



CEITEC

Prof. Josef Humlíček
Faculty of Science & CEITEC MU
Masaryk University
Kotlářská 2, CZ-61137 Brno, Czech Republic
humlicek@physics.muni.cz

Posudek disertační práce

"The growth of InGaN/GaN scintillation heterostructures"
ing. Tomáše Hubáčka

Předložená práce je věnována vrstevnatým strukturám nitridových polovodičů využitelným ve scintilačních detektorech. Základním úkolem je dosažení velké účinnosti emise z kvantových jam ternáru InGaN mezi bariérovými vrstvami GaN, s krátkým časem dosvitu. Použitá technika depozice MOVPE dovoluje vytváření heterostruktur s mnohonásobnými kvantovými jámami, s velkou tloušťkou nezbytnou pro účinnou detekci. S rostoucí tloušťkou ovšem narůstají problémy se strukturní kvalitou a napětím v (mřížkově nepřizpůsobeném) systému.

Za základ práce je třeba považovat vložené kopie publikovaných článků, ve všech případech s dosti početným kolektivem autorů. Komentáře před tímto souborem jsou spíše útržkové a bylo by možné předpokládat jejich využití díky výběru literárních odkazů. Závažnost dosažených výsledků je samozřejmě v daném kontextu spoluurčována zázemím pracoviště, které má v depozicích metodou MOVPE a ve zkoumání vytvořených struktur mnohaletou tradici.

Posuzovat takto koncipovanou práci je velmi obtížné, zejména pro "prověření výsledků recenzemi publikovaných prací". Proto se v posudku v zásadě omezím na návrh témat k diskusi při obhajobě. Podíl autora disertace na publikovaných výsledcích je spoluautory v separátně dodaném dokumentu klasifikován jako významný; doporučuji toto vyjádření akceptovat.

Pro diskusi u obhajoby navrhuji následující čtveřici témat:

(i) Vzhledem k zásadní důležitosti je třeba spolehlivé měření teploty substrátu během růstu. Popis na str. 21 upozorňuje na rozdíl v údajích termočlánku připevněného k susceptoru a povrchové teploty substrátu měřené pyrometrem. Je možné shrnout typické rozsahy těchto údajů a posoudit např. rozdíl teplot spodní a horní plochy substrátu (s vlivem na jeho prohnutí, viz poslední odstavec v části 3.5)?

(ii) Je možné kvantitativně charakterizovat reprodukovatelnost růstu typických struktur s velkým počtem kvantových jam a vytipovat nejdůležitější faktory, které ji limitují?

(iii) Vkládání tlustších oddělovacích vrstev GaN mezi skupiny pětic jam InGaN (s tenčími bariérami GaN) má zřejmě pozitivní vliv na luminiscenční výtěžek díky většímu objemu pro generaci excitovaných stavů. Ne zcela jasný je ale vliv na napětí ve struktuře, s následující formulací ze strany 11 disertační práce: " Increase of QW number (MQW

thickness) causes higher strain in the structure and GaN separation layer should decrease it a little bit, ...". Je možné dát vágní kvantifikaci "a little bit" přesnější význam?

(iv) Ve formulaci závěrů jsou navzájem si odporující výroky k jedné z důležitých vlastností studovaných struktur: "...we have modified...and obtain...without any slow defect band" uprostřed prvního odstavce, vs. "...defect band observed...was still not fully eliminated", konec třetího odstavce na str. 75. U obhajoby by bylo vhodné situaci vysvětlit.

Texty před a za kopiemi článků jsou napsány více nebo méně srozumitelnou angličtinou. Poměrně časté jsou prohřešky proti gramatickým pravidlům a nápadný je i občasný nesprávný slovosled, vznikající zřejmě převáděním českých formulací.

Shrnutí: předložená práce prokázala schopnost autora k vědecké práci, obsahuje také původní a autorem publikované výsledky.

Práci doporučuji k obhajobě.

/

(

Brno, 6.3.2020

J. Humlíček

Posudek disertační práce Ing. Tomáše Hubáčka

Disertační práce s názvem „Růst InGaN/GaN scintilačních heterostruktur“ Tomáše Hubáčka začíná krátkým obecným úvodem (25 stran), po němž následuje soubor několika publikovaných prací v recenzovaných časopisech. Tématem propojujícím přiložené publikace je technologie přípravy GaN heterostruktur pro aplikace ve scintilačních detektorech, což je téma aktuální a aplikačně velice zajímavé.

