

- [1] Степанов И.А. // Изв. АН Латв. ССР. Сер. физ. и тех. наук. 1985. № 2. С. 83–90.
 [2] Бартенев Г.М., Косарева Л.П., Бартенева А.Г. // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 1983. Т. 25. № 6. С. 441–445.
 [3] Данилов А.В., Бартенева А.Г. // Механика композитных материалов. 1986. № 2. С. 240–245.
 [4] Гленсдорф П., Пригожин И. // Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1973. 280 с.
 [5] Степанов И.А. // Вопросы динамики и прочности. 1991. Т. 54. С. 76–84.
 [6] Бутцева Г.Л. и др. // Библиотека программ обработки спектров для машин типа ЕС ЭВМ. Дубна, 1987. С. 105–106.

06;07

Журнал технической физики, т. 66, в. 2, 1996

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ НА ОСНОВЕ КОНТАКТОВ МЕТАЛЛ–СУЛЬФОСЕЛЕНИД ЦИНКА

© В.П.Мазний

Черновицкий государственный университет,
 274012 Черновцы, Украина
 (Поступило в Редакцию 26 декабря 1994 г.)

В оптико-электронной аппаратуре широко используются источники света со сплошным спектром излучения: лампы накаливания, штифты Нернста, глобары, модели абсолютно черного тела, газоразрядные лампы высокого давления. Эти громоздкие, неэкономичные и инерционные приборы в ряде случаев можно заменить быстродействующими малогабаритными полупроводниковыми светодиодами, работающими в предпробойном режиме. В частности, предпробойные электролюминесцентные излучатели (ПЭЛИ) на основе SiC уже находят применение в качестве высокостабильных широкополосных опорных источников, имитаторов звезд класса G2 и др. [1,3]. Более широкое использование SiC светодиодов ограничено низкой внутренней эффективностью ($\eta_{\text{int}} \approx 10^{-4}$ квант/электрон) предпробойной электролюминесценции (ПЭЛ). С этой точки зрения интерес представляют ПЭЛИ на основе сульфоселенидов цинка, для которых η_{int} по крайней мере на порядок выше [3]. В данной работе рассмотрено влияние различных факторов (технологических, температуры, уровня возбуждения и т.п.) на основные светотехнические характеристики и параметры предпробойных ZnSe и ZnS светодиодов.

Отметим, что, хотя ПЭЛ может наблюдаться в диодной структуре любого типа (контакт Шоттки, $p-n$ -гомо- или гетеропереход, МДП структура), создание высокостабильных ПЭЛИ сопряжено с решением ряда проблем. Основная из них состоит в разработке технологических режимов получения совершенной области, в которой локализуется электрическое поле, вызывающее ПЭЛ. Наличие в барьере различных дефектов приводит к локальному увеличению электрического поля и плотности тока в этих местах, а в конечном итоге к возникновению “микроплазм”. Последние (если диод излучает в видимой области

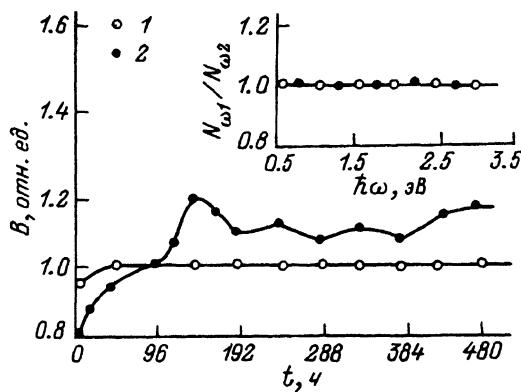


Рис. 1. Изменение во времени интенсивности ПЭЛ контактов Ni-ZnSe с однородным (1) и "микроплазменным" (2) свечением.

На вставке отношение спектров ПЭЛ тех же диодов до $N_{\omega 1}$ и после. $N_{\omega 2}$ — 500 часов работы. $T = 300\text{ K}$

спектра) воспринимаются визуально в виде светящихся точек, хаотически расположенных по площади выпрямляющего контакта. "Микроплазменный" пробой является одной из главных причин временной нестабильности светотехнических параметров ПЭЛИ.

