

**FZU**Fyzikální ústav
Akademie věd
České republiky**CZECH
NANO
LAB.**

FERROIC MULTIFUNCTIONALITIES

VYSVĚTLENÍ ZADÁVACÍ DOKUMENTACE

Název zadavatele	Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
Sídlo	Na Slovance 1999/2, 182 00 Praha 8
IČO	68378271
Právní forma	veřejná výzkumná instituce
Název veřejné zakázky	Vysokorozlišovací skenovací elektronový mikroskop s analýzou prvkového a fázového složení a krystalografické orientace
Evidenční číslo veřejné zakázky ve VVZ	Z2024-065267
Druh veřejné zakázky	Nadlimitní veřejná zakázka na dodávky
Druh zadávacího řízení	Otevřené řízení dle § 56 zákona č. 134/2016 Sb., o zadávání veřejných zakázek, v platném znění (dále jen „zákon“)
Projekty	OP: Jan Amos Komenský Název: CzechNanoLab+ Feroické multifunkcionality (FerrMion) Reg. č.: CZ.02.01.01/00/23_015/0008200 CZ.02.01.01/00/22_008/0004591

Zadavatel v souladu s § 98 zákona vysvětluje zadávací dokumentaci k výše uvedené veřejné zakázce

Zadavatel odpovídá na žádost dodavatele o objasnění dotazů doručenou prostřednictvím elektronického nástroje dne 10. 2. 2025.

Dotaz 1:

Děkujeme za odpověď na náš předchozí dotaz. Rádi bychom však požádali o po-drobnější vysvětlení, proč vyšší rozlišení není bodově ohodnoceno, přestože může zásadně ovlivnit kvalitu a přesnost analýzy v pokročilých aplikacích.

Vyšší rozlišení přináší konkrétní výhody, například:

Přesnější offline analýzu obrazu, zejména při automatizovaném vyhodnocování a měření.

Lepší využitelnost pro post-processing aplikace, kde každý detail může hrát klíčovou roli.

Vyšší věrnost zobrazení při zvětšení a zpracování dat, což je důležité pro vědecké a průmyslové aplikace.

Rozumíme, že zadavatel považuje stanovené rozlišení za dostatečné, ale pokud vyšší technologická úroveň nevede k žádnému bodovému zvýhodnění, nevytváří to prostor pro inovace a kvalitnější nabídky.

Můžete prosím podrobněji objasnit, proč tento parametr není zohledněn v bodovém hodnocení?

Odpověď zadavatele:

Vyšší rozlišení scanu, které je zde zřejmě míněno (tj. bod 50 / řádek 66 tabulky s technickými specifikacemi), s sebou nese vyšší časovou náročnost a také mnohem větší velikost výsledných obrazových souborů. Pro zadavatele je však

Spolufinancováno
Evropskou uniíMINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY**OPJAK.cz
MSMT.cz**



klíčové zejména rozlišení mikroskopu jako takové, které je zohledněno v bodovém ohodnocení - viz. MICROSCOPE / resolution. Zohledňujeme rozlišení v módu s vysokým vakuem, nízkým vakuem a ve STEM módu (body 18-21 / řádky 29-32 tabulky). Za každých 0,1 nm ve prospěch kvality rozlišení získá nabídka 50 bodů (vysoké vakuum), nebo 20 bodů (nízké vakuum, STEM).

Dotaz 2:

Dodatečný dotaz k požadavku na pozitivní bias:

Děkujeme za poskytnutí odkazu na příklad využití pozitivního biasu.

Rádi bychom však požádali o zvážení možnosti bodového ohodnocení i alternativních technologií, které dokážou dosáhnout stejných nebo dokonce lepších výsledků bez nutnosti pozitivního biasu.

Naše řešení využívá EsB detektor s filtering grid, který poskytuje stejný, ne-li lepší efekt, a zároveň eliminuje potřebu pozitivního biasu. Tento přístup přináší výhody, jako je zjednodušení celkového provozu, vyšší stabilita a odstranění potenciálních komplikací spojených s biasem.

Můžeme tedy požádat o upřesnění, zda by bylo možné v hodnocení zohlednit také technická řešení, která dosahují stejných výsledků odlišnou, ale efektivní metodou? Pevně věříme, že by takové zohlednění podpořilo technologickou rozmanitost a umožnilo nabídnout optimální řešení pro dané aplikace.

Odpověď zadavatele:

Filtrace zpětně odražených elektronů (bod 23 / řádek 35) je volitelný (bodovaný) parametr stejně jako použití BIASu (bod 8 / řádek 17 tabulky).

Filtrováním se velmi omezí signál a pro získání kvalitnější fotografie se musí prodloužit buď doba, po kterou paprsek zůstane na místě, nebo zvětšit počet přeběhů, anebo zvýšit proud ve svazku. Vše výše zmiňované vede ke ztrátě rozlišení.