Úvodní text je psán anglicky, což je chvályhodné, na druhou stranu je po jazykové stránce slabší, relativně často lze nalézt věty, jež svou stavbou angličtině neodpovídají. To občas brání porozumění textu. Narazit lze i na nepřesná vyjádření (str. 23 „and measure response of the surface“, str. 24 – připravené struktury bude zřejmě obtížné použít k detekci sekundárních elektronů, které mají velice nízké energie). Moje hlavní výtka však míří k až extrémní stručnosti – tato část v sobě shrnuje jak teoretický úvod, tak i popis experimentálních technik, což na tak malém rozsahu v hloubce potřebné pro pochopení diskuse dosažených výsledků není možné obsáhnout. Některá kvantitativní data, na která se text odkazuje, chybí (str. 15 „From lower activation energies“ – kde jsou?, str. 20 - rozklad amoniaku v závislosti na T – odkud?), stejně jako vysvětlení několika pojmů (co je beta-hydrogen elimination proces?). Stručností trpí zejména část popisující použité experimentální přístupy. Chybí vysvětlení několika experimentálních technik – myslím, že v práci tohoto charakteru by bylo vhodné vysvětlit měření teploty (což je nejkritičtější parametr růstu), pouhá zmínka v jednom odstavci na str. 21 je nedostatečná, navíc z článků vyplývá, že byla použita sofistikovanější technika než pyrometrie na jedné vlnové délce. Stejně tak by bylo vhodné vysvětlit optickou metodu měření zvlnění a drsnosti desky (str. 21) a také metodologii zjišťování koncentrace dislokací z XRD dat – ta je v textu pouze zmíněna a čtenář ji objeví až jako odkaz v jednom z publikovaných textů (navíc z obr. 3.8 kvantifikace ani není možná, pro demonstraci měla být zvolena jiná data).

Následující soubor publikací je komentován vždy jednotlivě pouze krátkým odstavcem. Jsou logicky seřazeny a prezentují postup prací Ing. Hubáčka v průběhu studia, od prvotních publikací týkajících se vlivu růstových parametrů na buffer vrstvy a jejich fyzikální vlastnosti až k demonstraci kompletní heterostruktury a její analýzy, která byla zvolena s ohledem na plánovanou aplikaci. Zadaný problém byl zjevně cílevědomě řešen a fakt, že poslední publikace se týká již hotové heterostruktury, dokládá úspěšné dosažení cílů práce. Zde je opět na místě povzdechnutí nad zvoleným formátem disertační práce. Uvítal bych spíše strukturovaný text, který umožní zhodnotit přínos doktoranda, jeho podíl na obdržení výsledcích, jeho schopnost formulovat myšlenky a psát vědecký text – toto nelze z recenzovaných prací publikovaných více autory rozhodnout a je nutné se plně spolehnout na osobu školitele a vedoucí pracoviště. Techniky použité k analýze připravených struktur jsou nápaditě voleny (zejména např. použití katodoluminiscence) a je jich poměrně velké množství. Z práce však není jasné, jaká měření prováděl doktorand sám, případně u kterých se podílel alespoň na zpracování dat.

Publikační aktivita doktoranda je vysoce nadprůměrná – zahrnuje 9 článků v recenzovaných publikacích (z toho 4 jako první autor) a dvě další zaslané, dostatek aktivních vystoupení s příspěvkem na odborných konferencích (ve formě posteru i přednášky) i spoluautorství patentu, které dokládá příkladné propojení základního výzkumu s případnou aplikací. Z tohoto pohledu mnohonásobně převyšuje obvyklé požadavky kladené na úspěšné absolventy doktorského studia. S přihlédnutím k tomu, že studentova práce byla vedena na špičkovém pracovišti, přes formální výtky uvedené výše **doporučuji práci k úspěšné obhajobě.**

Moje další poznámky a dotazy k práci jsou uvedeny níže.

Brno, 28.2.2020

doc. Ing. Miroslav Kolíbal, PhD.

- K publikaci (i)

Obr. 6 a 7 ukazují efekty změny tlaku a teploty na PL spektra. Autoři sami komentují, že pro výsledky nemají vysvětlení (z hlediska kinetiky je opravdu vysvětlení grafu na obr. 6 na první pohled obtížné). Z článku není jasné, jak je dosaženo zvýšení tlaku (aniž by se zvyšoval průtok čpavku) – omezí se čerpací rychlost? Růst je prováděn pro velký poměr V/III – ví se, v jakém módu růst probíhá (omezení difúzí – které komponenty? – nebo rychlostí reakce – opět, jaké)? Větší znalost růstového módu by možná napomohla k vysvětlení obr. 6, stejně jako mikroskopická analýza vrstvy (potvrzení schématu na obr. 5).

