

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum  
Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica

---

Zdeněk Kupka

Mechanismy elektroluminiscence ZnS

*Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica*, Vol.  
9 (1968), No. 1, 255--264

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/119881>

**Terms of use:**

© Palacký University Olomouc, Faculty of Science, 1968

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

*Katedra experimentální fyziky a metodiky fyziky přírodovědecké fakulty  
Vedoucí katedry: Prof. paed. dr. Josef Fuka*

## MECHANISMY ELEKTROLUMINISCENCE ZnS

ZDENĚK KUPKA

*(Předloženo dne 20. června 1967)*

Jedním ze základních problémů na které je soustředěn výzkum elektroluminiscence sirničku zinečnatého a luminiscence vůbec je zkoumání mechanismů buzení luminiscence, přenosu excitační energie na luminiscenční centra a jejího vyzáření. Problém mechanismu elektroluminiscence je u sirničku zinečnatého stále otevřený a dosud neexistuje obecně platný model. Této problematice jsou věnovány souborné práce F. Matossiho a H. Gutjahra [1] a H. K. Henishe [2]. Tato práce vychází ze závěrů práce [3] a je v ní podán přehled a zhodnocení nových výsledků studia mechanismů elektroluminiscence ZnS z hlediska navrženého rozdělení elektroluminiscenčních dějů na dvě skupiny jevů s rozdílnými mechanismy elektroluminiscence.

Při srovnávání výsledků pozorování elektroluminiscence (dále EL) na monokrystalech a práškových luminoforech ZnS od různých autorů se setkáváme často s odlišnými výsledky měření. Souvisí to zejména s podmínkami přípravy vzorků i se samotným uspořádáním při měření EL. Přesto při srovnání jednotlivých výsledků, zejména při měření rozdělení a vzhledu EL ve vzorku, závislosti EL na vlastnostech elektrod a u práškových luminoforů na povrchu a uspořádání jednotlivých zrněk, dozrívání EL, zkoumání prahových efektů a fázových závislostí u elektroluminiscenčních světelných vln, je možno všechna pozorování rozdělit na dvě podstatně se odlišující skupiny jevů [2]. Na základě nejnovějších měření nehomogenního rozdělení EL u práškových luminoforů [7] i monokrystalů [5], [8] do první skupiny zařadíme jevy spojené s vyzářováním z oblasti dotyku krystalu s elektrodou nebo jiným krystalem a vyzářování v povrchové oblasti nebo okolo mechanických poruch krystalu. Do druhé skupiny potom jevy spojené s nehomogenně rozděleným elektroluminiscenčním vyzářováním z objemu krystalu ve tvaru svítících bodů a komet. Při celkové elektroluminiscenci mohou probíhat oba jevy i současně a podle toho, který převažuje, je dán celkový charakter elektroluminiscence EL buňky. Dala by se tak interpretovat různá často i protichůdná měření autorů u buněk podobného složení. Ze zhodnocení výsledků docházíme k závěru, že při dané interpretaci není třeba již dále dělat rozdíl mezi elektroluminiscencí monokrystalů a prášků ZnS. Na základě toho je také možno udělat závěr, že elektroluminiscence na prášcích i monokrystalech ZnS probíhá odlišnými mechanismy pro uvedené dvě skupiny elektroluminiscenčních jevů.

I. MECHANISMUS ELEKTROLUMINISCENCE KONTAKTNÍCH  
A POVRCHOVÝCH OBLASTÍ

a) Přehledné shrnutí poznatků:

Zářící oblasti leží v místě dotyku s elektrodou nebo s jiným krystalkem nebo v povrchové oblasti izolovaného krystalu nebo u mechanické poruchy krystalu. Tato EL je i ve větším objemu rozložena v dané oblasti homogenně nebo ve tvaru krátkých linií. Jas se se vzdalováním od povrchu zmenšuje. Velikost záření závisí silně na napětí. Napěťová závislost jasu EL má stejný průběh při kontaktu krystalku s elektrodou i jiným krystalkem, přičemž jas v případě dotyku s jiným krystalkem je 1,1 až 1,6 krát větší, než jas při dotyku s kovovou elektrodou. Pro jednotlivé zářící oblasti není možné napěťovou závislost jasu EL ( $B$ ) popsat jednoduchým empirickým vztahem

$$B \sim \exp(-b/U^{1/2}), \quad (1)$$

i když pro celkovou luminiscenci ze vzorku byl vztah (1) vhodný. I. K. Veresagin [7] vyjadřuje závislost  $B(U)$  pro zářící oblast v místě dotyku za předpokladu ionizace nárazem na povrchové bariéry

