

Mikroskop LEXT a jeho využití v materiálových vědách

J. Řeboun, A. Hamáček

Katedra technologií a měření, Fakulta elektrotechnická, ZČU v Plzni,

Univerzitní 26, Plzeň

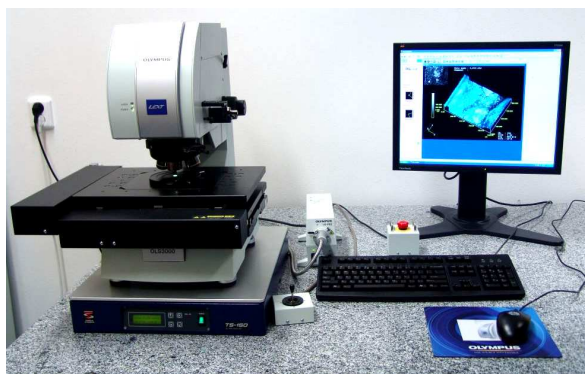
E-mail : jreboun@ket.zcu.cz, hamacek@ket.zcu.cz

Anotace:

V září 2006 byla na Katedře technologií a měření Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni vybudována ve spolupráci s firmou Olympus referenční mikroskopická laboratoř. Laboratoř je mimo jiné vybavena nejmodernějším konfokálním laserovým mikroskopem LEXT. Jedná se o špičkové zařízení umožňující 3D zobrazení objektů až do maximálního zvětšení 14 400x včetně přesného měření, přičemž není vyžadována žádná úprava vzorků jako například pokovení, vymrazení, nebo vakuum. Tento článek se zabývá bližším seznámením s mikroskopem LEXT a jeho možným využitím v materiálovém inženýrství.

ÚVOD

LEXT je představitel nové generace optických systémů s vysokou přesností 3D zobrazování a měření. Na rozdíl od většiny mikroskopů, konstruovaných především pro biologické účely, je tento mikroskop předurčen pro uplatnění v materiálových vědách. Tomu je uzpůsobena například i konstrukce mikroskopického stolku, na kterém je možné pozorovat pod maximálním zvětšením i objemné vzorky s výškou až 10cm a hmotností 10kg. Mikroskop je využitelný v „mikro“ a „nano“ technologickém odvětví, kde jsou kladeny vysoké nároky na přesné měření a kontrolu používaných materiálů, miniaturních součástek a jemných spojů s vysokou hustotou propojů.

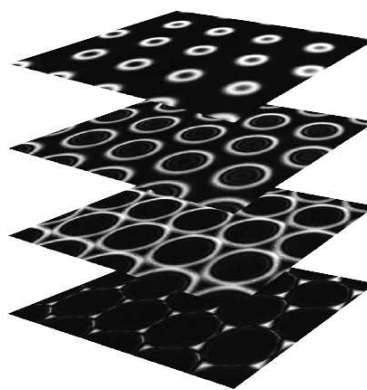


Obr. 1: Laserový konfokální mikroskop LEXT

POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ LEXT, SEM A KONVENČNÍCH SYSTÉMŮ

LEXT OLS 3000 je konfokální laserový rastrovací měřicí mikroskop (Obr. 1), který umožňuje věrné zobrazení povrchů materiálů s nadstandardním rozlišením až $0,12\mu\text{m}$ v ose x a y, navíc se schopností přesného 3D měření ve všech osách. Rozsah zvětšení se pohybuje od 120x do 14400x a pohybuje se tak na hranici konvenčních optických mikroskopů a elektronových rastrovacích mikroskopů (SEM).

Na rozdíl od optické mikroskopie, kde je celý obraz vytvořen najednou, u laserové mikroskopie je použito vychylování fokusovaného laserového paprsku. Obraz je tedy vytvářen postupně, skenováním po jednotlivých řádcích. Laserový mikroskop LEXT umožňuje při znalosti spektra laserového záření pomocí softwarového zpracování obrazu zvětšení až 14400x, které je jinak běžnými optickými mikroskopy vzhledem k vlnové délce světla nedosažitelné. Při použití konfokálního módu se dosahuje nesrovnatelně větší hloubky ostrosti než je tomu u konvenčních mikroskopů. To je dáno principem konfokálních mikroskopů. Speciální konstrukce rotujícího kotouče, umožňuje cíleně zastínit laserový paprsek tak, aby byla zobrazena vždy jen aktuální zaostřená rovina. Nezaostřené části obrazu jsou zatemněny. Vysoké hloubky ostrosti je docíleno postupným skenováním jednotlivých vrstev obrazu a jejich následným softwarovým skládáním (obr. 2).