Dotaz 3:

Dodatečný dotaz k bodovému zvýhodnění immersion magnetic čočky

Děkujeme za vysvětlení bodového zvýhodnění při použití immersion magnetic čočky.

Rádi bychom se však doptali na některé aspekty tohoto hodnocení, protože podle našich zkušeností přináší tento typ čočky značná omezení, která mohou negativně ovlivnit univerzálnost a přesnost zobrazování:

- Nízká efektivita detekce sekundárních elektronů (SE) pro ETSE detektor
Immersion čočka činí detekci SE výrazně méně účinnou, což může ovlivnit kontrast a kvalitu výsledného obrazu.
- Zkreslení obrazu při naklonění vzorku
Při naklonění vzorku immersion čočka způsobuje zkreslení a astigmatismus, které je nutné výrazně korigovat, aby bylo možné provádět přesná rozměrová měření struktur na vzorku.
Navíc dochází ke změně zvětšení – Decelerace paprsku nebo magnetické pole vytváří čočku, která modifikuje zvětšení v rozsahu 10-20 %, což může vést k nesprávné interpretaci výsledků.
- Omezené použití pro magnetické a magnetizovatelné vzorky



V dokumentaci se uvádí, že immersion čočka je vhodná i pro magnetické vzorky, nicméně naše zkušenosti ukazují opak. Například při zobrazování kovové magnetické mřížky immersion čočka selhává a není schopná vytvořit obraz.

- Omezení velikosti vzorků

Pro použití immersion čočky je nutné zmenšit velikost vzorku, což dále limituje její praktickou využitelnost.

Naopak, naše technologie umožňuje dosažení velmi vysokého rozlišení i při velmi nízkých urychlovacích napětích, čímž efektivně eliminuje riziko kontaminace povrchu vzorku a zároveň poskytuje špičkovou kvalitu obrazu bez výše uvedených omezení.

Rádi bychom tedy požádali o přehodnocení bodového zvýhodnění immersion magnetic čočky s ohledem na její významné nevýhody a na skutečnost, že existují moderní alternativy, které umožňují dosažení stejně dobrých nebo dokonce lepších výsledků bez uvedených kompromisů.

Odpověď zadavatele:

Zadavatel níže odpovídá na tento dotaz a shrnuje důvody bodového zvýhodnění nabídky při použití immersion magnetic čočky:

- Zadavatel opakovaně upozorňuje na odůvodnění ve druhém odstavci odpovědi na otázku č. 4 z minulého *Vysvětlení a změny zadávací dokumentace*.
- Omezení velikosti vzorků platí *pouze* při práci v režimu magnetické imerze na magnetických nebo magnetizovatelných vzorcích.
- Imerzní čočky umožňují získávat detailnější a kvalitnější snímky.
- Imerzní čočky zlepšují schopnost fokusovat elektronový paprsek a zlepšují rozlišení, což je zvláště užitečné při analýze nanostruktur a velmi jemných detailů.
- Mezi hlavní výhody imerzních čoček patří:

(1) Zvýšené rozlišení

Imerzní čočky v SEM umožňují dosažení vyššího rozlišení tím, že zlepšují schopnost zaměřit elektronový paprsek na velmi malou oblast vzorku. To je důležité pro zobrazení nanostruktur, jemných povrchových detailů nebo malých částic, které by byly jinak nerozlišitelné. Umožňují získat snímky s lepším kontrastem a detailností.

(2) Lepší kontrola nad ohniskem

Imerzní čočky pomáhají přesněji zaostřit elektronový paprsek, což je klíčové pro zajištění maximálního rozlišení a kvality obrazu. Tato schopnost je zvláště důležitá při práci se vzorky s velmi jemnými povrchovými strukturami, kde je vysoká přesnost zaostření nezbytná.

(3) Zlepšený kontrast

Díky imerzní čočce je možné získat snímky s vyšším kontrastem. To je obzvláště užitečné při studiu vzorků, které obsahují heterogenní struktury nebo tenké vrstvy.

(4) Vylepšení zobrazení jemných povrchových detailů

Imerzní čočky pomáhají zlepšit zobrazení topografie povrchu, což je zásadní pro studium jemných textur nebo nanostruktur. Při analýze vzorků, jako jsou nanočástice, filmy nebo povlaky, je důležité mít možnost vidět i velmi drobné detaily, které by bez této technologie mohly být rozmazané nebo nezřetelné.





(5) Méně zkreslení obrazu

Při použití imerzní čočky může být zobrazení vzorku méně náchylné k optickým aberacím nebo zkreslením, která jsou typická pro tradiční systémy s běžnými čočkami. To znamená, že kvalita obrazu je stabilnější a přesnější, což je velmi důležité při detailní analýze vzorků.

