

ÚFKL PŘF MU: polovodiče, nanostruktury, čisté prostory

Josef Humlíček, Petr Mikulík

Ústav fyziky kondenzovaných látek PFF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno

V tomto článku informujeme stručně o výzkumu v oblasti polovodičových materiálů a struktur na ÚFKL, podrobněji pak o nově otevřené laboratoři polovodičů – čistých prostorách pro křemíkovou technologii.

ÚVODEM

ÚFKL skutečně znamená „Ústav fyziky kondenzovaných látek“ [1], jak naznačuje poštovní adresa. Po reorganizaci Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity (PřF MU) nahradil svoji předchůdkyni, katedru fyziky pevné fáze (KFPF). Tradice výuky a výzkumu na KFPF samozřejmě ovlivňuje současné zaměření ÚFKL ve výzkumu i výchově bakalářských, magisterských a doktorských studentů. Rychlá reakce na mimořádný pokrok ve fyzice polovodičů po objevení tranzistoru (v roce 1947) proběhla u nás především na pražských pracovištích, byla ovšem přítomna i na KFPF. Polovodičové materiály přinesly mimořádné aplikační možnosti, zachycené v tehdejším Československu opět poměrně brzy, kromě jiného i výrobou součástek v Tesle Rožnov pod Radhoštěm.

Potřeba dobrého fyzikálního podkladu polovodičové výroby vedla k intenzivním kontaktům a spolupráci mezi Teslou Rožnov a KFPF až do doby otřesů a turbu-

lencí po roce 1989. Navzdory opačným očekáváním se výroba polovodičů v Rožnově zachovala a přes všechny nejistoty patří k „high-tech“ výrobě je dosavadní vývoj pozitivní. Rožnovská výroba křemíkových krystalů, desek (včetně epitaxních vrstev) a specializovaných integrovaných obvodů patří dnes do nadnárodní firmy ON Semiconductor. Pohled na výsledky, nejlépe asi na webových stránkách [2], nás přesvědčuje o tom, že nepřekně a zlomyslně označení skeptiků („OFF Semiconductor“) je aspoň v této chvíli velmi nepřiměřené. Je to zcela jistě přední světový výrobce polovodičových součástek pro řízení napájení, s perspektivou růstu a rozšíření záběru.

ZÁKLADNÍ VÝZKUM NA ÚFKL, PŘESAH DO APLIKACÍ

Ve vědeckém zaměření ÚFKL převládá velmi zřetelně základní výzkum – jednou z jeho podstatných tematik jsou vlastnosti polovodičových materiálů v bulku, defektů a zejména nízkorozměrných (hetero)struktur. Kromě Web of Science by k orientaci mohla posloužit kolekce vybraných publikací, které se snažíme zpřístupňovat na adrese [3].

Laboratorní zázemí ÚFKL (viz ukázky na obr. 1 a 2) je tvořeno hlavně:

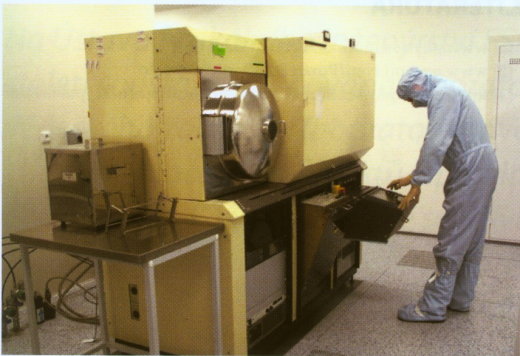
- (i) optickou spektroskopií (reflexní, absorpční, luminescenční, Ramanovskou) v širokém spektrálním a teplotním oboru; specialitou je elipsometrická technika včetně pokrytí infračervené oblasti;
- (ii) rentgenovými aparaturami pro strukturální studia s výkonnými zdroji, detektory i goniometry, s moderními vrstevnatými parabolickými zrcadly; pokrytá je jak difrakce, tak i reflektivita, je možné in-situ sledování žihacích procesů.

Některé ze systémů zkoumaných na ÚFKL, často ve spolupráci s partnery doma i v zahraničí s přístupem k synchrotronovým zdrojům rentgenového nebo infračerveného záření, jsou z hlediska přímého využití dosti ezoterické. Přesto je přesah směrem k možnému aplikačnímu výzkumu přirozený. Dobře se to ukázalo na obnovené spolupráci s průmyslem v Rožnově: po několika neformálních projektech byla spolupráce