Poznámka obecně k mnoha grafům v práci: Je extenzivně využíváno „arbitrary units“. Ač lze použití někde zdůvodnit, většinou se mu dá vyhnout a někde je to vysloveně špatně (např. normalizovaná data v obr. 1 v této publikaci).

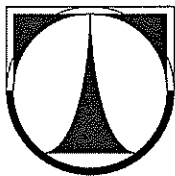
- K publikaci (v)

Tato publikace ukazuje pěknou aplikaci CL pro analýzu zanořených struktur. Celá analýza a vyvozené závěry stojí na předpokladu, že signál přichází zejména z úplně spodní části interakčního objemu. Tvzení, že „...CL originates only in the hatched part ...“ (komentář k obr. 4) je zjevně chybné (pak by nebylo např. možné měřit CL v TEMu), ale i předpoklad, že intenzita CL se významně zvyšuje s informační hloubkou je pro mne obtížně pochopitelný. V článku není žádná reference. Jak mohou autoři toto tvrzení podpořit?

- K publikacím (v) a (vi) – V-pity

Teorie o vlivu V-pitů, založená na PRL publikaci z roku 2005, je zajímavá. Přijde mi ale, že se na ni autoři spoléhají víceméně slepě – v žádné publikaci jsem nenašel TEM analýzu V-pitů, která by potvrdila vytvoření velmi tenkých QW na stěnách V-pitu (a ospravedlnila tak diskusi založenou na předpokladu o jejich existenci na vzorku). Byla taková analýza provedena?

V publikaci (vi) mě zarazila poznámka o nízké kvalitě QW ve velké hloubce (str. 360). Možná naivní otázka, ale nevyřešil by tento problém jednoduše růst tlustšího bufferu, příp. nějaké superstruktury nad bufferem (pod QW)?



Liberec, 5.3. 2020

**Posudek disertační práce Ing. Tomáše Hubáčka „The growth of InGaN/GaN
scintillation heterostructures“**

Disertační práce je příspěvkem k optimalizaci postupů při vývoji polovodičových heterostruktur na bázi nitridů galia a india pro rychlé scintilační detektory. Práce má formát komentovaného souboru sedmi článků, publikovaných zpravidla v časopise Journal of Crystal Growth. Články tvoří logický celek, zaměřují se na různé fáze výroby vrstevnatých heterostruktur pomocí technologie MOVPE. Vyrobené materiály byly charakterizovány zobrazovacími technikami a byly změřeny jejich luminiscenční vlastnosti.

Výsledkem prací je materiál, který se blíží požadavkům pro aplikace v rychlých scintilačních detektorech díky potlačení nežádoucího (pomalu vyhasínajícího) luminiscenčního pásu a zvýšení efektivity (vyšší počet kvantových jam). Jistým limitem zůstávají defekty, spojené s tloušťkou vyráběných vrstev.

Cíle disertační práce tak byly splněny a její aplikační přínos je nesporný. Autorský podíl uchazeče není specifikován, u čtyř článků je však uveden jako první autor, což vyjadřuje jeho pozici v autorském týmu.

Komentář k článkům je přehledný a dostatečně vypovídající, formální úroveň práce je vysoká.

Vzhledem k tomu, že články zařazené do disertace již prošly samostatným recenzním řízením, doporučuji se při obhajobě zabývat širšími souvislostmi a teoretickými koncepty, které se v práci objevují spíše okrajově.

Navrhované otázky do rozpravy:

- Simulace rozkladných a depozičních reakcí může pomoci ve vyhledání optimálních podmínek růstu vrstev. Jaká je spolehlivost dostupných simulačních modelů a byly využity v rámci disertační práce?

- Neexistuje jiná možnost, jak dosáhnout požadovaných scintilačních vlastností, než sendvičová heterostruktura s opakovaným rozhraním, které je zdrojem mřížkových defektů?

Předložený text splňuje svým rozsahem i úrovní podmínky kladené na disertační práci. Ta je založena na sedmi kvalitních časopiseckých člancích, kde je Ing. Hubáček hlavním autorem nebo spoluautorem. Uchazeč prokázal schopnost dostát nárokům vědecké práce experimentální i v oblasti zpracování a interpretace naměřených dat. Prohlašuji, že jsem uvedenou práci prostudoval a doporučuji ji k obhajobě.

prof. Ing. Josef Šedlbauer, Ph.D.