

# LOCAL MEASUREMENT OF ELECTRIC DEVICES CHARACTERISTICS

**Radek Šikula**

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xsikul09@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Pavel Tománek

E-mail: tomanek@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This paper deals with novel local measurements of electronics and/or optoelectronic components and devices. Its principal objectives are to review of existing electrical and optical methods of local characterization of devices, describe the experimental set-ups for electrical and optical measurements, namely scanning probe microscopes, provide preliminary electrical and optical measurements of local properties of selected devices and summarize advantages and disadvantages of studied method. Provided measurements show higher lateral resolution of defects on the component surface than are offered by existing methods nevertheless that is not possible to summarize these results without further study. Therefore more detailed measurement is still necessary to allow conclude these results.

**Keywords:** electrical components, characterization, local measurement, scanning probe microscopes

## 1. ÚVOD

Ukazuje se, že problémy zmenšování jsou spojeny s existencí fyzikálních mezí použitých materiálů a konec konců i s nemožností měření lokálních vlastností součástek pomocí klasických elektrických měřicích metod. Právě v oblasti fyzikálních mezí začínají být vážným problémem defekty v materiálech, které při malých rozměrech součástek mohou značně ovlivnit účinnost, výkon a životnost zařízení. Proto je velmi důležité provádět lokální měření [1].

Cesty, které vedly k rozvoji nanotechnologií, zejména možnost manipulace s jednotlivými atomy a skenovací měřicí a detekční metody, by mohly najít uplatnění i v elektronickém průmyslu. Možnost transferu poznatků z nanoměření do elektrotechniky, by mohla přispět i k lepšímu pochopení fyzikálních zákonů v malých pasivních elektronických součástkách.

## 2. SPM – SKENOVACÍ SONDOVÉ MIKROSKOPY

Nejčastěji používané typy SPM, které využívají tunelování nebo interakce v blízkém poli, jsou [2]:

- STM – skenující tunelový mikroskop
- AFM – mikroskop atomárních sil
- SNOM – optický mikroskop blízkého pole.

## 3. STM – SKENUJÍCÍ TUNELOVÁ MIKROSKOPIE

Je to metoda založená na tunelování elektronů, které se objeví mezi vodivým (kovovým) hrotem a vodivým vzorkem. Proto je nutné přiblížit hrot k povrchu vzorku na vzdálenost několika nanometrů. Při přiblížení dochází k tunelování elektronů z měřeného povrchu do snímací sondy. Velikost tunelového proudu je dána tvarem sondy a povrchu a vzdáleností sondy od povrchu.

#### 4. AFM – MIKROSKOPIE ATOMÁRNÍCH SIL

Metoda je založena na měření sil atomárního původu, které působí mezi atomy hrotu a vzorku. Ostří hrot je umístěn na konci pružného raménka s velmi malou tuhostí (menší než je tuhost meziatomových vazeb) a působící síly toto raménko vychylují. Pomocí detektoru je toto vychylování zaznamenáváno a poté sestaven obraz povrchu. Pro toto měření lze použít systém STM. Síly, které raménko ohýbají, mohou být různého charakteru, nejčastěji se jedná o přitažlivou van der Waalsovu sílu, která působí ve větší vzdálenosti raménka od vzorku nebo odpudivou sílu plynoucí z Pauliho principu. Tato síla se projevuje při menších vzdálenostech

##### 4.1. Snímací sonda

Snímací sonda je nejdůležitější součástí AFM. Specifickými vlastnostmi je, že její raménko musí mít velmi malou tuhost, aby bylo možné změřit působení atomárních sil, a zároveň musí mít co největší rezonanční kmitočet (více jak 10 kHz). Rychlost sběru dat totiž úměrně závisí na tomto rezonančním kmitočtu. Různé pracovní režimy snímací sondy: a) dotykový, b) bezdotykový, c) polepový [3].

#### 5. SNOM – OPTICKÁ SKENOVACÍ MIKROSKOPIE V BLÍZKÉM POLI

SNOM (Scanning Near-field Optical Microscope) [4] je skenovací optický mikroskop s lokální sondou, pracující v blízkém poli. Patří do skupiny moderních rastrovacích sondových mikroskopů, jako jsou rastrovací tunelovací mikroskop (STM) nebo mikroskop atomárních sil (AFM), které jsou všechny založeny na pohybu velmi jemné sondy v těsné blízkosti povrchu vzorku (pomocí piezoelektrických krystalů). SNOM musí osvětlovat vzorek ze vzdálenosti menší než je vlnová délka použitého světla, a to optickým vláknem zakončeným otvorem, opět menším než vlnová délka (velikost otvoru určuje maximální možné rozlišení, obvykle má průměr 0,05 – 0,15 mikrometru).