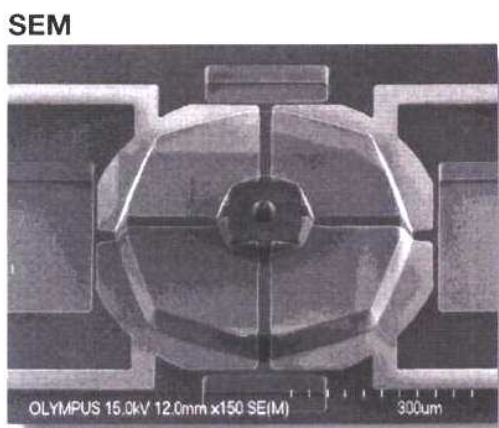


Obr. 2: Princip konfokálního skládání obrazu

Laserový mikroskop LEXT dosahuje kontrastu srovnatelného s elektronovými mikroskopy. Elektronové skenovací mikroskopy (SEM) disponují vyšším zvětšením, ale jejich nevýhodou je, že v naprosté většině případů vyžadují poměrně komplikovanou přípravu vzorků. Tato příprava vzorků může trvat desítky minut až hodiny. Bez jakékoliv úpravy se mohou sledovat v podstatě jen

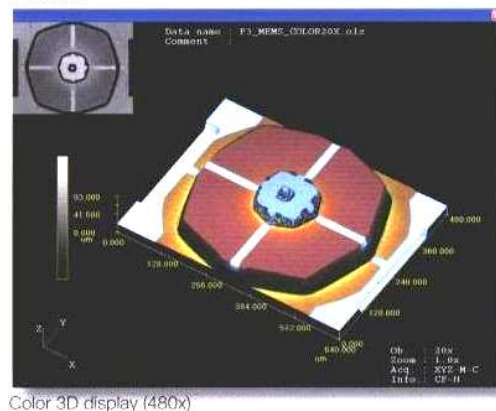
dokonale suché a dobře vodivé vzorky. Nevodivé vzorky je třeba pokovit tenkou vrstvou zlata, vlhké vzorky je nutné vysušit, nebo vymrazit. Z podstaty elektronových mikroskopů dále plyne, že vzorky musí být během pozorování umístěny ve vakuu. Zmíněné operace mohou v některých případech ovlivnit vzhled sledovaného povrchu, v každém případě komplikují a prodlužují čas nutný pro pozorování. Pozorovací čas se výrazně prodlužuje zejména pokud je potřeba zkoumat velký počet vzorků a často je v komoře měnit. Vytvoření vakua v komoře trvá jednotky až desítky minut, podle výkonu použitých vývěv. Vzhledem k často omezené velikosti vakuové komory je nemožné pozorovat objemné vzorky. Vytvořený obraz vzorku je vždy monochromatický a přesné měření v osách x, y a z je velice omezené. Některé ze zmíněných nevýhod, například komplikované pozorování mokrych a nevodivých vzorků, je možné do jisté míry řešit použitím tzv. enviromentálních elektronových mikroskopů (ESEM). Přítomnost vakua je však i u těchto mikroskopů vždy nutná.

Mikroskop LEXT na rozdíl od SEM a ESEM nevyžaduje pro svoji činnost vakuum. Vzorky se umísťují přímo na mikroskopický stolek v běžné atmosféře. Vzorky není ve většině případů nutné nijak připravovat ani dělit, což výrazně zkracuje čas nutný pro pozorování. Je možné sledovat libovolné, i velice objemné vzorky (s výškou až 10cm, hmotnost až 10kg). U LEXTu není na závadu přítomnost vody ve zkoumaných vzorcích a sledování nevodivých vzorků je rovněž bez problémů. Výhodou systému LEXT je schopnost velice přesného měření zkoumaného vzorku a možnost kombinace laserového a konvenčního optického pozorování, které umožňuje zobrazit objekt v reálných barvách. Porovnání snímků z mikroskopu SEM a LEXT je na obr. 3 a 4.