(6) Větší hloubka ostrosti

Využití imerzní čočky může vést k větší hloubce ostrosti, což znamená, že širší rozsah vzorku bude zaostřený a dobře viditelný na obrázku. Tato výhoda je obzvláště užitečná při analýze povrchových topografií nebo při studiu vzorků, které mají výraznou nerovnost.

(7) Zlepšení detekce sekundárních elektronů (SE)

Imerzní čočky mohou zlepšit detekci sekundárních elektronů (SE), což vede k lepší kvalitě obrazů při zobrazení povrchových detailů. SE detektor je důležitý pro analýzu topografie vzorku, a imerzní čočky mohou zlepšit jeho výkon při zobrazení i těch nejjemnějších povrchových struktur.

(8) Efektivnější využití elektronů

Imerzní čočky mohou také zlepšit efektivitu sběru signálu z elektronů interagujících se vzorkem. Tento efekt může zvýšit intenzitu detekovaných signálů, což vede k lepším snímkům i při nižších dávkách elektronů, což může být výhodné, zejména u vzorků, které jsou citlivé na poškození.

(9) Vylepšení pro analýzu vzorků v 3D

Díky zlepšení ostrosti a kontrastu mohou imerzní čočky pomoci při rekonstrukci 3D obrazů vzorků. Tato technologie je užitečná pro studium prostorových struktur a pro analýzu vzorků, kde je důležité mít komplexní zobrazení ve třech dimenzích.

Dotaz 4:

Dodatečný dotaz k požadavku na další SE in-beam detektor

Děkujeme za odpověď, nicméně se domníváme, že uvedené vysvětlení není dostatečně konkrétní. Konstatování, že další SE in-beam detektor zajišťuje větší variabilitu přístroje a umožňuje získat dodatečné informace o vzorku, neodpovídá na zásadní otázku jaké konkrétní aplikace tento požadavek reflektuje a jaké konkrétní typy informací tento detektor poskytuje oproti jiným alternativním řešením.

Naše technologie dokáže získat veškeré relevantní informace o vzorku i bez tohoto typu detektoru, a proto bychom rádi požádali o podrobnější objasnění:

Jaké specifické aplikace vyžadují další SE in-beam detektor?

Jaké konkrétní informace poskytuje navíc oproti běžným řešením?

Jak bylo určeno, že právě tento typ detektoru je nezbytný a proč nejsou bodově ohodnoceny alternativní přístupy, které vedou ke stejnému výsledku?

Odpověď zadavatele:

Dodatečný in-beam SE detektor požaduje zadavatel především z následujících důvodů:

(1) Lepší kvalita obrazu: Dodatečný in-beam SE detektor poskytuje lepší kontrast a vyšší rozlišení, protože je umístěn přímo v trajektorii elektronového paprsku. To znamená, že detekuje sekundární elektrony blíže k místu interakce s vzorkem, což může vést k detailnějším a přesnějším obrazům povrchu.



(2) Větší citlivost na povrchové struktury: Tento detektor je citlivý na povrchové struktury vzorku, což znamená, že je ideální pro zobrazení jemných topografických detailů na povrchu materiálů. To může být užitečné pro analýzu nanostruktur nebo povrchových úprav.

(3) Snížení zkreslení obrazu: In-beam detektor může pomoci eliminovat některé artefakty nebo zkreslení, které mohou vzniknout při použití tradičních detektorů, které nejsou v přímém kontaktu s paprskem.

(4) Vysoká rychlost a citlivost: Tento detektor je obvykle rychlý a citlivý, což znamená, že je schopen zachytit signál i při nízkých intenzitách elektronů. Tím je možné získat kvalitní snímky i při nízkých provozních podmínkách.

(5) Možnost kombinace s jinými detektory: Mnoho moderních SEM zařízení umožňuje kombinaci in-beam SE detektoru s jinými detektory (např. detektory backscattered electron – BSE), což umožňuje získání více informací o vzorku v jednom experimentu (např. topografie a kompozice materiálu).

Dotaz 5:

Dodatečný dotaz k požadavku na počet segmentů u detektoru

Děkujeme za odpověď, nicméně se domníváme, že uvedené vysvětlení není dostatečně konkrétní.

Konstatování, že segmentace detektoru umožňuje získat dodatečnou informaci o vzorku, neodpovídá na zásadní otázku, jaké konkrétní informace lze díky segmentaci získat a v jakých specifických aplikacích je tento přínos relevantní.

Naše technologie dokáže poskytnout všechny důležité informace o vzorku bez nutnosti segmentovaného detektoru. Proto bychom rádi požádali o podrobnější objasnění:

Jaké specifické aplikace vyžadují segmentovaný detektor?