Приводимые в литературе результаты исследований ПЭЛ сульфоселенидов цинка относятся как раз к структурам с "микроплазменным" пробоем [3]. Разработанная нами технология позволила на основе низкоомных (0.1–10 Ом при 300 K) монокристаллических подложек ZnS и ZnSe создать поверхностно-барьерные диоды с однородным свечением по площади выпрямляющего контакта [4,5]. Влияние неоднородностей на зависимость интенсивности V предпробойной электролюминесценции от времени t иллюстрируется рис. 1 на примере контактов Ni-ZnSe. Приведенные результаты убедительно свидетельствуют в пользу более высокой временной стабильности диодов с однородным пробоем по сравнению с "микроплазменным". Исследования показали, что наиболее сильные изменения ($\lesssim 10\%$) интенсивности излучения однородных ПЭЛИ происходят в первые 10–15 ч работы, а в дальнейшем она остается неизменной на протяжении нескольких сотен часов их эксплуатации.

Действие сильного электрического поля приводит к возбуждению горячих носителей и специфическому спектру излучения ПЭЛИ. На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости спектральной плотности фотонов N_{ω} от их энергии $\hbar\omega$ для диодов на основе исследуе-

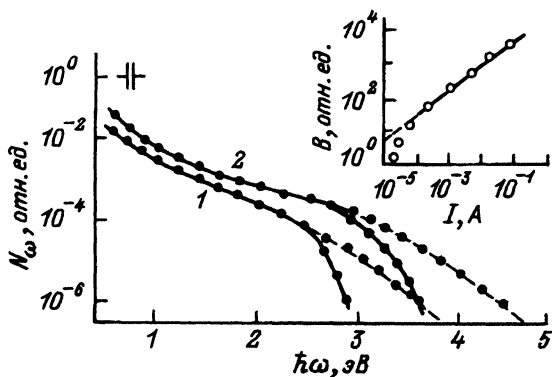


Рис. 2. Спектры ПЭЛ контактов Ni-ZnSe (1) и Ni-ZnS (2) при выводе излучения через кристалл (сплошные кривые) и полупрозрачный Ni электрод (штриховая).

На вставке зависимость интенсивности ПЭЛ от тока через Ni-ZnSe диод. $T = 300\text{ K}$.

ных соединений при регистрации излучения сквозь кристалл. Обращают на себя внимание монотонный характер и необычайная широкополосность спектров, а также слабая зависимость их формы от используемого полупроводника. На вид спектра по существу не влияют технология получения диода и время его эксплуатации (вставка на рис. 1), а также состав и концентрация примесей в исходной подложке. Подобные зависимости $N_\omega(\hbar\omega)$ были получены на низкоомных подложках ZnS и ZnSe специально нелегированных либо содержащих примеси Al или Te. Достаточно большая концентрация примесей может привести к изменению спектра ПЭЛ только из-за поглощения при прохождении света через кристалл. Влияние последнего фактора особенно четко проявляется в области высоких энергий, соответствующих краю собственного поглощения, т.е. фактически ширине запрещенной зоны используемого материала ε_g . Если же конструкция диода такова, что самопоглощение сводится к минимуму (в частности, поверхностно-барьерные диоды с полупрозрачными Au и Ni электродами), то высокоэнергетический край спектра ПЭЛ обрывается уже при $\varepsilon_m > \varepsilon_g$ (рис. 2). Энергия имеет вполне определенное значение для каждого полупроводника и близка к пороговой энергии ударной ионизации, которая находится в пределах (1-1.5) ε_g [6]. Отметим, что зависимость для каждого из диодов при регистрации излучения через толщу кристалла и полупрозрачный выпрямляющий контакт снормированы при $\hbar\omega = 1$ эВ.

В соответствии с моделью, предложенной в [3], широкополосная ПЭЛ является результатом внутризонных непрямым излучательных переходов горячих носителей. В ряде случаев на это излучение могут накладываться рекомбинационные полосы как следствие ионизационных процессов, вызванных высокоэнергетическими носителями. В диодах, изготовленных на материалах с эффективной люминесценцией и низкой электропроводностью (широкая область пространственного заряда), рекомбинационные полосы могут оказаться доминирующими, особенно при низких температурах [3].