Obr. 3: Snímek pořízený SEM mikroskopem

LEXT



Obr. 4: Snímek pořízený mikroskopem LEXT

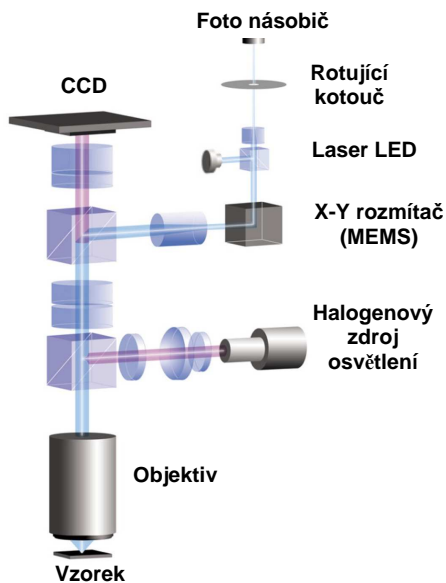
PRINCIP FUNKCE SYSTÉMU LEXT

LEXT využívá laserový paprsek o vlnové délce 408 nm s optickými prvky uzpůsobenými pro tuto krátkou vlnovou délku tak, aby se optimalizovala kvalita zobrazení a omezily případné odchylky. Schéma optické trasy je na obr. 5. Velkou výhodou systému LEXT je možnost využít laserový paprsek společně s tradičními mikroskopickými technikami (pozorování ve světlém nebo tmném poli, polarizovaném světle či s D.I.C. interferenčním kontrastem). Pozorování je možné provádět v režimu video („živý“ obraz), v režimu laserového nekonfokálního či konfokálního zobrazení.

Možnosti zobrazení jsou následující:

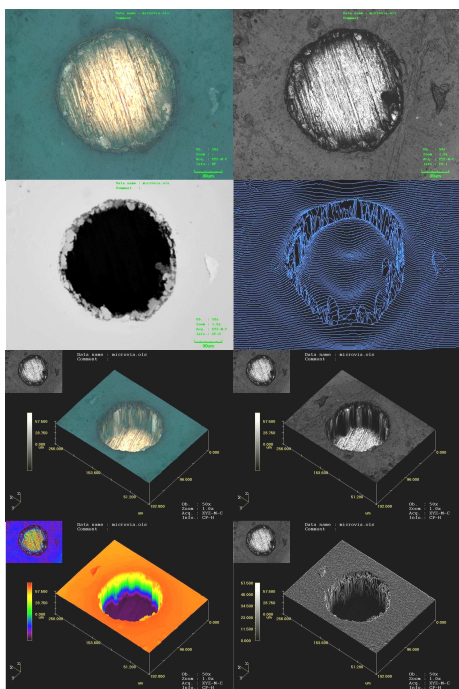
- Pozorování v optickém módu
 - Bright field – světlé pole
Běžný barevný obraz
 - Dark field - temné pole
Vhodný pro pozorování rýh, trhlinek, zrcadel po leštění, waferů.
 - D.I.C. (Differential interference contrast)
Vhodný pro pozorování mletých a leštěných povrchů, waferů, HDD povrchů magnetických hlav, metalografických struktur.
- Pozorování v laserovém módu
 - Nekonfokální zobrazení
 - Konfokální zobrazení
 - Konfokální D.I.C. pozorování

Nový konfokální laserový D.I.C. režim je zvláště užitečný pro zvýraznění jemných texturových změn při analýze povrchů (škrábance, rýhy, drobné defekty).



Obr. 5: Optická trasa mikroskopu LEXT

LEXT je první systém který umožňuje získat simultánní zobrazení vzorků ve třech rozměrech a ve skutečných barvách tím, že kombinuje laserové 3D zobrazení s plnobarevným zobrazením ve světlém poli, což je užitečné zejména při pozorování barevných vzorků, jako jsou např. CCD čipy. Na obr. 6 je znázorněn sledovaný objekt (microvia otvor) v různých pozorovacích módech (optický barevný mód, laserový konfokální 2D mód, intenzitní mód, drátový intenzitní model, 3D plnobarevný model, 3D model s texturou, 3D model s barevným zdůrazněním výšky, 3D drátový model).



