

doc.dr. Min Gao

Key Laboratory for the Physics and Chemistry of Nanodevices and Department of Electronics, Peking University, Beijing 100871, LR Kitajska

Vključevanje optičnih tehnik v elektronski mikroskopiji pri izčrpni karakterizaciji posameznih nanostruktur

Namen te neformalne predstavitve je na kratko prikazati nekaj novih raziskovalnih sposobnosti raziskovalne skupine na Pekinški Univerzi in poiskati možnosti za razširitev sodelovanja z Institutom Jožef Stefan.

Optične tehnike (npr. luminiscenčna in ramanska spektroskopija) lahko dajo mnogo informacij o lastnosti polprevodnika (struktura elektronskih stanj, struktura fononskih stanj, lastnosti v nizko-dimenzionalnih sistemih, itd.) in so komplementarne tehnikam elektronske mikroskopije. Predstavljeni bodo prvi poiskusi, kako združiti sub-mikronske optične tehnike z *in situ* nanomanipulacijami v elektronski mikroskopiji s ciljem, da bi omogočili čim bolj izčrpno karakterizacijo posameznih polprevodniških nanostruktur.

Pri prvem pristopu pritrdimo posamezno prosto polprevodno nanožičko ali nanopalčko na kovinsko konico nanometrskih velikosti, ki je kompatibilna z različnimi inštrumenti kot so vrstični elektronski mikroskop (SEM), transmisijski elektronski mikroskop (TEM) in z inštrumentom za meritev mikro-fotoluminiscence (PL). Tako lahko izvedemo optično (PL), mikrostrukturno (SEM in TEM) in električno (SEM z nanomanipulatorji) karakterizacijo na isti 1-dimenzionalni strukturi. Naši rezultati dobljeni na *in situ* gretih ZnO nanožičkah kažejo na odločilne povezave med emisijo svetlobe v zelenem delu spektra vezano na defekte, rdečim premikom "near band edge" emisije, gostoto nosilcev in primanjkljajem kisika. Ta zelo fleksibilna tehnika omogoča tudi meritev kotne porazdelitve mikrofotoluminiscence iz posameznih ZnO nanopalčk.

Pri drugem pristopu združimo sondo z optičnim vlaknom z vrstičnim mikroskopom, ki je opremljen z nanomanipulatorji in tako omogočimo izčrpno karakterizacijo znotraj ene same komore. Tehnika z nanomanipulatorji, ki uporablja ostre kovinske konice, se uporablja za manipulacije nanostruktur in za električne meritve. Sonda z optičnim vlaknom, ki je sklopljena s spektrometrom ali laserjem, je nadzorovana z nanomanipulatorjem in omogoča lokalno optično detekcijo oziroma vzbujanje. Z uporabo *in situ* vgrajenega svetlobnega izvora in fotodetektorja, ki sta zasnovana na različnih nanostrukturah nazorno prikažemo, da je opisana tehnika visoko fleksibilna in učinkovita in da lahko igra pomembno vlogo pri gradnji prototipnih optoelektronskih naprav in izbiri ustreznih nanostruktur za različne aplikacije.

Associate Prof.dr. Min Gao

Key Laboratory for the Physics and Chemistry of Nanodevices and Department of Electronics, Peking University, Beijing 100871, LR Kitajska

Incorporating optical techniques in electron microscopy for comprehensive characterization of individual nanostructures

The purpose of this informal talk is to introduce briefly some new additions to the research group at Peking University and seek more future collaborations with JSI.

Optical techniques (e.g., luminescence and Raman spectroscopy) can provide rich information on semiconductor properties (band structure, phonon structure, confinements, etc.), which are

complementary to electron microscopy techniques. Initial efforts have been carried out to combine submicron optical techniques and *in situ* nanoprobe technique in electron microscopy to carry out comprehensive characterization of individual semiconductor nanostructures.

In the first approach, we attach individual suspended semiconductor nanowires or nanorods to nanometer sized metal tips, which are compatible for different instruments, such as scanning electron microscope (SEM), transmission electron microscope (TEM) and micro-photoluminescence (PL). Thus optical (PL), microstructural (SEM and TEM) and electrical (nanoprobe technique inside SEM) characterization can be carried out on the same 1-D nanostructure. Our results on *in situ* annealed ZnO nanowires show conclusive correlations among defect-related green emission, redshift of the near band edge emission, carrier density and oxygen deficiency. This highly flexible technique also enables angular dependent microphotoluminescence measurements on individual suspended ZnO nanorods.

In the second approach, we combine optical fiber probe with the nanoprobe technique in SEM to achieve comprehensive characterization of optoelectronic nanostructures inside a single chamber. The nanoprobe technique, employing sharp metal tips, is used for nanostructure manipulation and electrical measurement. The fiber probe, coupled to a spectrometer or a laser and controlled by a nano-manipulator, allows local optical detection or excitation. Using *in situ* light emitter and photodetector based on individual nanostructures, we demonstrate that above technique with high flexibility and efficiency can play an important role in building prototype optoelectronic devices and selecting suitable nanostructures for device purposes.

- [1] Min Gao, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, v92, 113112 (2008)
- [2] Wenliang Li, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, v93, 023117 (2008)