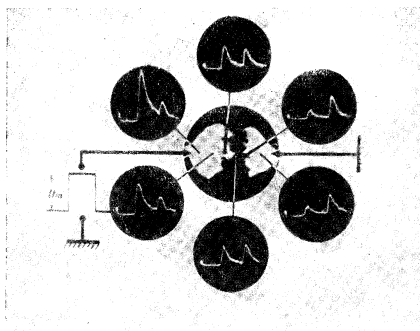
$$B = PI_1U_o^{1/2}a \exp(-b/U_o) \cdot [1 - a \exp(-b/U_o)]^{-1}, \\ U = U_o + I_1RU_o^{1/2}M, \quad M = 1 - \exp(-b/U_o), \quad (2)$$

kde  $P$  je pravděpodobnost zářivé rekombinace,  $U_o$  napětí na oblasti bariéry na které dochází k ionizaci,  $I_1$  proud bariérou při  $U_o = 1$  V,  $a$ ,  $b$  parametry vystihující intenzitu ionizace v závislosti na charakteristikách bariéry,  $U$  vnější napětí na krystalku,  $M$  koeficient zmnožení elektronů. Při přibrání vlastností částic různých rozměrů a sumaci, (2) vede k (1), což je ve shodě s provedenými experimenty. V případě, že elektroluminiscence je u elektrod, vyplývá z měření Frankla (podle [1]), že větší jas vychází z oblasti u katody. Průběh EL světelných vln svědčí o existenci povrchových bariér. Při buzení pravouhlými pulsy světelná oblast v místě dotyku krystalku s kovovou elektrodou má pouze sekundární pík, odpovídající okamžiku vypnutí záporného napětí z kovu (záření při návratu elektronů k ionizovaným centřům). Světelné vlny svítících oblastí v místě dotyku dvou krystalků mají primární i sekundární píky s měnícím se poměrem výšek u různých dvojic krystalků, což odpovídá dvěma více nebo méně symetrickým povrchovým bariérám na každém krystalku. Přitom leptání krystalku jej nazbavuje schopnosti vyzářovat v místě dotyku [7]. Změny v průběhu EL světelných vln v jednotlivých částech monokrystalu při buzení pravouhlými pulsy s periodou  $10^{-3}$  s (monokrystal ZnS—Cu, Al asi  $60 \mu\text{m}$  s přiloženými dvěma uhlíkovými elektrodami) jsou znázorněny na obr. 1. Jas EL dále silně závisí na vlastnostech elektrod, přítomnosti druhé fáze na povrchu a na povrchu samotném.

b) Vysvětlení mechanismu EL:

Na základě průběhu jednotlivých závislostí jasu luminiscence a jejich srovnání s teoretickými modely se většina autorů shoduje na tom, že vybuzení luminiscenčních center v povrchových nebo kontaktních bariérách nastává mechanismem nárazové ionizace elektrony urychlenými polem v oblasti bariéry.

Povrchové bariéry se mohou vytvářet na dotyku polovodiče s kovovou elektrodou, na p-n přechodu, je-li na povrchu krystalu vrstva  $\text{Cu}_2\text{S}$  [2] nebo existencí povrchových ochuzených a povrchových vyčerpaných oblastí [1]. Bez vnějšího napětí má okrajová vrstva tloušťku  $d_0$ . Při zapojení napětí mohou elektrony vstupovat emisí polem z katody nebo jiné fáze do nepropustně zapojené okrajové bariéry (tzv. obrácená difuze proudu bariérami [10]),