Jaké konkrétní informace poskytuje navíc oproti běžným řešením?

Jak bylo určeno, že právě tento parametr je nezbytný, a proč nejsou bodově ohodnoceny alternativní přístupy, které vedou ke stejnému výsledku?

Děkujeme za zvážení této možnosti a za upřesnění Vašeho stanoviska.

Odpověď zadavatele:

Segmentace detektorů v SEM umožňuje získávat podrobné informace o vzorcích na základě různých signálů, které jsou detekovány různými segmenty detektorů. Tyto signály z jednotlivých segmentů lze pak kombinovat, což umožňuje podrobněji analyzovat různé aspekty vzorku. Konkrétní informace, které lze získat pomocí segmentace detektorů v SEM, zahrnují:

(1) Topografie a struktura povrchu (detekce SE – sekundární elektrony):

- Detailní zobrazení povrchových struktur: Sekundární elektrony (SE) poskytují obraz založený na topografii vzorku. Segmentace snímku podle intenzity SE signálu umožňuje identifikaci různých výškových oblastí, což je užitečné pro studium textury povrchu, vrstev, rýh nebo nanostruktur.
- Identifikace nanostruktur a povrchových defektů: Pomocí segmentace můžete zjistit specifické oblasti s jemnými povrchovými defekty, jako jsou trhliny, korozní produkty nebo jemné struktury (např. nanomateriály).

(2) Chemické složení (detekce BSE – zpětně rozptýlené elektrony):

- Rozdělení podle atomového čísla: BSE signál je silně závislý na atomovém čísle materiálu. Segmentace BSE snímků umožňuje rozlišení oblastí s různými materiály, protože těžší prvky (s vyšším atomovým číslem)



odrážejí více elektronů než lehčí prvky. To je užitečné pro analýzu složení vzorku, např. pro identifikaci oblastí s vysokým obsahem těžších kovů nebo minerálů.

- Přesná identifikace vrstev materiálů: Segmentace BSE snímků může odhalit vrstvy různých materiálů v kompozitních vzorcích, což je užitečné pro analýzu vrstvených struktur nebo heterogenní materiály.

(3) Zobrazování vodivých a nevodivých oblastí:

- Analýza vodivosti vzorku: Na základě signálů z detektoru BSE nebo SE můžete segmentovat vzorek podle vodivých a nevodivých oblastí. To je důležité pro studium materiálů, jako jsou polovodiče, nanomateriály nebo povlaky.
- Detekce povrchových změn způsobených elektrickým nábojem: U nevodivých materiálů může segmentace odhalit oblasti, kde došlo k hromadění náboje na povrchu.

(4) Poréznost a mikrostrukturální analýza:

- Zobrazení porézních struktur: Pomocí segmentace lze vyhodnotit rozložení porézních oblastí ve vzorku. To je velmi užitečné pro analýzu materiálů jako jsou kovy, skla, kompozity nebo biologické vzorky, kde je důležité studovat distribuci pórů nebo trhlin.
- Mikrostrukturální analýza: Segmentace umožňuje detailní analýzu mikrostruktury materiálů, jako jsou krystalové struktury, zrna, interkrystalické defekty nebo zrnité hranice.

(5) Velikost a distribuce částic:

- Analýza velikosti částic: Segmentace snímků získaných SEM detektory umožňuje měření velikosti částic nebo zrn v materiálu. Tento přístup je velmi užitečný při analýze práškových materiálů, katalyzátorů, nebo nanomateriálů.
- Distribuce částic: Pomocí segmentace lze také studovat distribuci částic v rámci vzorku, což je klíčové pro hodnocení uniformity materiálů nebo pro hodnocení distribuce nanočástic v kompozitech.

(6) Defekty a anomálie v materiálu:

- Identifikace defektů: Segmentace může pomoci při detekci defektů jako jsou trhliny, praskliny, porézní oblasti nebo jiné anomálie, které mohou ovlivnit vlastnosti materiálu.
- Studium defektů na mikroskopické úrovni: Tato technika může pomoci lokalizovat a kategorizovat různé typy defektů, což je důležité pro kvalitativní analýzu materiálů v průmyslových aplikacích (např. pro zajištění kvality výroby).

(7) 3D rekonstrukce a analýza objemu:

- 3D modelování vzorků: Kombinací segmentovaných 2D snímků z různých úhlů je možné vytvořit 3D model vzorku, což je užitečné pro analýzu prostorových struktur, rozložení defektů nebo studium topografie povrchu ve třech dimenzích.
- Měření objemových vlastností: Pomocí 3D rekonstrukce lze získat objemové informace o materiálu, například pro analýzu poréznosti nebo velikosti částic.

V Praze