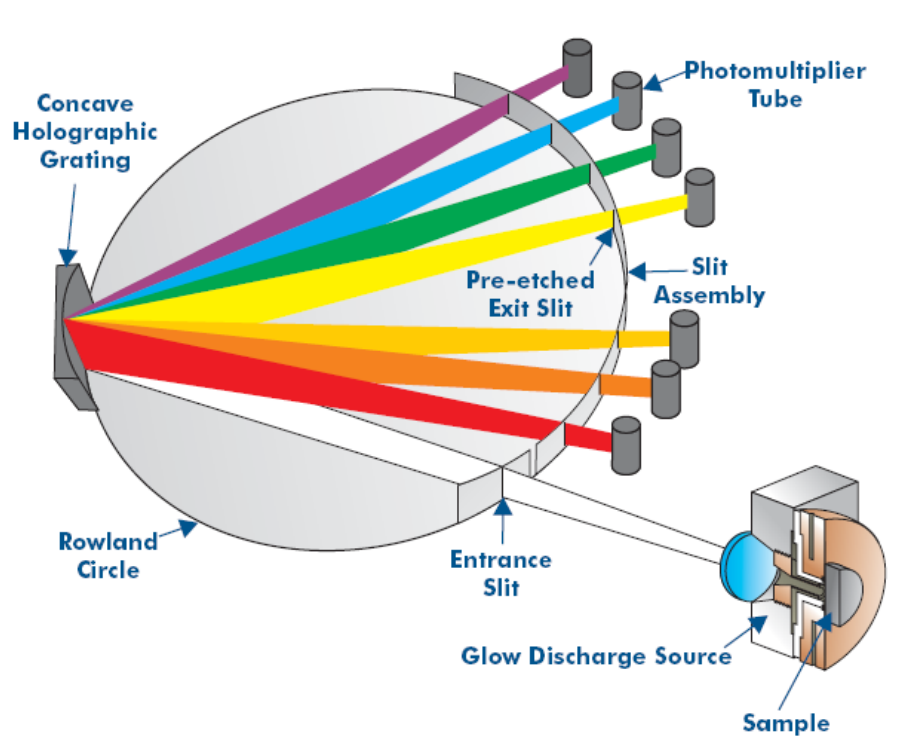
PROFIL KRÁTERU

- Typický profil kráteru, materiál zinek na oceli, výbojka JY RF-BOSS-DVS pro minimalizaci redepozice materiálu na hranách kráteru. Rovinnost dna kráteru je kritická pro měření hloubkových profilů.



SPEKTROMETR GD-OES

- Popsaný způsob atomizace vzorku se nazývá *katodové rozprašování (sputtering)*, kde povrchové vrstvy vzorku jsou odbourávány postupně. Registrujeme-li tedy signál na jednotlivých detektorech jako funkci času, dostáváme informaci o rozložení příslušného prvku v závislosti na hloubce pod povrchem.
- Lze tedy změřit hloubkový koncentrační profil všech prvků přítomných ve vzorku. Typické rozprašovací rychlosti jsou v řádu několika mikrometrů za minutu



VÝHODY DOUTNAVÉHO VÝBOJE

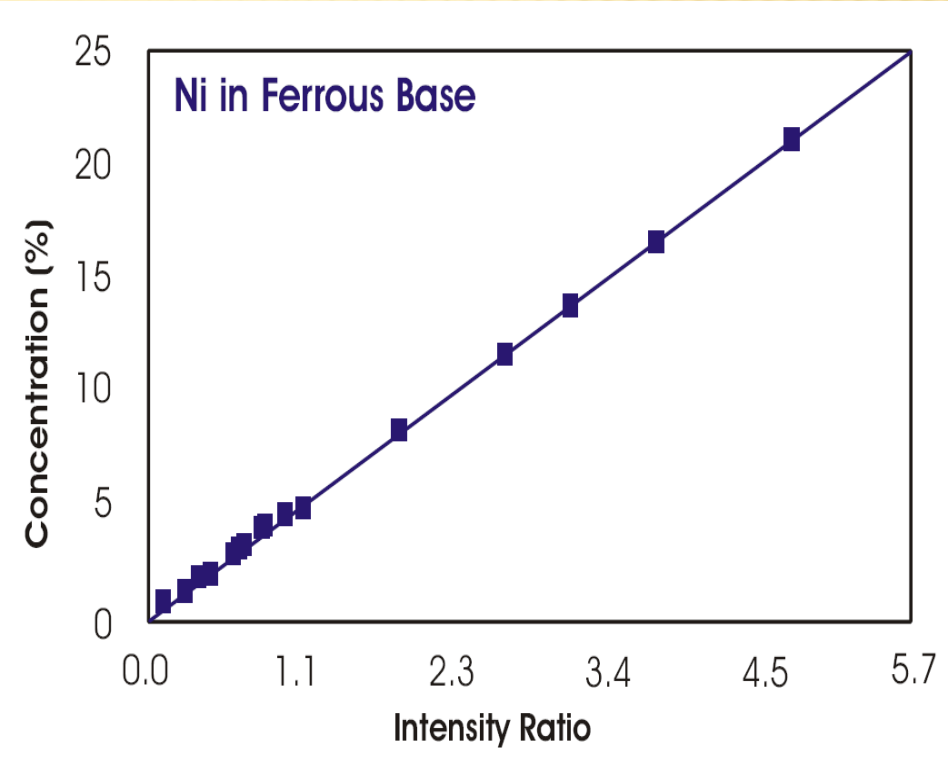
- Oddělení odprašování a buzení vzorku
- Lineární kalibrační křivky s širokým dynamickým rozsahem
- Malá samoabsorbce a redepozice materiálu
- Většina energie je využita na výhradní buzení atomárních čar
- Snížení interferencí díky úzkým a přesně definovaným čarám
- Nezávislost na metalurgické historii
- Méně standardů na kalibrace
- Minimální paměťový efekt umožňující rychlý přechod na jinou matrici
- Nízká spotřeba argonu (cca 1 litr na analýzu)

OBJEMOVÁ ANALÝZA (BULK)

- GDS může analyzovat tenké plechy, špony, lisované práškové materiály apod. U drátů je možná analýza již od průměru 0,3 mm.
- Při použití chlazení lze analyzovat plechy již od tloušťky 0,05mm.
- Vysoká přesnost stanovení makrosložek i stopových obsahů (0,001-100%), RSD až 0,2% pro makrosložky.

OBJEMOVÁ ANALÝZA (BULK)

- Nízkolegované až vysokolegované oceli
- Litiny (bílá a šedá litina)
- Hliník a jeho slitiny i s vysokým obsahem křemíku
- Zinek a slitiny zinku
- Měď a slitiny mědi (bronzy a mosazi)
- Niklové slitiny a slitiny kobaltu
- Slitiny nízkotavitelných kovů, pájky (Pb, Zn)
- Titan a slitiny titanu
- Wolfram
- Hořčík a jeho slitiny
- Slinuté karbidy, prášková metalurgie



OBJEMOVÁ ANALÝZA

MOSAZ

Číslo měření	Cu %	Zn %
1	63,96	36,05
2	63,89	36,10
3	63,88	36,11
4	64,01	35,98
5	63,98	36,01
obsah	63,93	36,06
RSD	0,062%	0,061%
variační koef.	0,10%	0,17%

TITANOVÉ SLITINY

analyt	obsah %	korel. koef.
Al	~ 0,3 – 6,8	0,999 74
V	~ 0,1 – 5,6	0,999 98
Mo	~ 0,2 – 4,0	0,999 99
Sn	~ 0,1 – 2,1	0,999 30
Fe	~ 0,05 – 0,4	0,999 38
Cu	~ 0,05 – 0,4	

OBJEMOVÁ ANALÝZA OCELI Ni-Cr-Co

Ni-30Cr-13W-9Co #LO 1940

	Cr	Al	C	Fe	Mo	Co	Nb	W	Cu	Mn	Si
Avg (%)	29.33	0.023	2.15	6.01	0.053	8.85	N/A	13.20	0.11	0.33	0.53
Std Dev	0.15	0.0004	0.015	0.11	0.0093	0.065	—	0.071	0.0016	0.0021	0.0085
RSD (%)	0.50	1.62	0.72	1.84	18	0.73	—	0.54	1.36	0.63	0.61