Obr. 1 Oscilogramy elektroluminiscenčních světelných vln v různých oblastech monokrystalu  $\text{ZnS-Cu, Al}$  [9]

urychlovat se a ionizovat nepružným nárazem určitý počet luminiscenčních center. Tloušťka bariéry se zvětšuje na hodnotu  $d_1$ . Elektrony však mohou na bariéru také přicházet tunelovým přechodem z povrchových hladin nebo mělkých donorů působením přiloženého pole. Podle [11] je tloušťka povrchové bariéry řádově  $10^{-6}$  cm, což je asi desetinásobek volné dráhy elektronu a střední napětí v bariéře je řádově  $10^5$  V/cm. Za těchto předpokladů má nárazová ionizace luminiscenčních center mnohem větší pravděpodobnost než ionizace luminiscenčních center nebo mřížky přímo elektrickým polem. Klesá-li vnější napětí, zmenšuje se tloušťka okrajové vrstvy a část ionizovaných center leží vně okrajové oblasti a s nimi mohou rekombinovat elektrony vracející se z objemu krystalu. Tato rekombinace odpovídá sekundárnímu maximu světelné vlny. Elektrony ze záchytných hladin krystalu se budou uvolňovat termicky nebo vlivem polarizačního pole. Po přepólování je vrstva zapojena v propustném směru a elektrony proudící vrstvou rekombinují se zbytkem ionizovaných center a vytváří primární maximum světelné vlny. Je-li okrajová vrstva zapojena jen ve stejném nepropustném směru, primární maximum je vytvářeno rekombinací elektronů se zbytkem ionizovaných center z předešlého pulsu. Daná interpretace odpovídá průběhu EL světelných vln v těchto případech. Charakteristickým pro nárazovou ionizaci je zvyšování počtu nosičů náboje, což bylo pozorováno v práci [12].

Při zkoumání fotoelektroluminiscence (FEL) při konstantním ozáření [11] byly zjišťovány závislosti dodatečného záření

$$A_1 = B_{FEL} - B_{FL} - B_{EL}. \quad (3)$$

Dodatečné záření  $A_1$  má shodné frekvenční i teplotní závislosti jako EL. Poněvadž dodatečný proud při konstantním osvětlení nezávisí na napětí na bariéře a vlastnosti dodatečného záření jsou shodné s EL, potom temný proud i při elektrooluminiscenci slabě závisí nebo vůbec nezávisí na napětí na bariéře. To opět podporuje mechanismus ionizace nárazem, neboť při ionizaci center polem by musel temný proud silně záviset na napětí na bariéře. Uvedené pokusy také svědčí o tom, že FEL probíhá stejně jako EL, není vázána na nové nosiče náboje vytvořené světlem a zavedené do oblasti bariéry.

Podle uvedeného modelu by nastalo vyzářování v modrém a s uvažováním přechodu elektronu na centrum přes donorovou hladinu i v zeleném pásu. V případě červeného emisního pásu by nedocházelo k ionizaci nárazem, ale pouze k vybuzení luminiscenčního centra nárazem urychlených elektronů (viz např. [13] a upravený model luminiscenčního centra R. Grassera a A. Scharmanna podle [4] a [3]).

U luminoforu ZnS—Cu, Mn je navíc třeba uvažovat rezonanční přenos energie od zelených center Cu nebo vakancí sřry na diskretní centra Mn, která vytváří systém hladin pod horní hranicí valenčního pásu ZnS. S růstem frekvence potom zesiluje modrý pás, neboť přenos nestačí proběhnout [14].

I když uvedený model mechanismu nárazové ionizace vystihuje základní závislosti v soulahu s experimenty, nemůže jít o model konečný, ale jen o pracovní hypotézu pro další měření EL v povrchových oblastech. Zůstává nadále otevřená otázka povahy povrchové bariéry i původu primárních elektronů, ve které se jednotliví autoři značně liší. Může jít také o kombinaci jednotlivých typů bariér a zdrojů elektronů, které jsou v jednotlivých případech různě zastoupeny. Základní postup při výkladu EL povrchových oblastí na základě ionizace nárazem by se nezměnil. Zůstává také nevyřešeno, zda za určitých okolností se i v povrchové EL neuplatňují zbývající dva mechanismy, zejména mechanismus injece minoritních nositelů náboje (u ZnS děr). Bylo by proto vhodné provést měření všech závislostí i průběhu světelných vln vždy na jednom monokrystalu. Byly by tak získány pro daný krystal opravdu srovnatelné údaje.

## II. MECHANISMUS NEHOMOGENNÍ ELEKTROLUMINISCENCE V OBJEMU LUMINOFORU

a) Přehledné shrnutí poznatků:

(Důkladné shrnutí poznatků o nehomogenní EL je v úvodu práce [5] v a závěru práce [1]).