V optické mikroskopii s lokální sondou se používají 3 režimy rastrování:

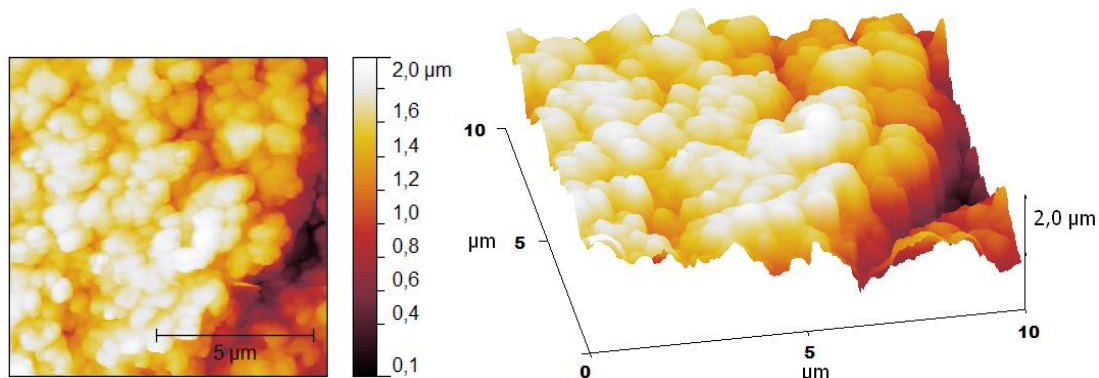
**Režim konstantní výšky:** Při tomto režimu je udržována konstantní výška od povrchu vzorku. Sonda detekuje rozložení intenzity světla v konstantní vztahné rovině nad povrchem vzorku.

**Režim konstantní vzdálenosti:** Režim spočívá v nastavení hrotu sondy v konstantní vzdálenosti od povrchu vzorku. Výsledkem tohoto způsobu detekce je topografie čar stejné intenzity světla nad povrchem vzorku.

**Režim konstantní intenzity:** Také v tomto případě je udržována konstantní výška. Hrot kopíruje topografické změny povrchu, přičemž se mění souřadnice z detekčního zařízení.

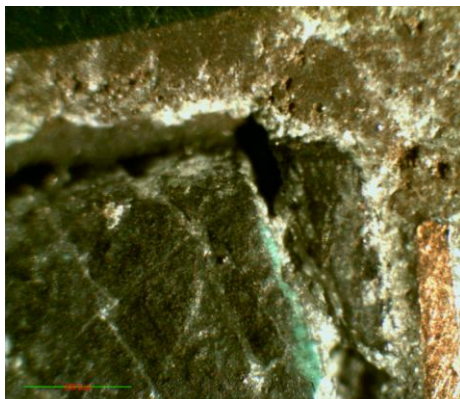
#### 6. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Následující obrázky ukazují první výsledky dosažené se skenovacím SNOM mikroskopem na povrchu multivrstvého keramického deskového kondenzátoru.



**Obrázek 1:** Lokální obraz povrchu multivrstvého keramického deskového kondenzátoru  
2D zobrazení (vlevo), 3D zobrazení (vpravo)

Obrázek 1 znázorňuje topografii povrchu kondenzátoru s malými prohlubněmi (patrnými zejména v pravé části obrázku). Ty jsme považovali, díky nerovinatosti vrstvy, za místa pravděpodobného budoucího průrazu kondenzátoru, což se potvrdilo následným měřením (obr.2). Obrázek 2 potom ukazuje topografii na řezu proraženého a zničeného kondenzátoru po 50 hodinách činnosti. K průrazu došlo opravdu na námi určeném místě.



**Obrázek 2:** Lokální topografie řezu proraženého kondenzátoru

## 7. ZÁVĚR

Povedlo se provést prvotní optická měření lokálních vlastností na povrchu vybraných součástek. I když tyto první obrázky ukazují vyšší rozlišení než je dosahováno pomocí dalších metod, nebylo zatím možné shrnout výhody a nevýhody studované metody. Detailnějšímu studiu tohoto problému bude zasvěcena bakalářská práce.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 0021630503 - MIKROSYN “Nové trendy v mikroelektronických systémech a nanotechnologiích” a grantu GAČR 102/11/0995 “Transport elektronů, šum a diagnostika Schottkyho a autoemisních katod”.

## REFERENCE

- [1] Frank, L., Král, J., *Metody analýzy povrchů. Iontové, sondové a speciální metody*, Academia, Praha, 2002, ISBN: 978-80-200-0594-3
- [2] Mironov, V.L., *Fundamentals of Scanning probe microscopy: Textbook for students of senior courses of higher educational institutions*, The Russian Academy of Science, Institute for Physics of Microstructures, Nizhni Novgorod, NT-MDT, 2004, 98 s.
- [3] Kubínek, R., Vůjtek, M., Mašláň, M., *Mikroskopie skenující sondou* [online]. 2003 [cit. 2010-10-25]. Dostupný z <<http://atmilab.upol.cz/spm.html>>
- [4] Škarvada, P., Tománek, P., Grmela, L., Smith, S.J., *Microscale localization of low light emitting spots in reversed-biased silicon solar cells*, *Sol. Energ. Mat. Sol. C.*, 2010, Vol. 94, No. 12, p. 2358 -2361, ISSN: 0927-0248.