Ni-30Fe-23Cr-9Co #LO 2518

	Cr	Al	C	Fe	Mo	Co	Nb	W	Cu	Mn	Si
Avg (%)	22.85	0.011	0.16	29.49	0.016	9.38	0.009	N/A	0.027	0.84	0.84
Std Dev	0,046	0.0005	0.0020	0.056	0.00042	0.029	0.0014	—	0.0004	0.0060	0.0060
RSD (%)	0.20	4.75	1.25	0.19	2.60	0.31	14	—	1.37	0.72	0.72

IN-713C #LO 2569

	Cr	Al	C	Fe	Mo	Co	Nb	W	Cu	Mn	Si
Avg (%)	12.22	5.78	0.033	1.24	4.35	0.091	2.08	N/A	0.0051	0.036	0.42
Std Dev	0.018	0.016	0.0005	0.0068	0.0038	0.0009	0.022	—	0.0001	0.0008	68
RSD (%)	0.14	0.28	1.48	0.55	0.09	0.96	1.04	—	2.76	2.11	1.62

98% Ni #LO 706

	Cr	Al	C	Fe	Mo	Co	Nb	W	Cu	Mn	Si
Avg (%)	0.0055	N/A	0.41	0.56	0.0014	0.52	N/A	N/A	0.42	0.031	0.15
Std Dev	0.00005	—	0.0069	0.0033	0.00012	0.010	—	—	0.00078	0.00006	0.0020
RSD (%)	1.1	—	1.7	0.60	8.4	2.0	—	—	0.19	0.20	1.3

#5 Sample 6 960054

	Cr	Al	C	Fe	Mo	Co	Nb	W	Cu	Mn	Si
Avg (%)	9.56	0.022	0.38	2.26	N/A	N/A	N/A	1.46	0.0080	0.029	1.58
Std Dev	0.044	0.00004	0.0043	0.0060	—	—	—	0.010	0.0002	0.0010	0.012
RSD (%)	0.46	0.20	1.13	0.26	—	—	—	0.71	2.23	3.43	0.73

OBJEMOVÁ ANALÝZA

MOSAZ

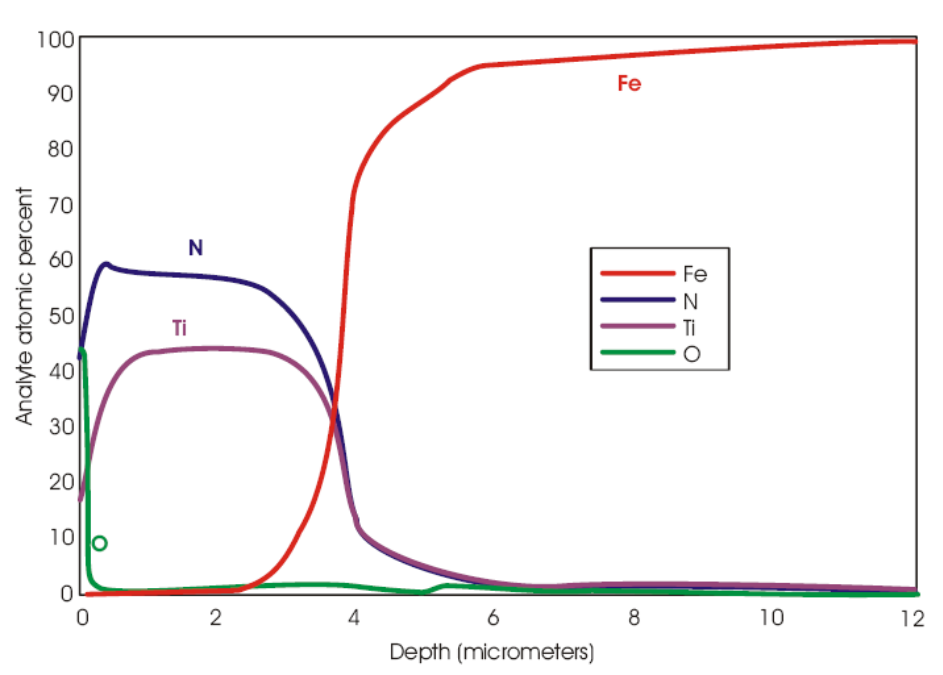
Číslo měření	Cu %	Zn %
1	63,96	36,05
2	63,89	36,10
3	63,88	36,11
4	64,01	35,98
5	63,98	36,01
obsah	63,93	36,06
RSD	0,062%	0,061%
variační koef.	0,10%	0,17%

TITANOVÉ SLITINY

analyt	obsah %	korel. koef.
Al	~ 0,3 – 6,8	0,999 74
V	~ 0,1 – 5,6	0,999 98
Mo	~ 0,2 – 4,0	0,999 99
Sn	~ 0,1 – 2,1	0,999 30
Fe	~ 0,05 – 0,4	0,999 38
Cu	~ 0,05 – 0,4	

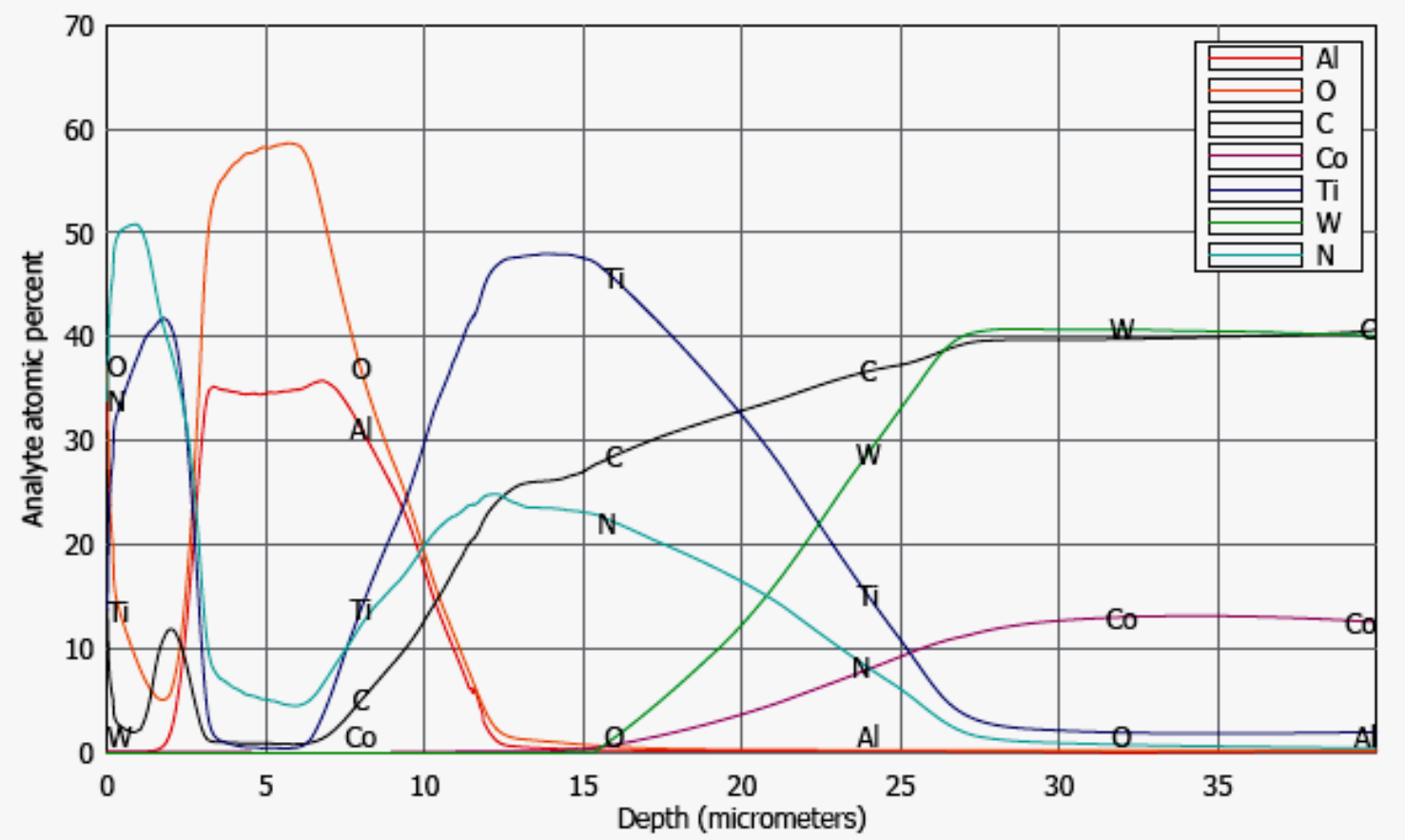
ŘEŠENÍ PROFILOVÉ ANALÝZY (QUANTITATIVE DEPTH PROFILING)