Obr. 6: Různé zobrazovací módy mikroskopu LEXT – microvia otvor 125 μ m

Využití moderního diodového laseru s dlouhou životností umožnilo zkonstruovat kompaktní systém s malými nároky na místo a nízkými provozními náklady. Tuhý stativ a speciální antivibrační stolek minimalizují přenos vibrací na řídicí jednotku a vzorek, což umožňuje pořizovat kvalitní snímky i při maximálním zvětšení.

Běžné konfokální laserové mikroskopy získávají 3D obraz tak, že skládají mnohonásobná zobrazení ploch, získaná z rastrovaných komponentů jejich výšek, po pravidelných krocích. LEXT používá novou inteligentní softwarovou funkci výpočtu ohnisek (CFO), která k vytvoření obrazu celé plochy vzorku vybírá vždy pouze její nejlépe zobrazené části [1]. Pro každou jednotlivou část plochy se přitom optimalizuje ohnisko. CFO nejen zobrazování výrazně urychluje, ale umožňuje také získat nejlepší výsledný obraz.

LEXT výrazně překračuje rámec konvenční mikroskopie také tím, že představuje velmi výkonný 3D metrologický nástroj. Rozlišení v ose X a Y je 0,12 μ m, v ose Z dokonce 0,01 μ m. Maximální zorný úhel daný minimálním možným zvětšením je 2,560 \times 2,560mm. Díky elektronicky řízenému automatickému posuvu stolku je však možné pomocí softwarového skládání obrazu zobrazit a měřit objekty až 5x větší (1,280 \times 1,280cm).

Systém LEXT umožňuje následující typy měření:

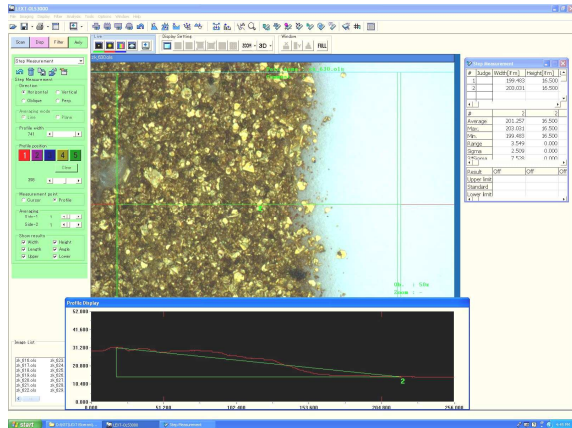
- **2D měření** - Měření v ose X, Y
Měření šířky 1,5mm - 1 μ m (1 zorné pole)
Opakovatelnost : $3\sigma-1 = 0,02\mu$ m
Měření tloušťky čáry, vzdálenosti dvou bodů, vzdálenosti dvou rovnoběžných čar, průměru a poloměru, plochy.
Standardní statistická data, průměrná hodnota, max., min., směrodatná odchylka, σ , 3σ
- **3D měření** - Měření s osou Z
Měření výšky 1mm – 0,5 μ m
Opakovatelnost: $3\sigma-1=0,05+0,002L$ (μ m)
 L =měřená vzdálenost (μ m) .
CFO - vyhledávací funkce – zvýšená přesnost měření
Měření profilu, objemu a povrchu.
- **Analýza drsnosti povrchu**
Měření drsnosti povrchu až do úrovně Rz 0,1 μ m.
Liniová a plošná analýza drsnosti, bezkontaktní způsob měření. Naměřená drsnost odpovídá normám JIS-B0601-1994 a JIS-B0601-2001.