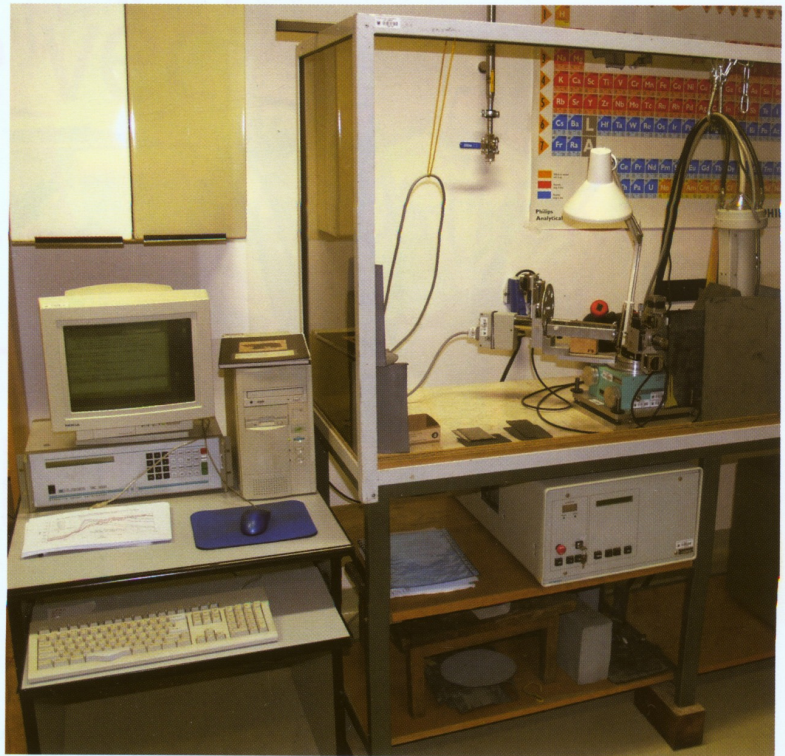


Obr. 1 Fourierovský infračervený spektrometr s elipsometrem (vlevo) s Ramanovým/fotoluminiscenčním přístavkem (vpravo).

institucionalizována založením „Laboratoře diagnostiky defektů a analýz“ (LDDA) v roce 2002, ve které je dalším partnerem VUT Brno. Původní úzké zaměření na rozbor defektů v monokrystalech křemíku se rozrostlo na dosti široký rozsah studia vlastností a procesů v křemíkových strukturách, organizovaného každoročně prostřednictvím oponovaných projektů. Zkušenosti s dobrým fungováním LDDA pak navíc vedly ke vzniku nové, v našich poměrech unikátní laboratoře.



Obr. 3 Pohledy na zařízení v čistých prostorách: expoziční zařízení ve fotolitografii, naprašovačka pro metalizaci kontaktů, koutek měření a pec pro oxidaci a difuzi.



Obr. 2 Rentgenový difraktometr s vysokou intenzitou pro ultratenké vrstvy.

LABORATOŘ POLOVODIČŮ – ČISTÉ PROSTORY PRO KŘEMÍKOVOU TECHNOLOGII

Nutnou podmínkou pro efektivní vytváření polovodičových struktur je bezprašné prostředí a čistota ve všech technologických krocích. Ve výrobě součástek jde zejména o zajištění dostatečné „výtěžnosti“, v extrémní podobě je to součást omezení hustoty integrace ze slavného Moorova zákona. V akademickém prostředí zaměřeném na základní výzkum jsou laboratoře s průmyslovými standardy čistoty vzácné. Důvodem jsou samozřejmě značné nároky finanční i nutnost velmi kvalifikované obsluhy.

Jako bonus během dlouhodobé spolupráce ÚFKL s firmou ON Semiconductor v Rožnově vznikla na PŘF MU v Brně laboratoř polovodičů – čisté prostory pro křemíkovou technologii. Jedná se o první takovou laboratoř v České republice, určenou primárně pro výuku studentů. Čisté prostory jsou nejen naprostou nutností v mikroelektronické výrobě, ale staly se standardem i ve vyspělých firmách v dalších oborech (jako optika, přesná mechanika, metrologie či farmacie). Získání praktických zkušeností v takovéto laboratoři znamená pro studenty lepší přípravu pro dobré uplatnění v praxi.

Nová laboratoř zahrnuje 120 m² čistých prostor třídy čistoty 100 až 1 000 (ISO 5 až 6). Číselné označení třídy čistoty znamená maximální počet prachových částic větších než 0,5 μm v jedné kubické stopě (tj. v 0,028 m³, abychom neobešli zákonnou soustavu jednotek SI). Čisté laboratoře jsou podporovány dalšími prostorami s technologickým zázemím s velmi dobrými parametry klimatizace, filtrace a oběhu vzduchu, přípravy čistých médií a likvidace odpadů. V technologické sestavě jsou kompletní zařízení pro všechny základní procesy přípravy polovodičových součástek na křemíkových deskách o průměru 100 mm (obr. 3).