- QDP je ideální metoda na rychlou hloubkovou profilovou analýzu od desítek nanometrů až po stovky mikronů. Společně s vysokou odprašovací rychlostí (0,5 – 30 mikronů/min.) poskytuje GDS během několika minut informace o úplném chemickém složení (ppm-100%) od povrchu vzorku až po jeho substrát. Všechny zastoupené elementy jsou měřeny simultánně během jedné analýzy



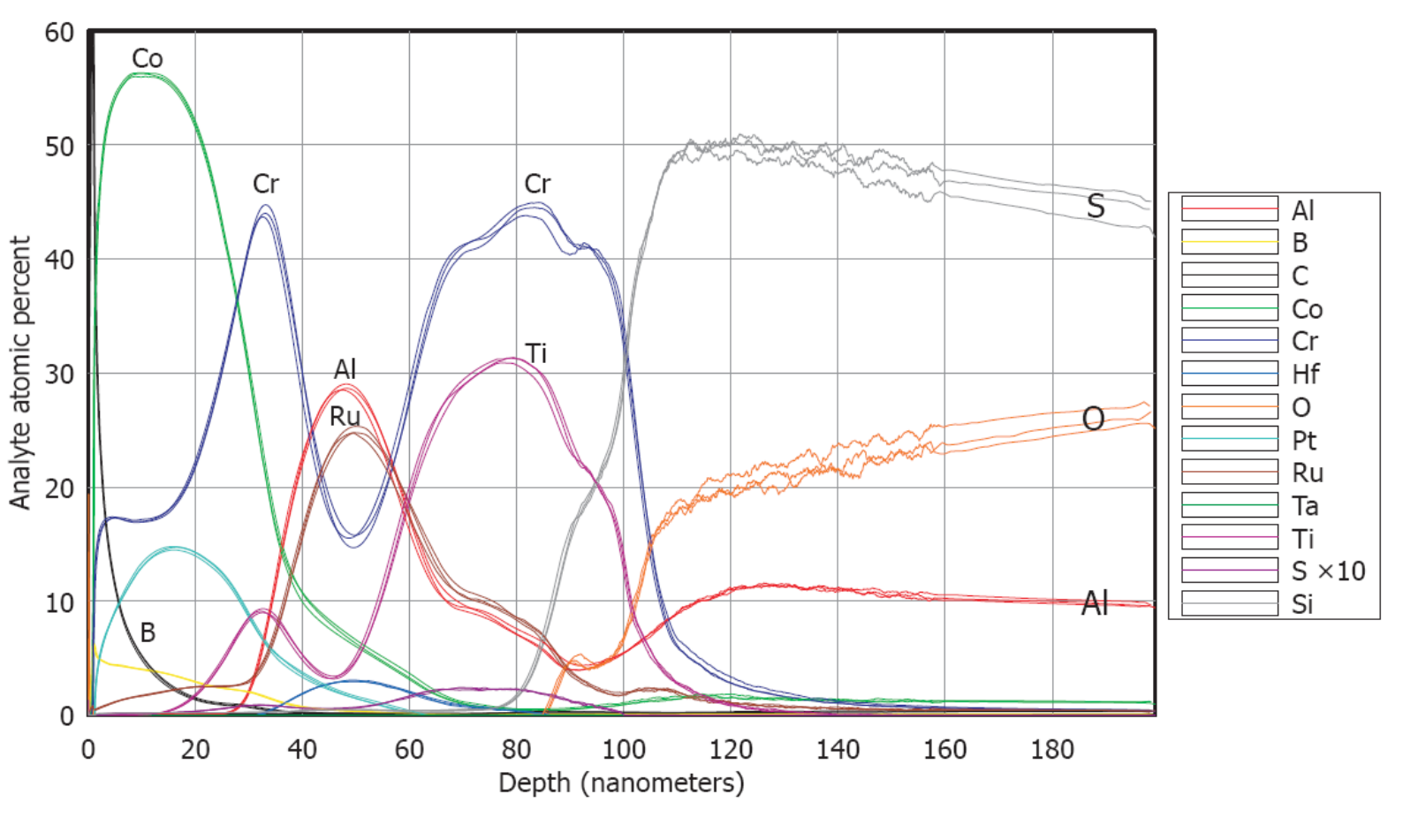
Povlak nitridu titanu na ocelovém substrátu v atomových procentech. QDP analýza kontroluje stechiometrii vrstvy TiN

ANALÝZA VRSTEVNATÝCH POVRCHŮ



QDP analysis of multilayer sample, including conductive and nonconductive layers. Example of TiN, TiCN, Al O , TiN, and TiCN on cemented carbide. Display of Atomic % vs. Depth for stoichiometry check.

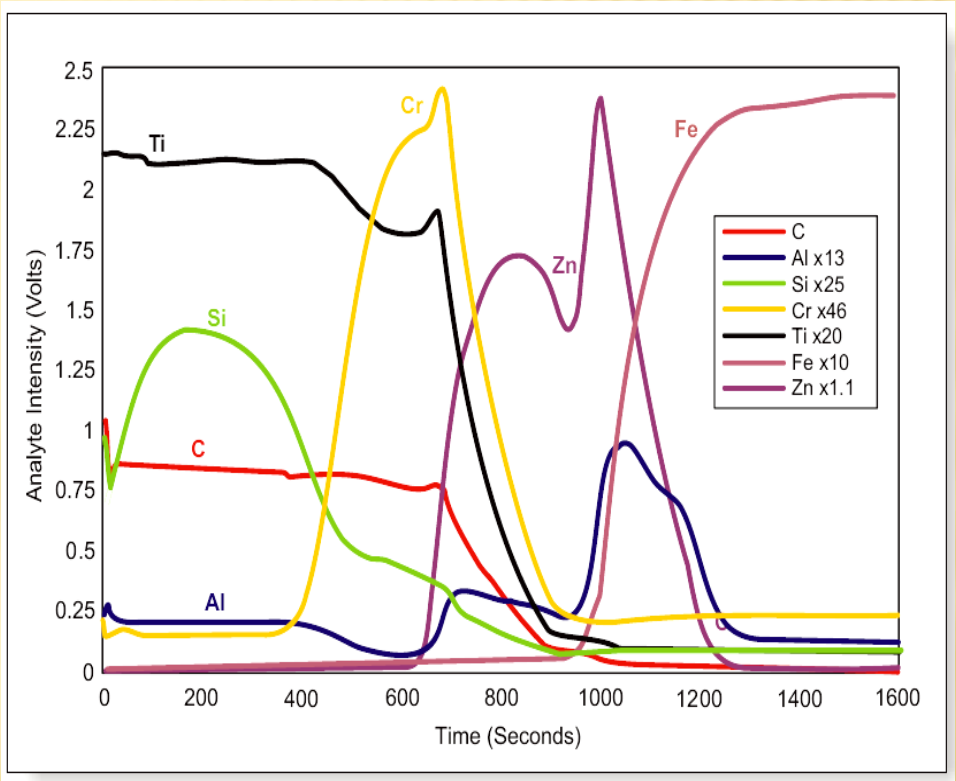
REPRODUKOVATELNOST ANALÝZY



Three replicate QDPs of the surface of a hard disk exhibiting seven resolved layers at a depth of 100 nanometers.