V objemu luminoforu byly mikroskopicky pozorovány svítící body o průměru menším než  $2 \mu\text{m}$  nebo svítící čáry délky až stovky  $\mu\text{m}$  a tloušťky menší než  $5 \mu\text{m}$ . Čáry leží ve směru  $[1, 1, 0, 0]$  hexagonální struktury a mají tvar komety. Některé svítící body mohou potom přecházet při vyšších napětích v komety nebo zase při snižování napětí svítící komety v body. Komety jsou někdy se-

řazeny ekvidistantně v párech. Komety emitují pouze během jedné půlperiody buďcího napětí, přesněji jejich EL světelná vlna je tvořena jen sekundárním a primárním maximem v pořadí sekundární primární. Změny EL světelné vlny podél jedné komety při buzení sinusovým polem jsou na obr. 2. EL světelné vlny měřené podél jedné komety mění svůj tvar a fázovou polohu podobným způsobem jako bylo pozorováno pro oblast hlavy komety při klesajícím buďcím napětí [8]. U spárových komet se jejich fáze liší o půl periody. Během primárního maxima je hlava komety přivrácena ke kladné elektrodě, takže během jedné půlvlny napětí svítí jen komety stejně orientované. Jas komety roste s rostoucí složkou pole do jejího směru a spolu s tím se i kometa prodlužuje. Existuje prahové napětí, které je pro různé svítící body různé. Záření souboru komet splňuje vztah (1), ale pro záření jediné komety se napětíová závislost nedá vyjádřit jednoduchým vztahem, nespĺňuje v dostatečně široké oblasti ani vztah (1) ani vztah

$$B \sim \exp(-b/U). \quad (4)$$

Z měření závislosti jasu primárního a sekundárního maxima světelné vlny na napětí pro jednotlivé části komety jež bylo provedeno v práci [5] vyplývá, že jen v některých místech komety byla napětíová závislost shodná se závislostí (1) pro průměrný jas EL na celém monokrystalu. V ostatních místech komety byl většinou splněn vztah (4). S rostoucí frekvencí se komety zkracují, jejich jas vzrůstá. Frekvenční závislost má stejný průběh pro jednu kometu i soubor komet.

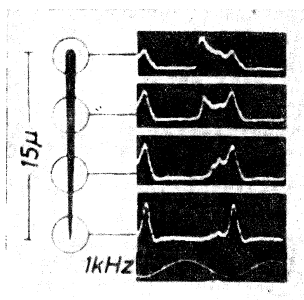
#### b) Vysvětlení mechanismu EL:

Pro vysvětlení mechanismu nehomogenní elektroluminiscence bylo navrženo několik modelů. Většina modelů předpokládá existenci lineárních mřížkových defektů uvnitř krystalu, které mohou být tvořeny např. dislokacemi, podél kterých bude snadno difundovat Cu. Tedy v oblasti takové lineární poruchy by se vytvářel relativně vodivější kanál v méně vodivém ZnS. Někteří autoři předpokládají, že měď vytváří v okolí poruchy druhou fázi  $Cu_2S$ , nejčastěji  $Cu_3S$ .

Oranovskij a Chmelinin [15] předpokládají, že jednotlivé svítící čáry jsou tvořeny p-n přechodem, na kterém dochází k ionizaci center nárazem. Vodivé kanály pokládají za zdroj primárních volných elektronů. Hlava komety potom leží na průsečíku vodivějšího kanálu  $Cu_2S$  s p-n přechodem. Proti tomuto modelu hovoří to, že jas a délka komety je úměrná k průmětu vnějšího napětí do směru komety, a také měření světelné vlny jednotlivé komety a předpoklad existence p typu ZnS.

Gillson a Darnell (převzato z [1] a [5]) také předpokládají, že lineární mřížkové poruchy ve směru [1, 1, 0, 0] tvoří p a n oblasti, na nichž se vytváří p-n přechody. V první půlvlně mohou v nepropustně zapojeném přechodu vznikat elektrony a díry. V druhé půlvlně se díry injektují do n oblastí a obsazují s mřížkovými poruchami spojené akceptorové hladiny a tedy ionizují s nimi spojená zářivá centra. Ionizovaná centra potom rekombinují s volnými elektrony. Intenzita a frekvence pole určují cestu děr v půlperiodě a tak by mohla být interpretována délka ohonu komety. Tento model opět předpokládá existenci p fáze ZnS, nebo systém dvou střídajících se vrstev různé vodivosti, kolmých k rovinám defektů uspořádání.

