

Изменения в волноводной электролюминесцентной структуре на основе ZnS:Cr, вызванные собственным лазерным ближнеинфракрасным излучением

© Н.А. Власенко[†], П.Ф. Олексенко, М.А. Мухльо, Л.И. Велигура

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва Национальной академии наук Украины, 03028 Киев, Украина

(Получена 15 октября 2012 г. Принята к печати 20 октября 2012 г.)

Исследуются причины изменений в тонкопленочной электролюминесцентной волноводной структуре типа металл–диэлектрик–полупроводник–диэлектрик–металл на основе ZnS:Cr с концентрацией Cr $\sim 4 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, которые возникают при лазерной генерации ($\lambda \approx 2.6 \text{ мкм}$) и вызывают ее исчезновение. Установлено, что лазерная генерация исчезает из-за появления в структуре светорассеивающих неоднородностей и, следовательно, оптических потерь. Природа неоднородностей и причины их возникновения выясняются путем исследования методами атомно-силовой микроскопии и рентгеновской дефектоскопии топологии поверхности и кристаллической структуры слоев образца до и после возникновения генерации. Показано, что сильное увеличение размеров зерен на поверхности структуры является проявлением изменений, происходящих в пленке ZnS:Cr в результате рекристаллизации, вызванной локальным разогревом из-за поглощения лазерного излучения имеющимися кластерами Cr и ускоренной сильным электрическим полем (более 1 МВ/см). Выявлены следующие изменения в пленке ZnS:Cr: текстурированный рост кристаллитов ZnS, увеличение доли кластеров Cr, появление небольшого количества CrS и большего — ZnO. Даются рекомендации относительно улучшения стабильности лазерной генерации в волноводных ZnS:Cr-структурах.

1. Введение

Тонкопленочные электролюминесцентные структуры (ТПЭЛС) представляют собой структуры типа МДПДМ, нанесенные на стеклянную подложку, где М — электроды, Д — диэлектрические слои, П — полупроводниковая ЭЛ пленка [1]. Если показатель преломления Д слоев меньше, чем ЭЛ пленки, то такая структура является планарным оптическим волноводом, в котором большая часть излучения распространяется вдоль ЭЛ пленки и выходит через торец структуры, а не через прозрачный электрод In_2O_3 (ITO). Волноводные ТПЭЛС на основе ZnS, легированного Cr, представляют большой научный и практический интерес по следующим соображениям. В последние 15 лет интенсивно исследуется новый класс лазеров с оптической накачкой на основе широкозонных халькогенидных полупроводников (ZnS, ZnSe и др.), легированных переходными металлами, особенно Cr [2,3]. Эти лазеры излучают в ближней и средней инфракрасной (ИК) областях спектра и позволяют перестраивать длину волны (λ) излучения в широком диапазоне (0.5–0.7 мкм). Попытки создать такие лазеры с электрической накачкой не увенчались успехом [3]. Для электрического возбуждения ионов с электронными переходами внутри незаполненной 3d оболочки эффективным является не инжекционный механизм, характерный для полупроводников с рекомбинационными переходами, а ударный механизм. Именно такой механизм электролюминесценции присущ ТПЭЛС, в которых можно получить очень сильное

электрическое поле (более 1 МВ/см) и высокий уровень возбуждения.

Интенсивная спонтанная электролюминесценция в ZnS:Cr-ТПЭЛС наблюдалась ранее при выводе излучения через прозрачный электрод, т.е. в планарных ТПЭЛС [4]. Однако из-за малой толщины ЭЛ пленки (менее 1 мкм) в таких ТПЭЛС невозможно получить достаточно большое оптическое усиление излучения. Поэтому возможность получения стимулированного излучения и лазерной генерации стали исследовать в волноводных ZnS:Cr-ТПЭЛС, в которых длина пути прохождения излучения в ЭЛ пленке на 3 порядка величины больше, чем в планарных. Интенсивное стимулированное излучение ионов Cr^{2+} в ближней ИК области было получено в этих ТПЭЛС при концентрации Cr ($C_{\text{Cr}} \approx 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$) [5]. После повышения в них C_{Cr} до $4 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ с целью увеличения оптического усиления получена и лазерная генерация с длиной волны излучения около 2.6 мкм [6]. Однако она оказалась нестабильной и быстро прекращалась, что сопровождалось сильным ослаблением торцевого излучения, хотя излучение, регистрируемое через прозрачный электрод, оставалось довольно интенсивным. Было обнаружено, что поверхность образца, исходно зеркальная, становилась матовой после возникновения лазерной генерации. Появление на его поверхности крупных неоднородностей было подтверждено исследованиями атомно-силовой микроскопии (АСМ) [7]. На основании этого был сделан вывод, что возникновение сильного светорассеяния на этих неоднородностях и, следовательно, увеличение оптических потерь в волноводе являются причиной исчезновения лазерной генерации.