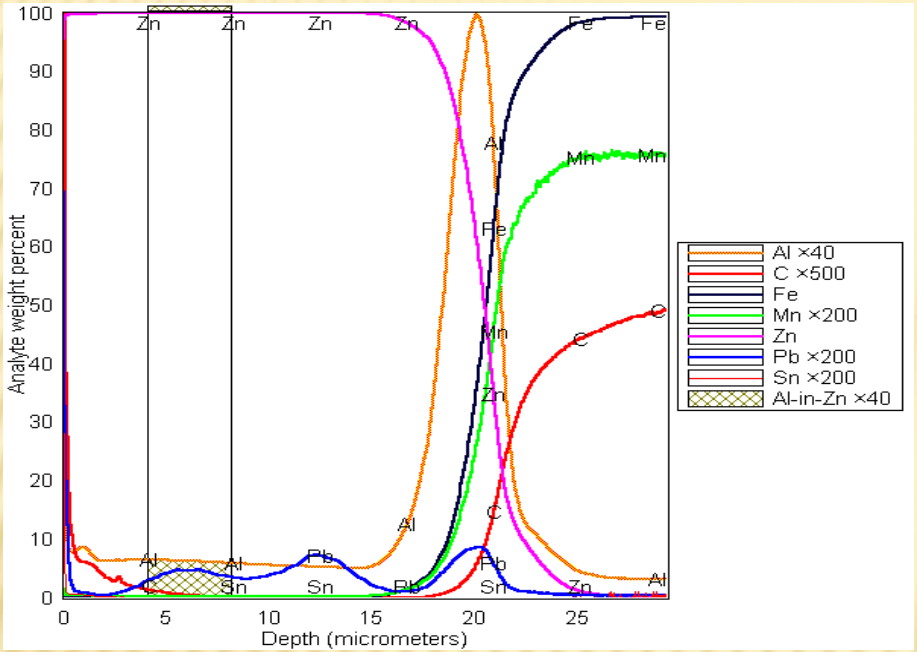
APLIKACE VF DOUTNAVÉHO VÝBOJE

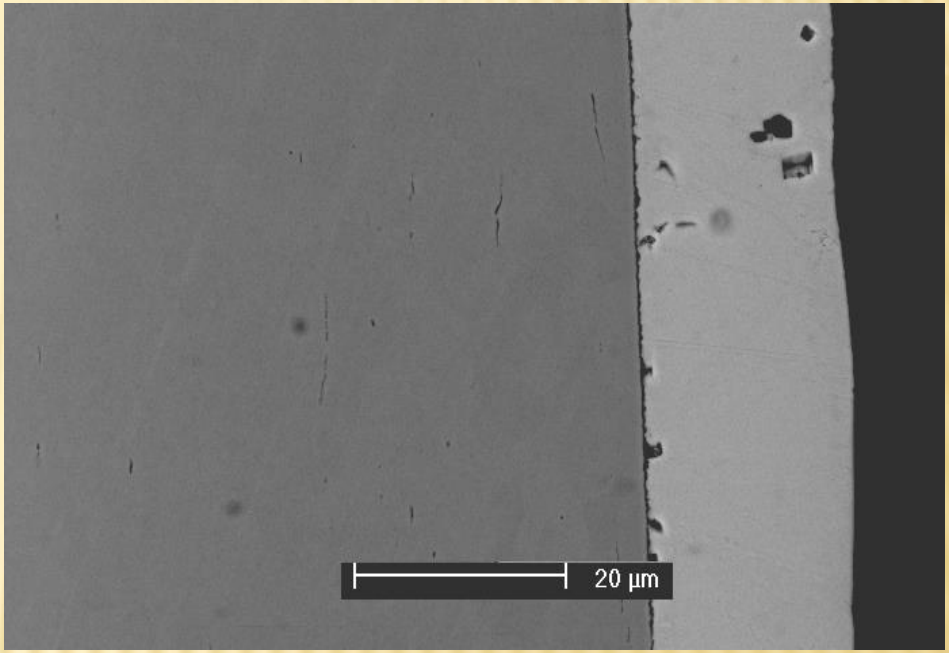
- V případě nevodivých materiálů se používá vf výboj s kapacitní vazbou mezi budící elektrodou a vodivou oblastí plazmatu, přičemž nevodivá část vzorku plní funkci dielektrika.
  V důsledku rozdílné pohyblivosti volných elektronů a kladných iontů ve výboji se povrch vzorku nabíjí na vysoké záporné napětí vůči plazmatu, co do velikosti srovnatelné s amplitudou budícího vysokofrekvenčního signálu. V potenciálovém spádu mezi plazmatem a povrchem vzorku se urychlují kladné argonové ionty a rozprašují povrch vzorku podobně jako při stejnosměrném buzení.