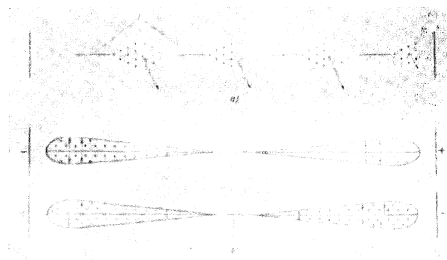
Fischerem navržený mechanismus [16] (převzatý z [1], [5] a [8]) vychází z předpokladu, že v ZnS jsou přítomny lineární vodivé inkluze jehličkovitého tvaru, dekorované mědí Cu ve tvaru druhé fáze Cu<sub>2</sub>S nebo Cu<sub>3</sub>S, ze kterých potom dochází k bipolární emisi nositelů proudu. Vodivý kanál končí ostrými hroty a také do stran vyběhá ostrými výčnělky. Na těch se potom u konce



Obr. 2 Elektroluminiscenční světelné vlny podél jedné komety při buzení sinusovým polem [8]

kanálů koncentruje přiložené vnější pole. Na základě emise a ssání na hrotu dochází na jedné straně kanálu k injekci elektronů do okolí kanálu, na druhé straně k injekci děr. Elektrony se zachycují na mělkých donorech a díry na aktivátorech v těsné blízkosti kanálu, což je způsobeno malou pohyblivostí děr (asi  $10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1}$  [1]). Proti další injekci děr potom působí polarizační pole děr zachycených na aktivátorech, takže emise děr i elektronů z hrotu kanálu se postupně zmenšuje. Při vypnutí pole dojde následkem polarizačních polí k emisi elektronů z kanálu v oblasti, kde jsou zachyceny díry a na druhé straně kanálu zase k návratu elektronů zpět do kanálu. Tomu by odpovídala sekundární komponenta světelné vlny. Při obrácení polarity napětí se emise elektronů na jedné straně a jejich návrat na druhé straně usnadní, což se projeví ve formě primární komponenty světelné vlny. Ohony Fischer vysvětluje postupným ubýváním emise děr na konci kanálu, kde je pole zpočátku nejsilnější a postupně se místo injekce posunuje od hlavy komety k ohonu. To odpovídá změně světelné vlny snímané podél komety v [8] (obr. 2). Tímto mechanismem se dá vysvětlit chování spárovaných komet. U nespárovaných komet předpokládá, že poruchová čára končí v nějaké dutině, kde nemůže vzniknout druhá větev komety. Existence dlouhých čar při nehomogenní EL se dá vysvětlit předpokladem, že čára je složena z velkého počtu malých oblastí vysoké vodivosti s izolovanými meziprostory, do kterých jsou injektovány elektrony a díry (obr. 3a). Na základě tohoto modelu můžeme objasnit základní jevy EL: Závislost jasu na napětí, frekvenci, velikost kvantového výtěžku EL pro pozorování záření jednotlivých komet nebo jejich částí.

A. G. Fischer předložil ještě tzv. „obrácený Maedův model“, který rovněž uspokojivě vysvětluje vznik komet, ale pomocí mechanismu nárazové ionizace Maeda původně předpokládal, že se na koncích vodivých měděných kanálů z geometrických důvodů zesiluje pole. Elektronů z vodivého kanálu jsou tímto polem urychleny ve směru ke kladné elektrodě a ionizují luminiscenční centra. K rekombinaci by potom mohlo dojít při zpětném chodu elektronů po přepólování od záporné elektrody k ionizovaným centrům.



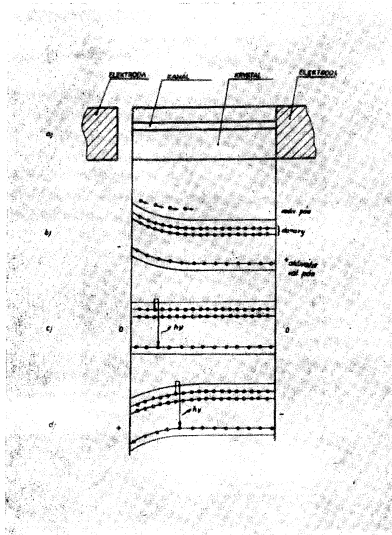
Obr. 3 K Fischerovu mechanismu elektroluminiscence čar a komet [1]