UPLATNĚNÍ

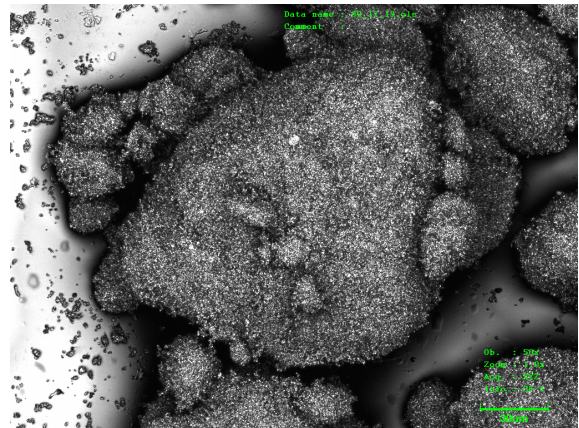
Významné uplatnění systému LEXT je při výrobě komponentů s velmi malou tolerancí včetně MEMS (Micro Electro Mechanical System), waferů, senzorů, automobilových součástek, keramiky, plastů a kovů. Softwarové zpracování dat nabízí analýzu plošné a liniové drsnosti a mikrodrsnosti, měření

profilu, výšky objektu, šířky čar, analýzu částic povrchů a objemů. Schopnosti systému LEXT lze tak velice dobře využít při diagnostice poruch a defektů.

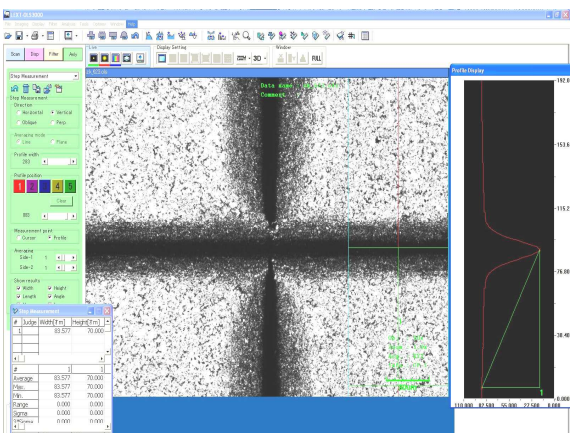
Následující fotografie jsou pořízeny mikroskopem LEXT OLS3000 a nastiňují možné oblasti použití.



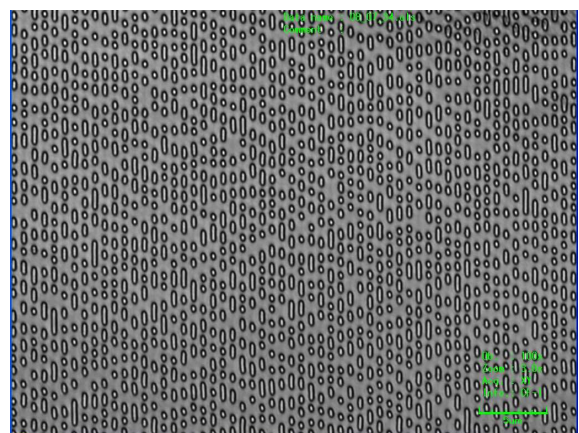
Obr. 7: Ukázka ovládacího programu pro zpracování dat – měření profilu Au pasty na keramickém substrátu



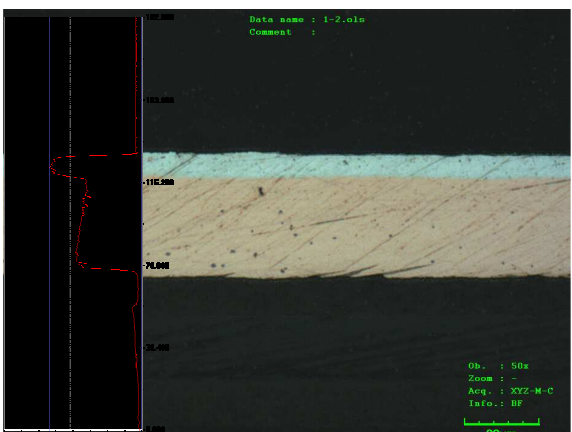
Obr. 10: Keramické částice Alcoa – obraz vzniklý konfokálním laserovým skládáním