Obr. 4 Studenti fyziky z PŘF MU v čistých prostorách na prvním praktiku z fotolitografie. Speciální bezprašné kombinézy jsou nezbytné pro zabránění kontaminace křemíkových desek lidmi. Místnost fotolitografie je nejvíce citlivá na bezprašnost, žluté osvětlení je nutné kvůli práci s fotocitlivým lakem.

Laboratoř byla navržena a vybudována v letech 2003–2007, v mimořádně spolupráci ON Semiconductor a Masarykovy univerzity. Univerzita financovala vybudování laboratoře a jejího zázemí v ceně cca 20 milionů Kč. Podmínky byly relativně příznivé, protože šlo o součást přestavby budovy ÚFKL během rekonstrukce historického areálu Přírodovědecké fakulty na Kotlářské ulici. PŘF se dále zavázala k financování provozu. Firma ON Semiconductor spolupracovala při přípravě a budování čistých laboroří i potřebného zázemí, a dále věnovala či zapůjčila technologické vybavení a řídila jejich instalaci a uvedení do provozu.

Současné vybavení laboratoře umožňuje realizovat všechny procesy nutné pro přípravu základních polovodičových součástek. Je zde pec pro vysokoteplotní oxidaci a sycení dopanty (bor, fosfor), rotační lakovka pro nanášení fotorezistu, sesazovací a expoziční zařízení pro proces fotolitografie, chemické boxy pro vyvolávání, leptání a mytí desek, naprašovačka pro metalizaci (vytváření vodivých kontaktů). Měřicí aparatury zatím zahrnují optické mikroskopy, měření tloušťky vrstev a měření elektrických vlastností (obr. 3).

Laboratoř byla uvedena do provozu v dubnu 2007. Ještě do konce tohoto roku prošli laboratoří všichni studenti odborné fyziky PŘF MU od 3. do 5. ročníku; obr. 4 ukazuje jednu ze skupinek v akci. V praktiku byli seznámeni s principy fungování čistých prostor a s prací v nich, s manipulací s křemíkovými deskami a s procesem fotolitografie. V podzimním semestru pak proběhla první technologicky kompletní praktická výuka studentů mikroelektroniky z fakulty elektrotechniky VUT v Brně. Každý student začal s výchozí (substrátovou) křemíkovou deskou a během čtyř návštěv laboratoře na ní provedl tři fotolitografické kroky

společně s příslušným sycením a rozdifundováním fosforu, oxidacemi, leptáním a naprašováním metalizace. Na deskách byly vytvořeny první (zatím diskretní) součástky, jejichž parametry pak studenti proměřili ve svých domovských laboratořích (obr. 5).

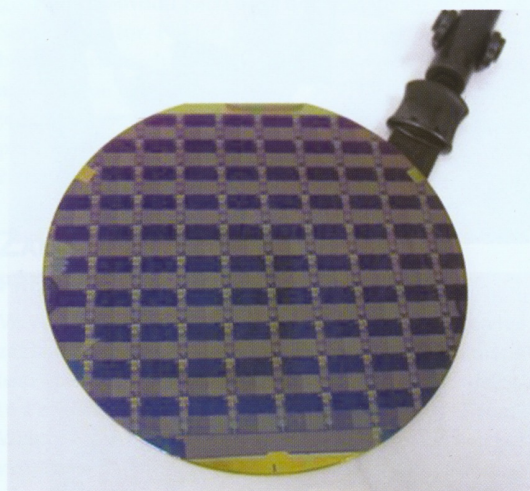
Vzhledem k jedinečnosti laboratoře a velmi náročnému i drahému provozu je plánováno využití studenty z ostatních českých vysokých škol, zejména z oborů fyziky, elektroniky a optiky. V jednání je prozatím výuka pro studenty pražských univerzit (UK, ČVUT) a univerzit v Pardubicích a Olomouci. Taková praxe využívání unikátních možností je obvyklá v evropských univerzitních laboratořích tohoto typu.

Kromě základního výukového poslání nalezneme laboratoř využití i ve výzkumu a vývoji, např. v aplikacích fotolitografie či v senzorce. I v tomto místě předpokládáme těsnou spolupráci se zájemci z českých akademických institucí.

Další informace o laboratoři jsou dostupné z webové stránky ÚFKL [1]. Doufáme, že se nám podaří udržovat přijatelnou míru aktualnosti, alespoň v takové míře, kterou jsme se pokusili vložit do této aktuality.

LITERATURA

- [1] www.physics.muni.cz/ufkl
- [2] www.onsemi.com/PowerSolutions/home.do
- [3] http://www.physics.muni.cz/ufkl/Publications/ufkl_publ.shtml



Obr. 5 Křemíková deska se součástkami („čipy“) vyrobenými v praktiku a uchycená ve vakuové pinzetě (nahore). Výsledek leptání naprašované hliníkové vrstvy na křemíku (dole).