Poněvadž z experimentů vyplývá opačná fáze světelné vlny, Fischer–Maedův model obrátil. Elektronů by se uvolňovaly v oblasti ZnS ze zachytných hladin a polybovaly se vlivem pole do oblastí silného pole ke konci vodivého kanálu, zde by se urychlovaly a ionizovaly mříž. Vzniklé díry se zachytí na centrech a volné elektrony odtékou vodivým kanálem a jsou na druhém konci emitovány do krystalu. Zde elektrony mohou rekombinovat se zachycenými dírami, které zde vznikly v předcházející půlperiodě v primárním maximu světelné vlny. Sekundární maximum je potom způsobováno rekombinací ionizovaných center s elektrony uvolněnými polem ze zachytných hladin v první půlperiodě a které nebyly odsády do vodivého kanálu. Elektronů pro sekundární maximum by také mohly být uvolněny ze zachytných hladin polarizačním polem děr zachycených na centrech, které začne působit opačným směrem po vypnutí vnějšího pulsu. Oba Fischerem navržené modely mechanismu předpokládají, že k rekombinaci dochází vně vodivého kanálu.

Další model navrhl J. Kubátová [5]. Ve shodě s předcházejícími autory předpokládá, že v krystalech existují lineární defekty, podél kterých se usadí větší množství Cu než je v průměru v krystalu, ale na rozdíl od předešlých modelů předpokládá, že měď zde nevytváří druhou fázi  $Cu_2S_n$ , nýbrž je zabudována v kanálu ve formě aktivátoru. Vlivem společného zabudování koaktivátoru Cl, kterému přísluší mělké donorové hladiny, je ZnS v kanálu vodivější než okolní ZnS. Dále předpokládá, že ionizace i rekombinace bude pobíhat v samotném kanálu, tedy že kometou bude zviditelněn přímo kanál. Kanály budou ústít na povrchu krystalu, na vnitřních mechanických poruchách nebo na elektrodě. Mechanismus EL na základě tohoto modelu je znázorněn na



obr. 4. Při přiložení konstantního napětí v případě b) dochází k postupnému odsávání elektronů z oblasti volného konce kanálu. Tyto elektrony jsou odváděny kanálem do elektrody. U volného konce bude vzrůstat kladný prostorový náboj a s ním spojené vnitřní pole. Vlivem tohoto pole budou elektrony natolik urychlovány, že budou schopny při svém průchodu kanálem ionizovat



Obr. 4 Mechanismus nehomogenní elektroluminiscence podle J. Kubátové [5]

centra. Tento proces bude pokračovat do vykompenzování vnějšího a vnitřního pole. Řešením Poissonovy rovnice dostává, že k získání vnitřních polí  $10^6$  V/cm musí být koncentrace prostorového náboje okolo  $10^{18}$  e, což odpovídá běžným koncentracím donorů.

Při vypnutí vnějšího pole c) začnou elektrony proudit do oblasti prostorového náboje, částečně rekombinují s ionizovanými centry a částečně se zachytí na donorových hladinách. Zbytek ionizovaných center rekombinuje při přepólování vnějšího napětí — stav d).

Tento model má oproti ostatním uvedeným modelům výhodu svou jednoduchostí, že nepředpokládá ani existenci p-n přechodů, ani existenci druhé fáze  $\text{Cu}_2\text{S}$ , jejíž existence v krystalu ZnS se dá těžko prokázat. Zavádí však

velmi sporný předpoklad, že hlava komety leží na povrchu krystalu nebo zlomu, což nebylo vždy pozorováno. Také nevysvětluje, proč vlivem prostorového náboje uvnitř kanálu nedochází k nasávání elektronů z jeho okolí, když je přechod z kanálu do okolního ZnS plynulý a koncentrace Cu a Cl nemůže tvořit tak ostré rozhraní. Tento proces je při řešení Poissonovy rovnice zanedbáván. Model také neodpovídá měření rozdělení světelné vlny podél komety provedenému v [8] (obr. 2).