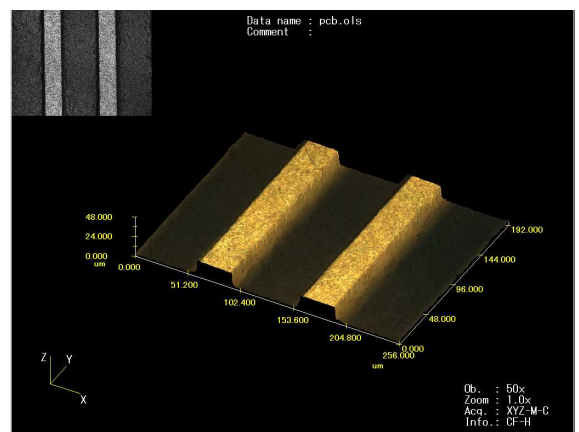
Obr. 8: Ukázka ovládacího programu pro zpracování dat – měření profilu drážkovaného keramického substrátu



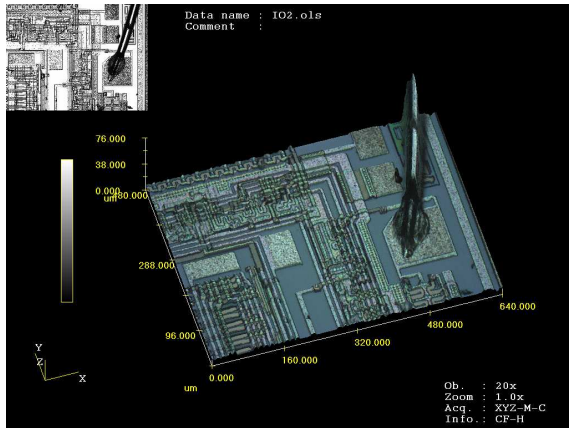
Obr. 11: DVD stopa – obraz získaný v nekonfokálním módu



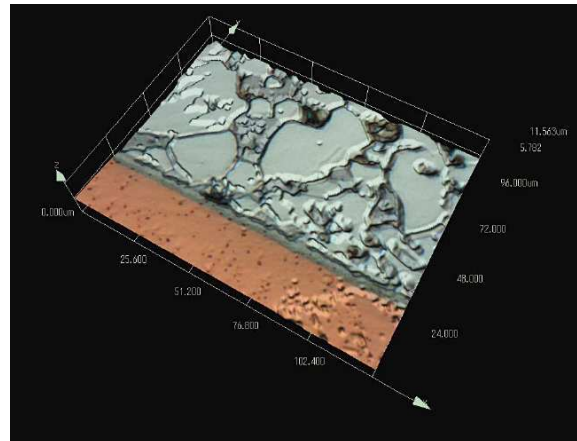
Obr. 9: Měření profilu metalografického výbrusu pokovení



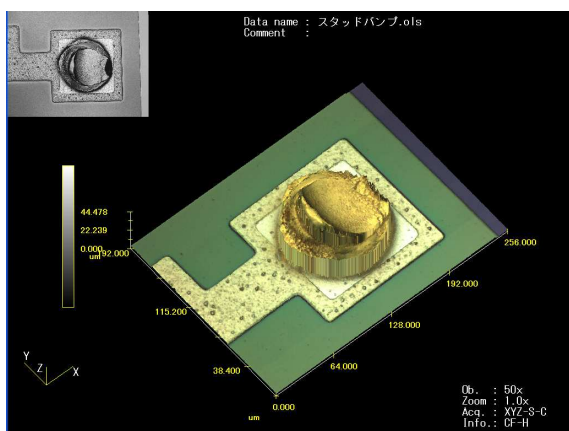
Obr. 12: Plošný spoj – 3D plnobarevný model vzniklý laserovým konfokálním skenováním spojený s barevnou texturou



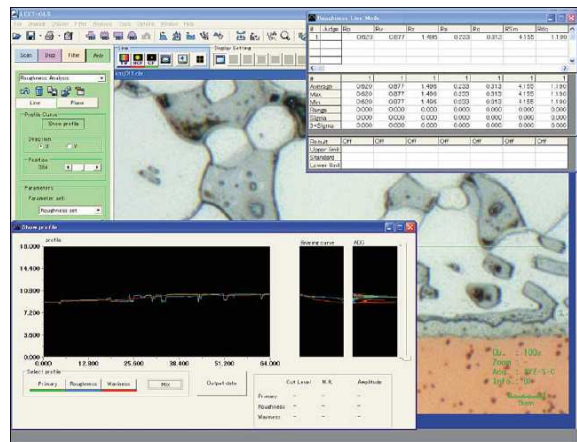
Obr. 13: Integrovaný obvod s bondovaným spojem – 3D plnobarevný model