Analýza galvanicky pochromovaného ocelového plechu s organickým nátěrem

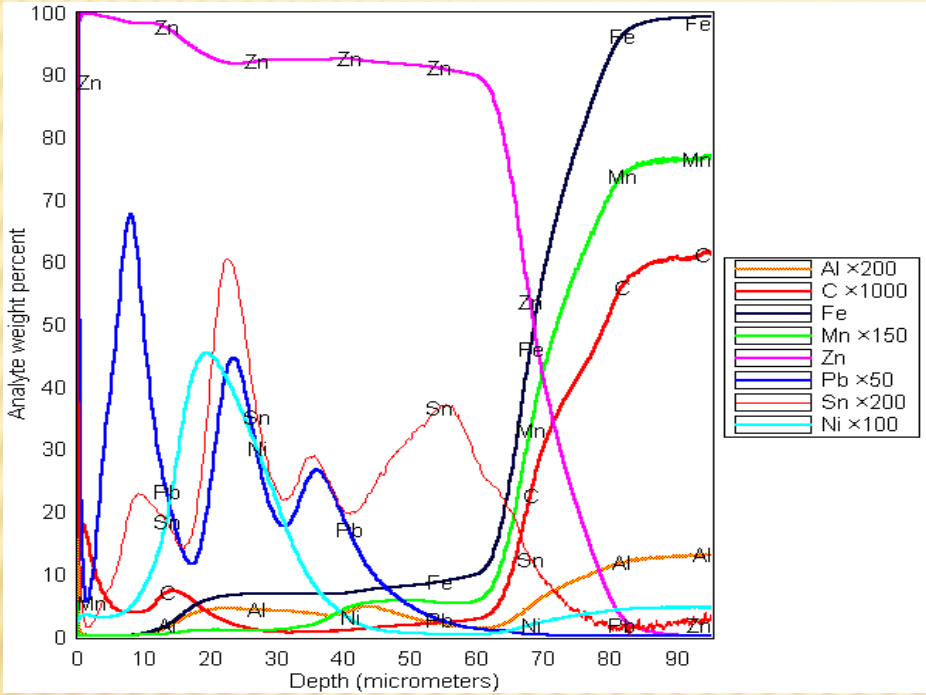
TECHNOLOGIE - ŽÁROVĚ ZINKOVANÁ OCEL

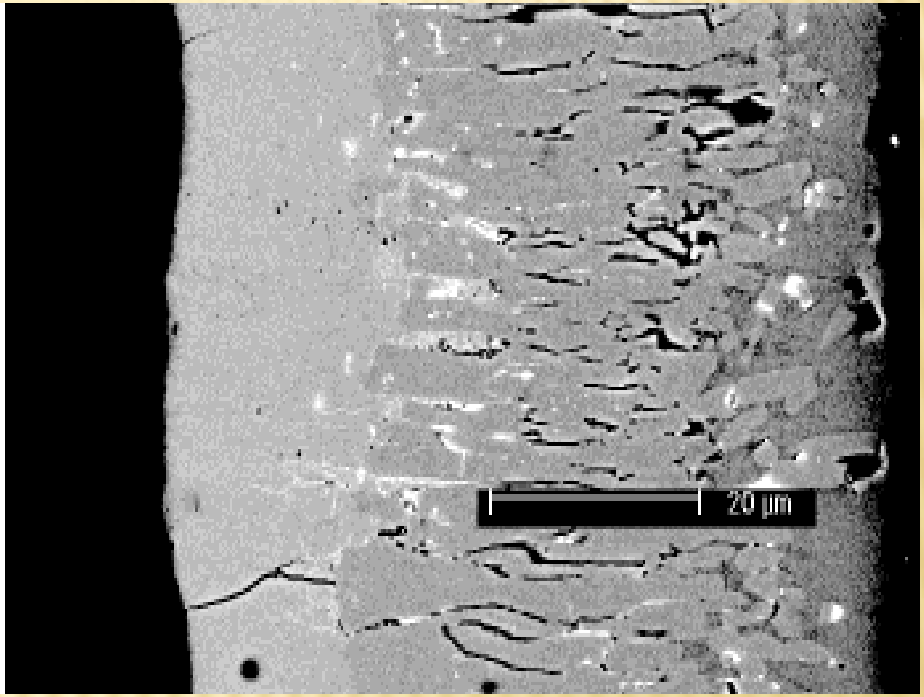




U vzorku jde o "klasickou" technologii žárového zinkování (tavenina Zn obsahuje cca 0.3% Al). Jeho hloubkový koncentrační profil je na obr. vlevo. Pro srovnání je tento povlak zobrazen na příčném výbrusu pomocí rastrovací elektronové mikroskopie (v tomto případě je zinková vrstva vpravo, substrát vlevo).

TECHNOLOGIE - ŽÁROVĚ ZINKOVANÁ OCEL

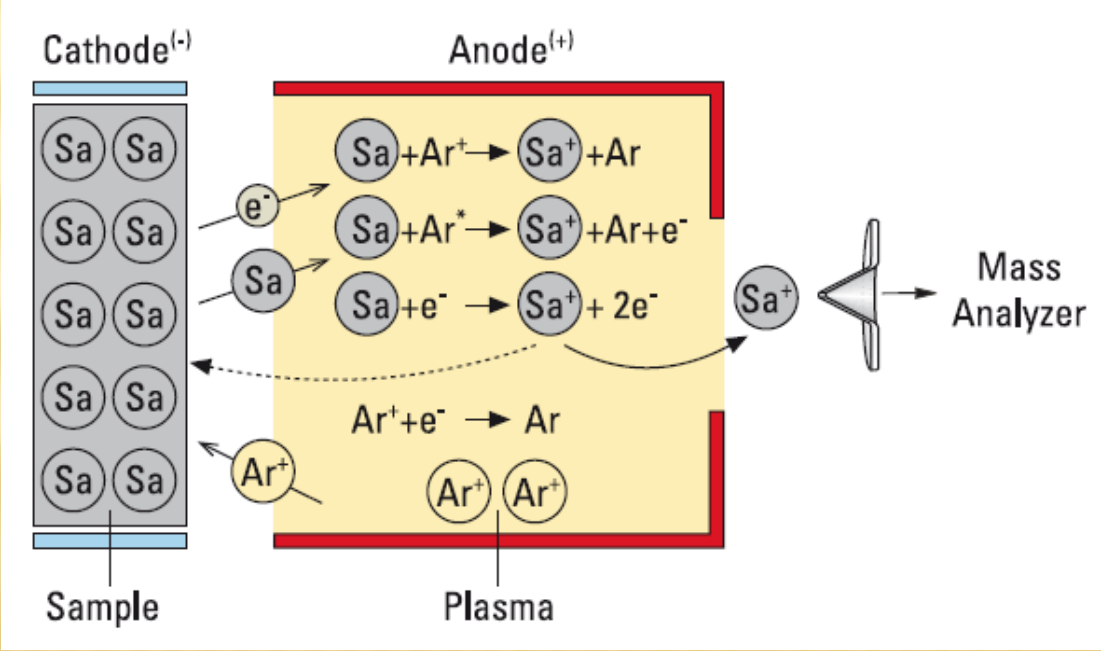




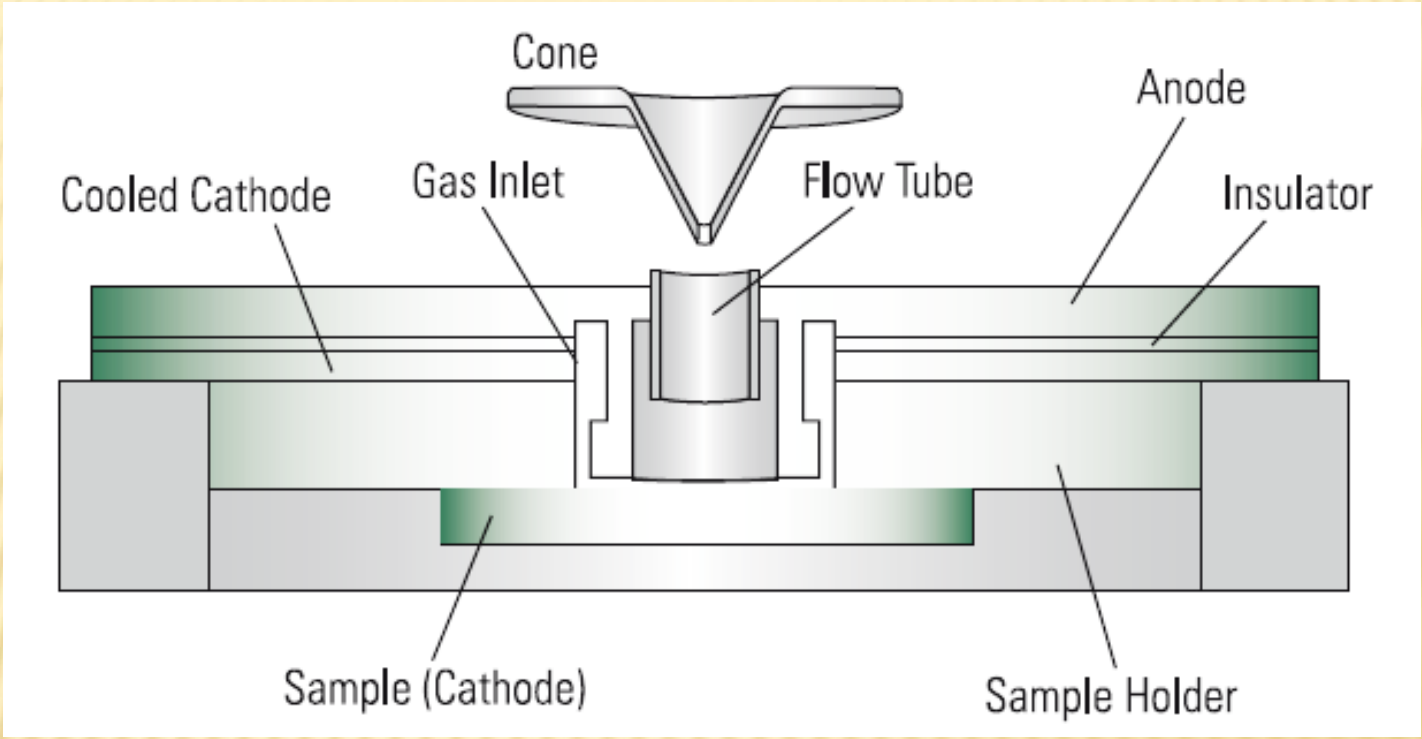
Vzorek s velmi tlustou vrstvou vytvořenou nevhodnou technologií žárového zinkování (bez přídavku hliníku). Od hloubky cca 20 µm zde byla nalezena difúzní mezivrstva s obsahem železa 9-10% a na obrázku struktury jsou jasně patrné krystaly fází bohatých na železo, rostoucí do zinkové vrstvy. Zajímavé a netypické jsou hloubkové profily minoritních prvků Pb, Sn, Ni vzniklé reaktivní difúzí ve vrstvě.