Вместе с тем для ПЭЛИ наибольший практический интерес представляет внутризонный широкополосный компонент излучения горячих носителей, который должен слабо зависеть от температуры и уровня возбуждения [3]. Это подтверждается данными рис. 3, из которых следует, что изменение тока через Ni-ZnSe диод в 100 раз и изменение формы спектра не выходит за пределы погрешности эксперимента. При этом сохраняется также линейность ток-яркостной характеристики ПЭЛИ (вставка на рис. 2). Очень слабо влияет также на форму спектра широкополосного излучения при $\hbar\omega < \varepsilon_g$ и изменение температуры. В частности, для данного образца в диапазоне 100-300 К деформация спектра существенна только для фотонов с $\hbar\omega > \varepsilon_g$, что обусловлено влиянием на пропускание температурной зависимости ширины запрещенной зоны ZnSe. ПЭЛИ характеризуются также наименьшей величиной температурного коэффициента излучения (ТКИ), который для диодов со спектром внутризонного излучения не превышает 0.1% на градус [7]. ТКИ можно уменьшить еще на несколько порядков путем оптимизации условий эксплуатации, выбирая рабочий ток вблизи общей точки пересечения семейства вольт-амперных характеристик (точка А на рис. 4). Явле-

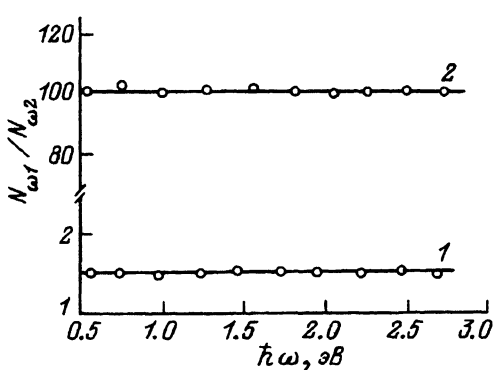


Рис. 3. Отношение спектров ПЭЛ контакта Ni-ZnSe при изменении температуры от 100 до 300 К (1) и токов от 1 до 100 мА (2).

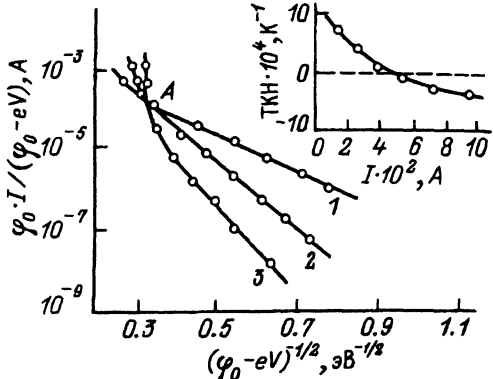


Рис. 4. Обратные вольт-амперные характеристики контактов Ni-ZnSe, построенные в туннельных координатах [8], при разных температурах. 1 — 100, 2 — 200, 3 — 300 К. На вставке зависимость ТКН от тока через диод при 300 К.

ние anomalно слабой температурной зависимости обратного тока диодов на основе широкозонных полупроводников в определенной области напряжений объясняется совместным действием туннельных и лавинных процессов [8]. Температурный коэффициент изменения напряжения пробоя (ТКН) в точке А близок к нулю (вставка на рис. 4), что приводит к независимости от T и η_{int} . В связи с этим удалось для ПЭЛИ на основе фосфида галлия и сульфоселенидов цинка достичь ТКИ = 0.001 % на градус в температурном диапазоне 100–300 К [9,10]. Появление на фоне широкополосного спектра излучения рекомбинационных полос приводит к увеличению ТКИ, однако и в этом случае его значение не превышает 0.1 % на градус [10]. Столь низкая величина ТКИ допускает эксплуатацию предпробойных излучателей без применения дополнительных мер термостабилизации, что существенно уменьшает массу и габариты ПЭЛИ. Быстрое ускорение носителей заряда в области сильного электрического поля и малое время термализации обеспечивают высокое ($\lesssim 10^{-9}$ с) быстродействие ПЭЛИ. При использовании низкоомных (< 0.1 Ом/см) подложек рабочие напряжения составляют 10–20 В, что соизмеримо с напряжением питания интегральных микросхем. Кроме того, внешней эффективности ПЭЛ (10^{-5} – 10^{-3} квант/электрон) вполне достаточно для уверенной регистрации излучения широко распространенными твердотельными приемниками: Ge и Si фотодиодами, PbS фоторезисторами и др. И наконец отметим, что слабая чувствительность широкополосного излучения к различного рода примесям, а также высокая радиационная стойкость кристаллов ZnSe<Te>[11] допускает эксплуатацию ПЭЛИ на их основе в условиях воздействия спецфакторов.