Z uvedených modelů zatím nejlépe vyhovují modely mechanismu EL navržené Fischerem. Jsou to „obrácený Maedüv model“ a zejména potom Fischerův model bipolární injekce nosičů náboje z hrotu. Ten je zatím ve shodě se všemi výsledky měření nehomogenní luminiscence. Poněvadž tato mikroskopická proměrování jednotlivých komet jsou velmi obtížná a jsou zatížena značnou chybou, není dosud možno rozhodnout o konečné platnosti některého z uvedených modelů. K tomu bude třeba provést další přesná měření různých závislostí jasu a světelných EL vln na kometách, zejména na velkých homogenních krystalech, podobných jako byly užity v práci [17]. Dále bude třeba identifikovat povahu cizí fáze v ZnS a určit její rozdělení v krystalu.

Měření všech závislostí na tětchze vzorcích, zejména na velkých monokrystalech, homogenních s ohmickými kontakty by mohla prokázat, zda je odlišné elektroluminiscenčních jevů na kontaktech a povrchu a elektroluminiscence na kometách opravdu oprávněné a zda je v těchto případech třeba uvažovat dva rozdílné mechanismy elektroluminiscence, jak bylo v této práci provedeno.

Závěrem chci poděkovat RNDr. L. Sodomkovi, ČSc. za cenné připomínky při zpracování této práce.

#### LITERATURA

- [1] *Matossi, F., Gutjahr, H.*: Phys. Stat. Sol., 3 (1963), 167.
- [2] *Henish, H. K.*: Electroluminescence. Překlad, Izd. Mir, Moskva, 1964.
- [3] *Kupka, Z.*: Mechanismy elektroluminiscence ZnS. Písemná rigorosní práce, přírodovědecká fakulta UP, Olomouc, 1967.
- [4] *Dvořák, L.*: Luminiscenční centra ZnS. Písemná rigorosní práce, přírodovědecká fakulta UP, Olomouc, 1967.
- [5] *Kubítová, J.*: Nehomogenní elektroluminiscence monokrystalů ZnS—Cu. Kandidátská práce, ČSAV, Praha, 1965.
- [6] *Waymouth, J. F., Bitter, F.*: Phys. Rev., 95 (1954), 941.
- [7] *Verešagin, I. K.*: Opt. i Spekr., 20 (1966), 6, 1066.
- [8] *Gobrecht, H., Nelkowski, H., Schlegelmilch, R.*: Leuchtwellen bei mikroskopischer Beobachtung der EL von ZnS—Cu, Al. Materialy Int. Conf. on Lum., Budapešť, 1966, Preprints D 10, 174 a 179.
- [9] *Bonč-Bruevič, A. M. a kol.*: Opt. i Spekr., 11 (1961), 1, 87.
- [10] *Verešagin, I. K.*: Acta Phys. Pol., 26 (1964), 3—5, 849.
- [11] *Verešagin, I. K.*: Izv. AN SSSR, fyz., 30 (1966), 99.
- [12] *Verešagin, I. K., Kosjačenko, S. A.*: Opt. i Spekr., 17 (1964), 3.
- [13] *Schmidt, J.*: Acta Phys. Pol., 26 (1964), 3—4, 785.
- [14] *Ostaszewicz, E.*: Acta Phys. Pol., 27 (1965), 2, 293.
- [15] *Oranovskij, V. E., Chmeljnin, B. A.*: Opt. i Spekr., 7 (1959), 42.
- [16] *Fischer, A. G.*: J. Electrochem. Soc., 110 (1963), 733.
- [17] *Bočkov, I. V. a kol.*: Izv. AN SSSR, fyz., 30 (1966), 4, 628.

Summary

ON THE MECHANISM OF ELECTROLUMINESCENCE OF ZnS

*Zdenek Kupka*

The appearances of electroluminescence are divided in two groups with a different mechanism of electroluminescence. From this point of view the work summarizes and appreciates new results of study of the electroluminescence mechanism concerning the single crystals and powders of ZnS.

Резюме

МЕХАНИЗМЫ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ZnS

*Зденек Купка*

В работе приведены обзор и оценка новых результатов изучения механизмов электролюминесценции монокристаллов ZnS и поликристаллических люминофоров ZnS из точки зрения предложенного разделения электролюминесцентных явлений на две группы с разным механизмом электролюминесценции. Во-первых электролюминесцентные явления в контактных и поверхностных областях для которых предложен механизм ударной ионизации и во-вторых неомогенная электролюминесценция внутри кристаллов для которую предложен механизм двухполярной инжекции электронов из острия.