GD-MS

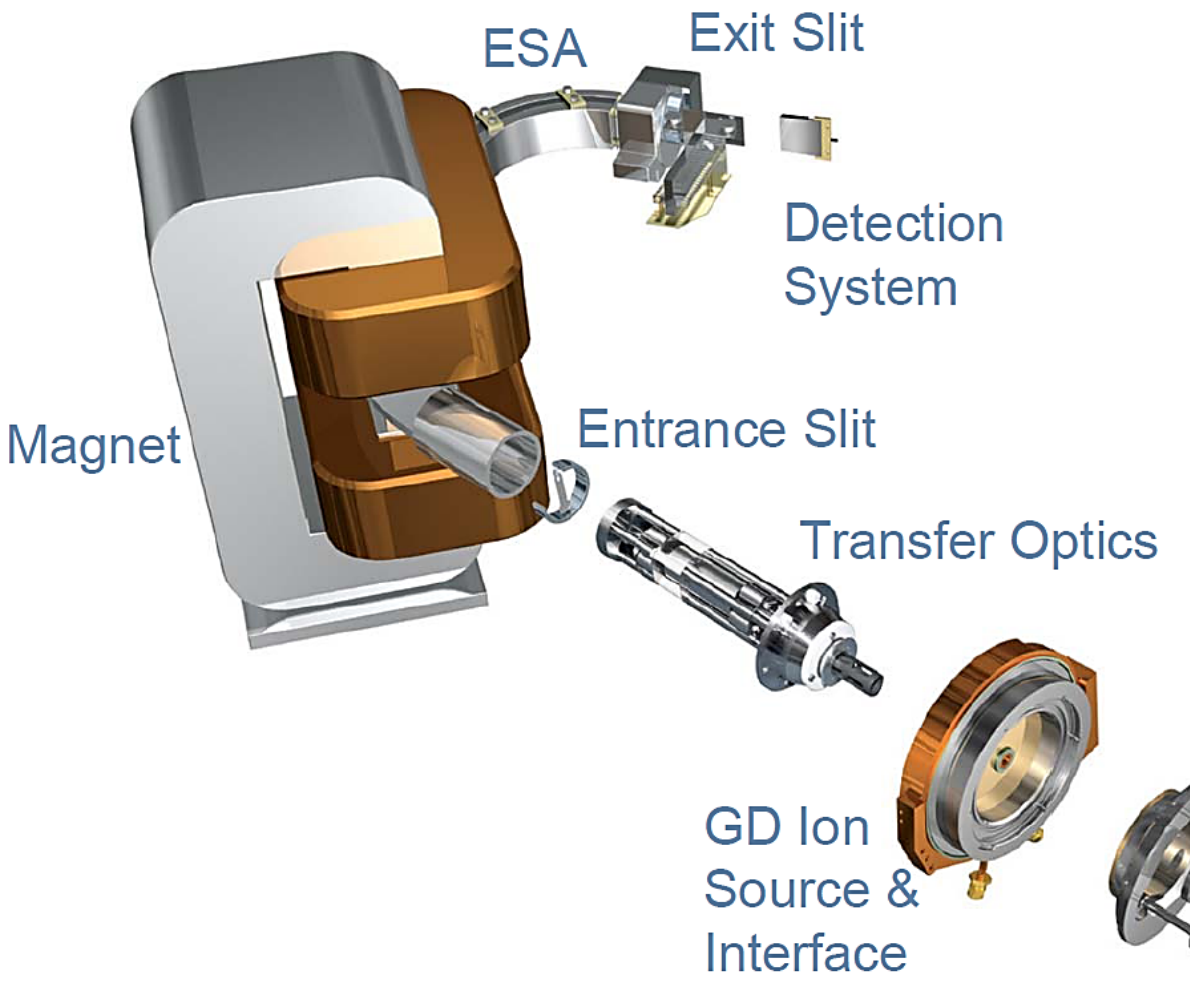
Doutnavý výboj v konfiguraci pro elementární analýzu používá vzorek jako katodu, jejíž povrch je odprašován ionty plynové náplně (obvykle argon). Odprášené neutrální atomy jsou ionizovány v plazmatu rekcí s ionty argonu, excitovanými atomy argonu a elektrony. Procesy odprašování a ionizace atomů vzorku jsou od sebe odděleny a tím jsou minimalizovány nespektrální interference (vliv matrice). GD-MS díky vysoké citlivosti, snadné kalibraci a flexibilita je vynikající volbou pro elementární analýzu. Současně je možné měřit hloubkové profily prvkového složení vzorku s vysokou přesností a spolehlivostí.



SCHEMATIC OF THE GLOW DISCHARGE ION SOURCE



CELKOVÉ SCHEMA GD-MS



- Similar to 'Grimm Type' DC source:
  Pump down in 10s
- High power, fast flow ion source:
  High sensitivity
- Anode:
  Plug-in cap
- Flow tube:
  Ion transport to MS