Таким образом, совокупность рассмотренных свойств ПЭЛИ позволяет использовать их в качестве быстродействующих широкополосных источников излучения в оптико-электронной аппаратуре, метрологии и других областях.

- [1] Шемякин В.А., Баранов В.К., Косяченко Л.А. и др. // Опτικο-мех. пром-сть. 1979. № 9. С. 39–42.
- [2] Гуц В.В., Косяченко Л.А., Пивовар А.В., Шемякин В.А. // Проблемы физики и технологии широкозонных полупроводников. Л., 1979. С. 340–345.
- [3] Косяченко Л.А. // Записки Тартуского университета. 1983. № 655. С. 12–33.
- [4] Баранюк В.Е., Мазний В.П. А.С. № 1835886. Приоритет от 4.06.1991.
- [5] Мазний В.П., Мельник В.В. А.С. № 1764474. Приоритет от 29.10.1990.
- [6] Верещагин И.К. Электрорлюминесценция кристаллов. М.: Наука, 1974. 280 с.
- [7] Ермаков О.Н. Влияние температурных эффектов на характеристики полупроводниковых источников излучения. 4.П. Обзоры по электронной технике. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 1987. № 1(1254). 54 с.
- [8] Мазний В.П. // УФЖ. 1991. Т. 36. № 10. С. 1554–1559.
- [9] Мазний В.П. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. Вып. 3. С. 17–21.
- [10] Баранюк В.Е., Мазний В.П., Мельник В.В. // ПТЭ. 1991. № 2. С. 223.
- [11] Рыжиков В.Д. Сцинтилляционные кристаллы полупроводниковых соединений АВ. Получение, свойства, применение. М., 1989. 124 с.

02;04;07

Журнал технической физики, т. 66, в. 2, 1996

КОНСТАНТЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ИОНИЗАЦИИ В КВАЗИСТАЦИОНАРНОЙ HeCd ПЛАЗМЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

© С.В.Макаров, Ю.Н.Новоселов

Институт электрофизики УрО РАН,
620219 Екатеринбург, Россия
(Поступило в Редакцию 26 декабря 1994 г.)

Смесь паров кадмия с гелием высокого давления представляет интерес как активная лазерная среда, в которой возможна генерация в широком диапазоне спектра от ИК до УФ на атомарных и ионных переходах [1]. При низком давлении смеси генерация достигается при возбуждении электрическим разрядом. В смесях высокого давления лазерное излучение на CdII получено при возбуждении электронным пучком, а также продуктами ядерной реакции. В то же время электроразрядный метод возбуждения плотной HeCd смеси изучен недостаточно. Анализ работы электроразрядного лазера, в частности HeCd лазера высокого давления, возможен при наличии констант возбуждения и ионизации каждого компонента смеси. Эти константы зависят от функции распределения электронов по энергии (ФРЭЭ), которая в газоразрядной плазме существенно отличается от максвелловской. В настоящей работе на основе численного решения уравнения Больцмана выполнен расчет квазистационарных энергетических распределений электронов, констант возбуждения и ионизации, а также дрейфовой скорости, подвижности и коэффициента диффузии электронов в плотной HeCd разрядной плазме.

При расчетах за основу была принята кинетическая модель HeCd лазера высокого давления с накачкой электронным пучком [2]. Модель