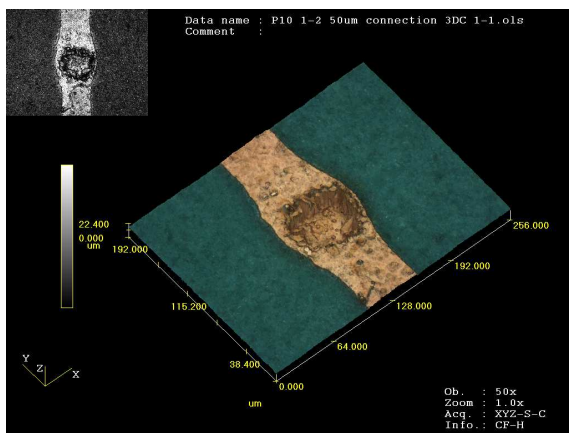
Obr. 17: Iontově leptaná vrstva pájky – 3D plnobarevný model



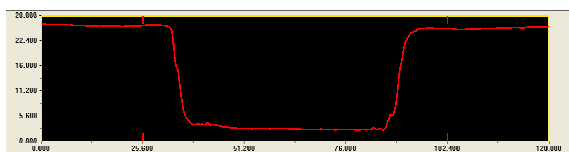
Obr. 14: Kontaktní ploška s Au spojem – 3D plnobarevný model



Obr. 18: Iontově leptaná vrstva pájky - měření drsnosti



Obr. 15: Microvia spoj 50 μ m – 3D plnobarevný model



Obr. 16: Profil microvia otvoru 50 μ m

ZÁVĚR

Získané zkušenosti s používáním laserového konfokálního mikroskopu ukazují, že se jedná o velice propracovaný systém s širokými možnostmi uplatnění. Uplatnění nalézá nejen v diagnostice defektů, ale významně pomáhá i při studiu nových materiálů a zkoumání vlivu technologických úprav. Cennou vlastností je především schopnost přesného měření a možnost provádět sofistikovanou analýzu výsledného obrazu. Systém LEXT nabízí jako rozšíření možnost zkoumat vzorky ve speciálních klimatických komorách při teplotách až od -190°C do 600°C . S tímto doplněním je možné přímo („in situ“) sledovat vliv teploty na zkoumaný objekt.

Příspěvek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru MSM 4977751310 - Diagnostika interaktivních dějů v elektrotechnice.

LITERATURA

- [1] LEXT OLS3000 – Confocal Scanning Laser Microscope: User's Manual, 440s, 2006
- [2] LEXT OLS3100 – Confocal Scanning Laser Microscope: Product Catalogue, 16s, 2007

Tab. 1: Parametry mikroskopu LEXT OLS3000

		LEXT OLS 3000
Rozměry		1,300(V)×530(Š)×615(H)mm 80.9kg
Max parametry vzorku		výška : 100mm, hmotnost 10kg
Objektivy		5x, 10x, 20x, 50x, 100x
Zvětšení		120x~14400x (19" TFT LCD Monitor)
Max. zorné pole		2,560×2,560mm, s elektronickým posuvem stolku až 5x5 polí
Optický zoom		1x~6x
Světelný zdroj		408nm laserová dioda (0.9mW Class 2) 12V/100W Halogenová žárovka
Detekce světla		Fotonásobič
Pozorovací metody		Světlé pole, temné pole, DIC Laserový konfokální mód, Laserový nekonfokální mód, laserový konfokální DIC mód
Měření		Šířka čáry, krok, vzdálenost bodů, vzdálenost rovnoběžek, průměr a poloměr kruhu, úhel, plocha, objem, povrch plochy, drsnost (plocha a čára) a tloušťka vrstvy
Rozlišení	Rovinné (XY)	0.12um
	horizontální (Z)	0,01um, min. zobrazení : 0,005um
	Zobrazení (Z)	0,001um
Přesnost měření	XY	3σ=0,02um
	Z	3σ=0,05+0,002Lum, L=Měřená vzdálenost (um)
PC		OS:Windows XP CPU:Pentium4-2,8GHz, HDD:40GB, Paměť:1GB, CD-RW