PRÁCE SE VZORKEM

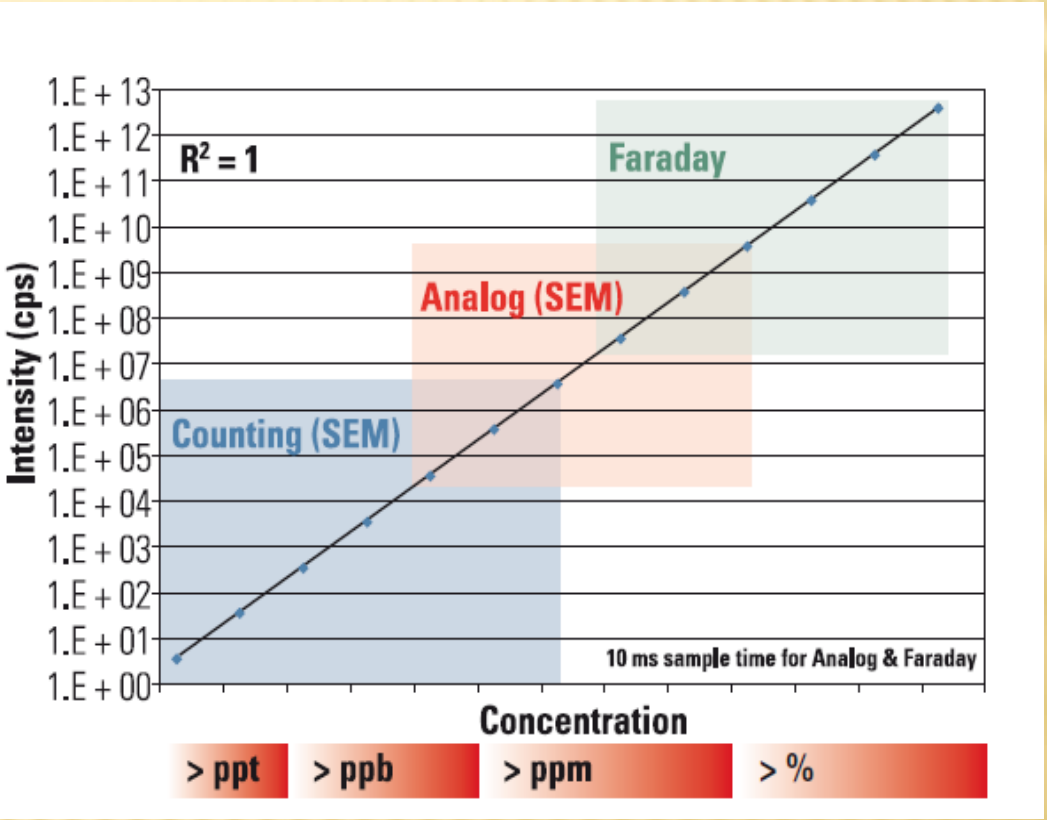
The sample holder

Placement of the sample holder in the GD ion source

DETEKČNÍ SYSTÉM

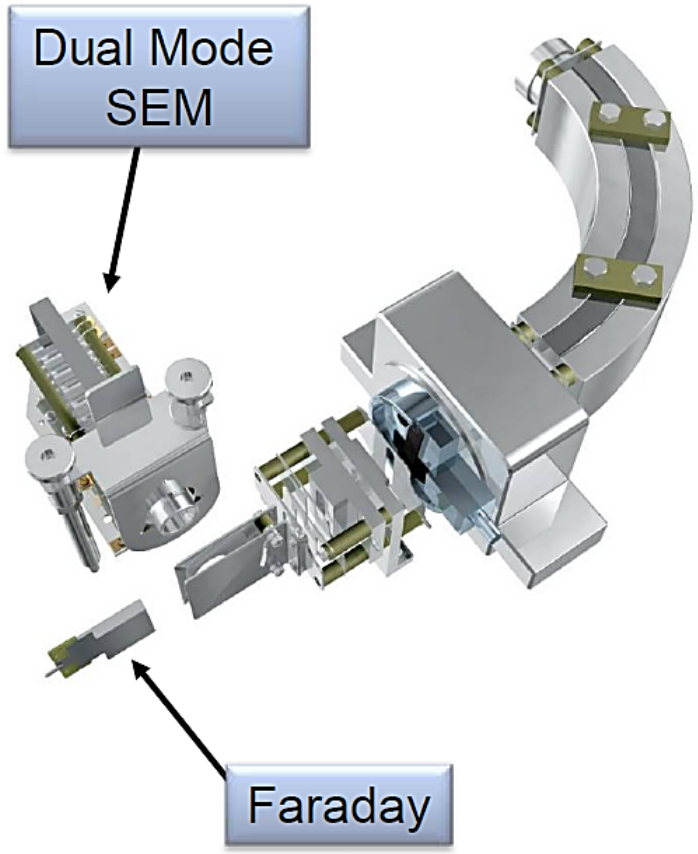
Vzhledem k tomu, že prvky matrice (%), stopy (ppm) a ultra-stopy (ppb až ppt) je třeba analyzovat současně, systém detekce nabízí:

- Široký dynamický rozsah: 0,5 cps (temný proud SEM) do> 10^{12} cps (Faradayův kolektor)
- Automatické přepínání a kalibrace mezi různými režimy detekce



DETEKČNÍ SYSTÉM GD-MS

- High dynamic range
  - From <ppb to 100% matrix, i.e. > 12 orders of magnitude
  - Total ion current used for evaluation
  - Low noise
- Linear
  - Semi quantitative results without standards
  - Calibration at higher concentrations than the samples possible



SPECIFICATIONS ELEMENT GD (THERMO SCIENTIFIC)

Sensitivity (peak height, total ion current)	> 1 x 10^{10} cps, (1.6 x 10^{-9} A) for copper in medium resolution (R ≥ 4000)
Dark Noise	≤ 0.5 cps
Dynamic Range	> 10^{12} linear with automatic cross calibration
Minimum integration times	Counting mode: 0.1 ms, analog mode: 1 ms, Faraday mode: 1 ms
Mass Resolution	3 fixed resolutions: ≥ 300; ≥ 4.000; ≥ 10.000
Resolution Switching Times	< 1 s
Mass Stability	25 ppm / 8 hour
Scan Speed (magnetic)	< 150 ms from m/z 7 to 238 to 7
Scan Speed (electric)	1 ms/jump, independent of mass range
Power	3-phase, 230/400 V ± 10%, 50/60 Hz fused 32 A per phase
Power Consumption	max. 8 kVA
Temperature	18 - 24 °C (64 - 75 °F)
Humidity	50 - 60 %, non-condensing, non-corrosive
Cooling Water	~200 L/h Temperature 10 - 20 °C 4 - 6 bar (43 - 65 psi)
Argon	1 L/min Argon 5.0 (or higher); 5 L/min Argon 4.6
Regulated pressure	8 - 10 bar (116 - 145 psi)

SEMIQUANTITATIVE ANALYSIS OF HIGH PURITY COPPER (IN NG/G)

^{11}B (MR)	15	^{115}In (MR)	22
^{23}Na (MR)	45	^{119}Sn (MR)	65
^{24}Mg (MR)	13	^{123}Sb (MR)	666
^{27}Al (MR)	66	^{127}I (MR)	0.2
^{28}Si (MR)	385	^{130}Te (MR)	1
^{31}P (MR)	511	^{133}Cs (MR)	0.2
^{44}Ca (MR)	68	^{181}Ta (MR)	0.7
^{45}Sc (MR)	0.08	^{184}W (MR)	2
^{48}Ti (MR)	13	^{187}Re (MR)	0.1
^{51}V (MR)	3	^{189}Os (MR)	1
^{52}Cr (MR)	33	^{193}Ir (MR)	0.3
^{55}Mn (MR)	18	^{196}Pt (MR)	1
^{56}Fe (MR)	489	^{197}Au (MR)	0.4
^{59}Co (MR)	2	^{202}Hg (MR)	0.5
^{60}Ni (MR)	30	^{205}Tl (MR)	0.4
^{75}As (MR)	462	^{208}Pb (MR)	153
^{85}Rb (MR)	3	^{209}Bi (MR)	8
^{88}Sr (MR)	0.9	^{232}Th (MR)	0.07
^{89}Y (MR)	0.5	^{238}U (MR)	0.1
^{90}Zr (MR)	2	^{39}K (HR)	76
^{93}Nb (MR)	1	^{64}Zn (HR)	349
^{98}Mo (MR)	10	^{82}Se (HR)	108
^{109}Ag (MR)	225	^{102}Ru (HR)	15
^{114}Cd (MR)	4	^{106}Pd (HR)	42

Number of Isotopes: 48
Analysis time: 3 minutes
Resolutions within a single analysis:
Medium Resolution (MR, R ≥ 4000) and High Resolution (HR, R ≥ 10000)
Concentration range within one analysis:
0.07 ppb (Thorium) to matrix (Copper)

Sum of Impurities
in 99.999% copper
3890 ppb

ACCURACY

In order to verify the accuracy obtainable with the Finnigan ELEMENT GD, the copper certified reference material BCR 075 was analyzed:

- Quantification: Relative Sensitivity Factors /one point calibration
- Number of Isotopes: 75
- Analysis time: 5 minutes
- Resolutions within a single analysis: Medium Resolution (MR, R ≥ 4000) and High Resolution (HR, R ≥ 10000)
- Concentration range within one analysis: 0.08 ppb (Thorium) to matrix (Copper)

ISOTOPE	CONCENTRATION [PPM]		
	FINNIGAN ELEMENT GD	CERTIFIED VALUE	ROUND ROBIN* AVERAGE OF 8 LABS (SD)
^{52}Cr (MR)	0.85	0.89	0.82 (0.11)
^{55}Mn(MR)	3.09	3.23	2.32 (0.40)
^{56}Fe (MR)	7.75	9	7.1 (1.6)
^{59}Co (MR)	2.27	2.5	2.46 (0.64)
^{60}Ni (MR)	1.20	1.45	1.25 (0.37)
^{75}As (MR)	3.75	3.7	3.23 (0.47)
^{107}Ag (MR)	11.0	12.2	9.67 (2.99)
^{111}Cd (MR)	2.52	2.57	2.57 (1.82)
^{119}Sn (MR)	1.08	1.09	0.89 (0.12)
^{121}Sb (MR)	2.66	2.56	2.43 (0.35)
^{126}Te (MR)	1.58	1.52	1.46 (0.41)
^{208}Pb (MR)	3.42	3.27	2.38 (0.65)
^{209}Bi (MR)	1.38	1.4	1.05 (0.42)
^{64}Zn (HR)	3.63	3.47	2.55 (0.55)
^{77}Se (HR)	1.71	1.26	1.11 (0.25)

*M. Kasik, C.Venzago, R. Dorka,
J Anal At Spectrom 2003, 18. 603-611 (VG9000)

REPRODUCIBILITY

ISOTOPE (MR)	CONCENTRATION SAMPLE NUMBER					AVERAGE (n = 5)	RSD (n = 5)
	#1	#2	#3	#4	#5		
^{109}Ag [%]	61.2	62.1	62.4	63.6	63.8	62.6	1.7 %
^{73}Ge [ppm]	45.0	42.3	43.6	44.5	43.0	43.7	2.5 %
^{70}Ge [ppm]	44.4	41.9	43.1	43.3	41.9	42.9	2.5 %
^{197}Au [ppm]	1.35	1.37	1.34	1.42	1.43	1.38	2.9 %
^{111}Cd [ppb]	166	161	148	149	156	156	5.0 %
^{114}Cd [ppb]	164	161	163	152	157	159	2.9 %
^{24}Mg [ppb]	1.59	1.37	1.28	1.59	1.13	1.39	14.5 %
^{181}Ta [ppb]	0.58	0.35	0.68	0.52	0.57	0.54	22.6 %

In order to explore the reproducibility of the measurements, five different pieces of a Ag/Cu sheet were analyzed. The typical reproducibility for n = 5 measurements is given in Table for a selection of elements.