[†] E-mail: vlasenko@isp.kiev.ua

Следует отметить, что до сих пор влияние лазерного излучения, интенсивно исследуемое и широко применяемое для изменения разных свойств материалов (см., например, [8–16]), проводилось в основном с использованием мощных лазеров с излучением, сильно поглощаемым облучаемыми материалами. Однако нам не известны публикации о наблюдении изменений в каких-либо объектах под действием собственного лазерного излучения, причем намного более слабого (менее 0.1 Вт), чем обычно используется для лазерных обработок, и не из области собственной полосы поглощения материала. Кроме того, особенностью является наличие сильного электрического поля (более 1 МВ/см) в волноводных ZnS:Cr-ТПЭЛС.

Цель данной работы заключается в выяснении природы изменений, вызывающих исчезновение лазерной генерации в ZnS:Cr-ТПЭЛС, что позволит наметить пути повышения ее стабильности. В работе приводятся результаты исследования топологии поверхности ТПЭЛС и кристаллической структуры ее компонент в исходном состоянии и после приложения напряжения, вызывающего лазерную генерацию. Исследования проведены с использованием АСМ и рентгеновской дефектоскопии. Показано, что причиной наблюдавшихся изменений в ТПЭЛС после лазерной генерации являются процессы, происходящие в пленке ZnS:Cr, а именно: локальный разогрев из-за поглощения лазерного излучения с длиной волны ~ 2.6 мкм кластерами Cr, имеющимися в пленке в результате его сегрегации при большой концентрации, и дрейф возникающих при этом ионов в направлении сильного электрического поля. Даются рекомендации относительно путей получения стабильной лазерной генерации в волноводных ZnS:Cr-ТПЭЛС.

2. Методика эксперимента

Схематический вид поперечного сечения исследованных ТПЭЛС типа МДПДМ приведен на рис. 1. Прозрачный электрод ИТО толщиной ~ 150 нм наносили магнетронным распылением, а двухкомпонентные Д слои $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (~ 270 нм) — электронно-лучевым испарением. ЭЛ пленка толщиной ~ 600 нм была нанесена тоже электронно-лучевым испарением ZnS, а легирование ее проводили термическим соиспарением хрома. Концентрация Cr равнялась $\sim 4 \cdot 10^{20}$ см $^{-3}$. После нанесения пленки ZnS:Cr образцы отжигали в вакууме при 550°. Al-электрод наносили в виде полосок шириной ~ 1.5 мм. Торцы получали разрезанием структуры перпендикулярно к полоскам Al-электрода. Одну и ту же ТПЭЛС делили на три части. Одна из них (образец 1) оставалась в исходном состоянии и служила эталоном. Вторая часть (образец 2) представляла собой двухторцевую ячейку с прилегающей к ней областью без Al-электрода шириной ~ 0.5 мм. К ячейке прикладывалось возбуждающее напряжение, постепенно повышаемое до возникновения вначале стимулированно-

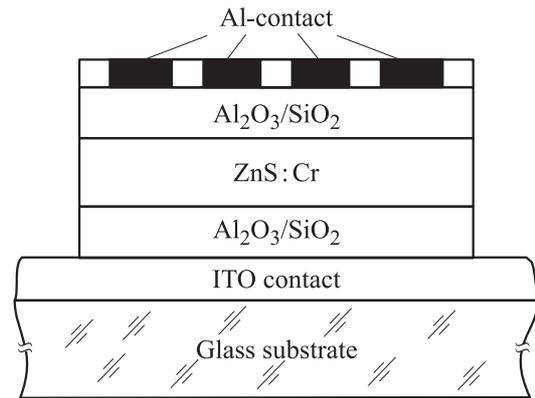


Рис. 1. Схематический вид поперечного сечения исследованных ТПЭЛС.

го излучения, а затем и лазерной генерации. Заметные электрические пробои на ячейке при этом не наблюдались, но ее поверхность, первоначально зеркальная, становилась после лазерной генерации матовой. Третья часть была такой же ячейкой, но к ней прикладывалось напряжение, быстро повышаемое до возникновения электрического пробоя, т.е. значительно большее, чем напряжение возникновения лазерной генерации. На ячейке после этого возникало несколько повреждений в виде прогаров диаметром до 1 мм. В промежутке между повреждениями вид ячейки оставался такой же, как до приложения напряжения, и наблюдалась электролюминесценция. Для возбуждения электролюминесценции использовалось переменное напряжение синусоидальной формы частотой 15 кГц, источником которого служил генератор ГЗ-56.