REPEAT GD-MS ANALYSIS OF NIST 1249 (INCONEL 718)

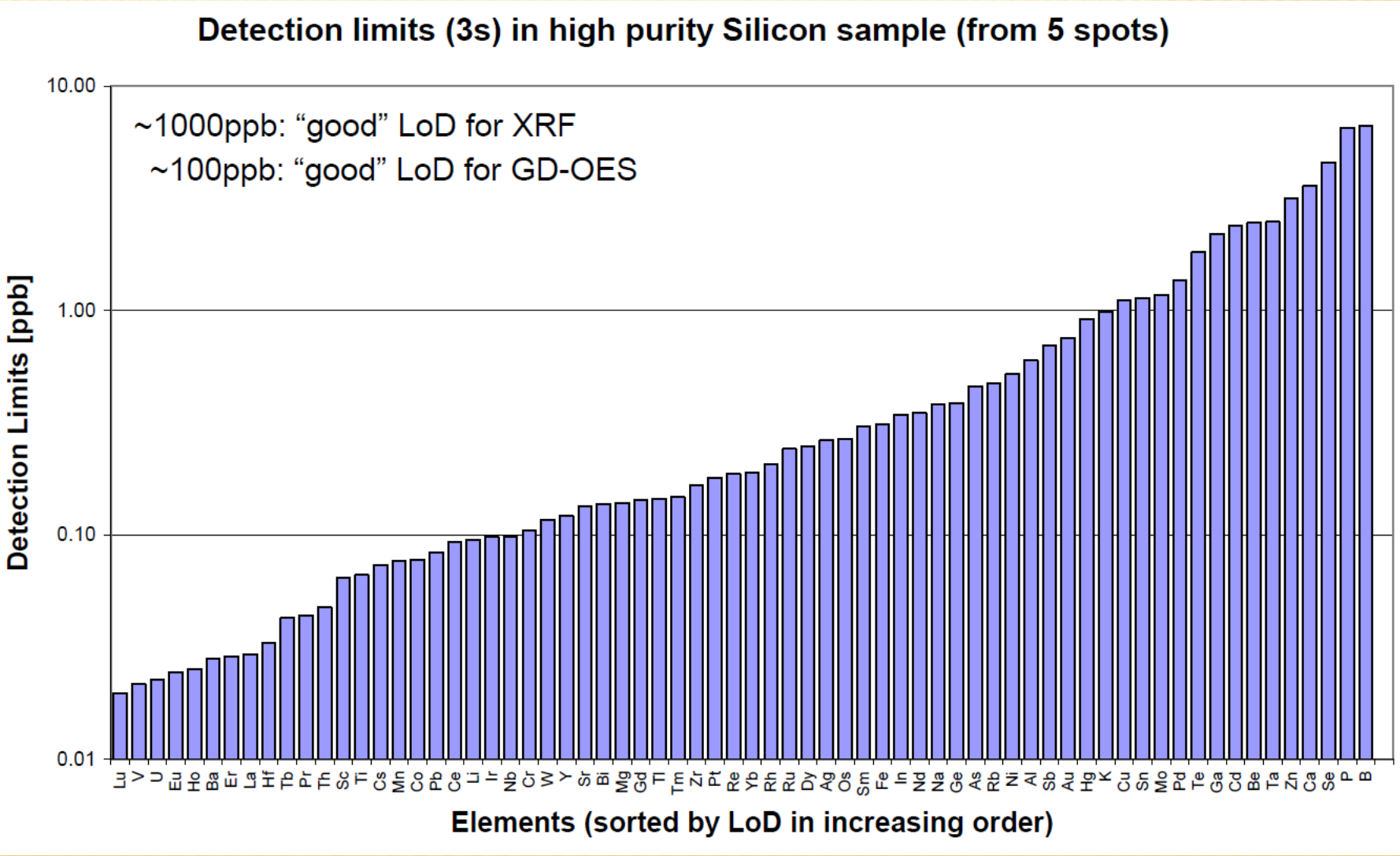
Element	Unit	Average	STD	RSD
Ni	[%]	57.3	0.4	0.7%
Fe	[%]	18.0	0.07	0.4%
Mo	[%]	2.8	0.04	1.6%
Co	[%]	0.35	0.003	0.8%
Cu	[%]	0.139	0.002	1.2%
P	[%]	0.018	0.0005	2.6%
Sn	[ppm]	21.5	0.6	2.7%
Ga	[ppm]	17.7	0.3	1.6%
As	[ppm]	16.7	0.4	2.3%
Sb	[ppm]	3.7	0.1	2.5%
Pb	[ppm]	0.10	0.007	7.0%
Bi	[ppm]	0.009	0.001	10.5%

DETECTION POWER (COPPER 99,999%)

ISOTOPE	LOW RES. [PPB]	MEDIUM RES. [PPB]	COMMENT
^{181}Ta	0.7	0.6	a
^{193}Ir	0.23	0.16	b
^{187}Re	< 0.018	< 0.17	c
^{232}Th	0.013	< 0.6	d

a) Identical Ta concentrations are determined in each resolution due to valid peaks in both resolutions
b) The apparent Ir concentration in LR is higher due to an interference ($63Cu65Cu_2$) in LR that is resolved in MR
c) Re is below the detection limit. Due to ~ 10 times higher matrix intensities in LR, the detection limit is~ 10 times lower
d) In MR, Th is at the detection limit but there is a valid peak in LR. The calculated Th detection limit in LR is ~ 5 ppt.

GD-MS ANALYSIS OF SOLAR CELL SILICON



HLAVNÍ PŘEDNOSTI GD-MS

- Vysoká rozlišovací schopnost minimalizuje spektrální interference
- Stanovení více než 70 prvků
- Minimální matriční interference – procesy atomizace a ionizace jsou prostorově odděleny
- Kvantitativní analýzy v koncentracích od desetin ng/g do 100%
- Stanovení izotopových poměrů
- Možnost hloubkového profilování
- Minimální příprava vzorků

SEMICONDUCTOR INDUSTRY

- Very high purity semiconductors are required for production of virtually all electronic optical and electro optical devices. The electrical properties of these semiconductors are dependent on the impurities present in them. Only extreme low levels of impurities are permitted in these metals to guarantee the performance of the end product such as microprocessors and micro devices.

  GDMS helps in bulk survey analysis of these semiconductors to identify the amount of impurities even at the trace and ultra trace levels

NUCLEAR SECTOR

- In Nuclear technology and generally in nuclear research, the precise and accurate measurement of isotopes ratio is of great interest. The widely accepted method for this is TIMS. In this method sample must be dissolved and chemical separation of the analyte of interest is required before the analysis.

  GDMS has also been exploited for determination of the isotopic composition in samples with nuclear contents. By comparison GDMs has turned out to be competitive technique for determination of isotopic abundance of B, Li as well as U in terms of precision and accuracy.GDMS has the advantage of reducing handling of the sample before the analysis

PURE METAL INDUSTRY

- In large scale production of metals and alloys the total trace impurity is not well controlled. However in order to control its mechanical, chemical, electrical and other advanced properties, controlled doping with trace elements and purification to reduce presence of unwanted materials is very much required.
- GDMS helps in identifying the impurities if at all present in the finished product hence ensuring the quality and performance of the system where these metals are used

ALLOYS INDUSTRY

- Alloys and Super Alloys are the key materials for manufacturing of high performance machinery like turbines. As these machinery work under very high temperature and pressure, even a slight chance in composition of the trace elements can give disastrous results.
- GDMS is idea in identifying these elemental compositions in the product to ensure the best performance of the system.