Все три образца исследовали сканирующей АСМ и рентгеновской дефектоскопией. Исследование топологии поверхности образцов проводили на зондовом микроскопе Nano Scope III a. Картографирование рельефа осуществлялось в режиме периодического контакта с использованием кремниевых зондов с номинальным радиусом острия 10 нм. Рентгеновские спектры исследовались на дифрактометре X'Pert PRO MRD. Измерения проводились в двух режимах. Во-первых, при обычном методе сканирования, при котором изменение угла фиксации дифрагированного луча (Θ) равняется изменению угла входа падающего луча (так называемый режим „Omega“). Во-вторых, спектры регистрировались при разных фиксированных углах падения рентгеновского излучения на образец.

3. Результаты и их обсуждение

Предварительное сравнительное топографическое исследование эталонного образца и образца, в котором возникла лазерная генерация, показало, что размер неоднородностей на поверхности второго из них значительно больше, чем первого, а рельеф поверхно-

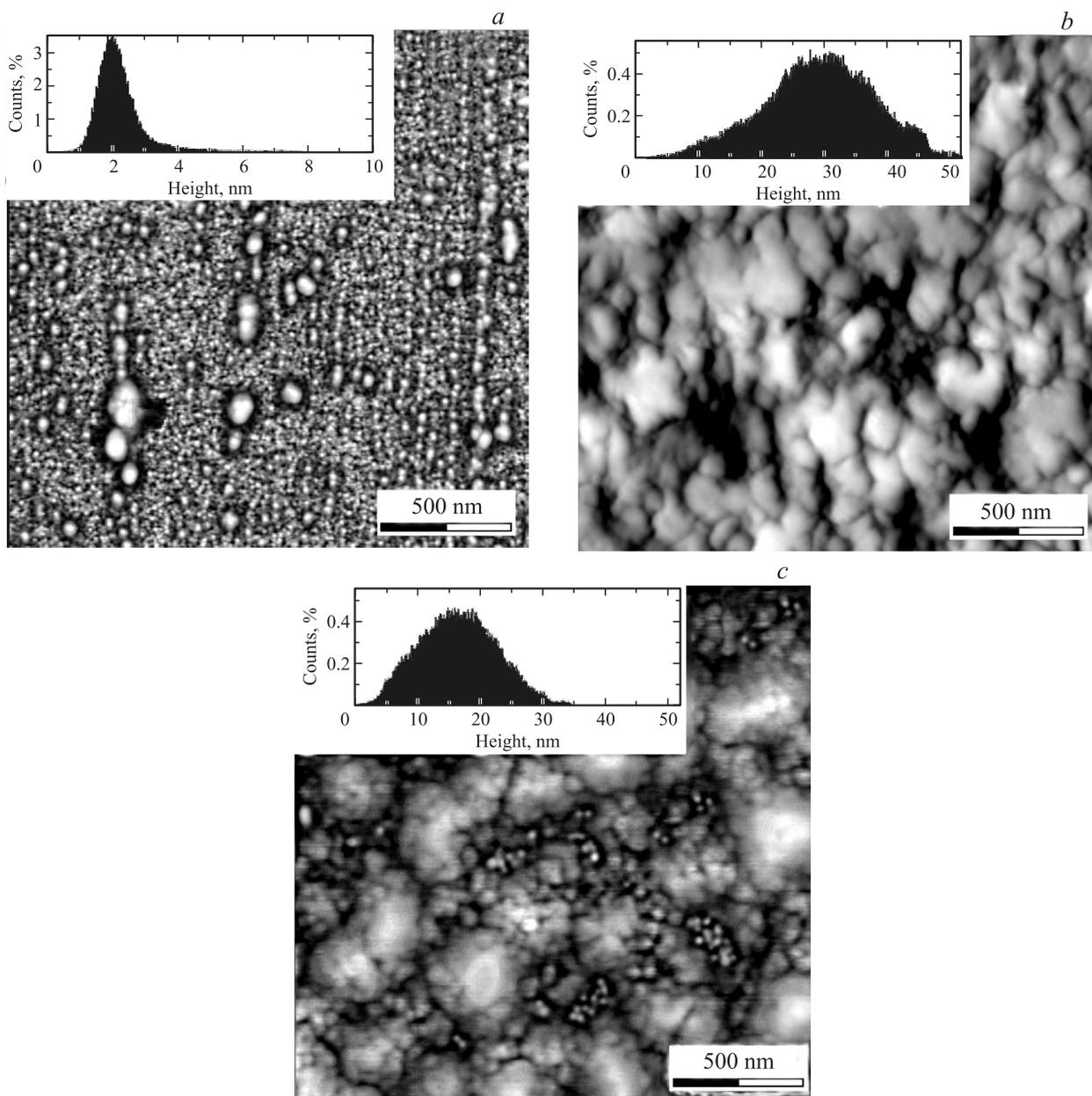


Рис. 2. АСМ-изображение фрагментов поверхности ZnS:Cr-ТПЭЛС со стравленным Al-электродом для эталонного образца (*a*) и образца, в котором возникла лазерная генерация в месте, где находился Al-электрод и было приложено поле (*b*) и на расстоянии 0.5 мм от него (*c*). На вставках приведены соответствующие гистограммы распределения неоднородностей.

сти образцов остается неизменным после стравливания Al-электрода. Поэтому детальные исследования были проведены после стравливания этого электрода, т.е. на поверхности верхнего Д слоя.

Топографические карты для обоих образцов приведены на рис. 2, *a, b*. Видны следующие изменения в топологии поверхности Д слоя после лазерной генерации. Амплитуда рельефа становится больше (см. вставки). Среднеквадратичное значение шероховатости увеличивается в 6.5 раз (с 1.4 до 9.1 нм). Размер неоднородностей (зерен) также значительно возрастает. Их наиболее вероятный диаметр увеличивается с 23 до 170 нм, а его

максимальная величина — с 90 до 400 нм. Особо следует отметить две особенности выше указанных изменений:

- 1) максимальная высота зерен увеличивается намного больше, чем их максимальный размер (в 15 и 4.4 раза, соответственно);
- 2) количество самых крупных зерен не превышает 10%.

Эти особенности свидетельствуют о том, что процессы, вызывающие топологические изменения при лазерной генерации, происходят более интенсивно в направлении, нормальном к поверхности образца, и преимущественно в некоторых его местах.

Чтобы установить, произошли топологические изменения под действием лазерного излучения или сильного электрического поля, АСМ-исследования провели также поблизости от ячейки, к которой было приложено напряжение. В этом месте сильного электрического поля не было. Однако интенсивное излучение попадало сюда из ячейки, потому что исследованные ТПЭЛС представляли собой планарный, а не полосковый волновод. Оказалось, что горизонтальный размер возникших неоднородностей вблизи ячейки почти такой же, как на ней, но высота их в ~ 2 раза меньше (рис. 2, *c*). Значит, неоднородности возникают под действием лазерного излучения, однако на их высоту влияет наличие сильного электрического поля, направленного нормально к поверхности. Это подтверждается и тем, что в образце 3, в котором лазерная генерация не наблюдалась, но были пробои при сильном электрическом поле, изменения на поверхности не обнаружены.

Рассмотрение возможности возникновения неоднородностей в разных слоях ТПЭЛС под действием лазерного излучения с длиной волны около 2.6 мкм показало, что они не могли возникнуть в верхнем Д слое. Этот слой состоит из аморфных пленок широкозонных диэлектриков (Al_2O_3 и SiO_2), не поглощающих излучение в этой области спектра. Кроме того, только небольшая часть излучения выходит в этот слой из пленки ZnS:Cr, в которой излучение возникает и распространяется. Поэтому сделан вывод, что наблюдаемые на поверхности этого слоя неоднородности являются только проявлением неоднородностей, возникающих в нижележащих слоях ТПЭЛС. По той же причине неоднородности не могли возникнуть и в нижнем аналогичном Д слое. Возникновение неоднородностей в ИТО-электрореже тоже мало вероятно, так как до него доходит еще меньшая доля излучения, чем до слоев Д, и значительный разогрев его из-за поглощения этого излучения невозможен еще и из-за теплообмена с массивной подложкой. На основании вышеизложенного предположили, что изменения под действием лазерного излучения происходят в пленке ZnS:Cr. Однако оптическое поглощение в нелегированном ZnS при $\lambda \approx 2.6$ мкм отсутствует, а полоса поглощения ионов Cr^{2+} слабая и смещена в коротковолновую область относительно их полосы излучения. Поэтому предположили, что единственной возможностью поглощения лазерного излучения в этой пленке является наличие в ней кластеров хрома из-за его сегрегации при большой концентрации. Такое поглощение вызывает локальный разогрев и рекристаллизационные процессы, скорость протекания которых увеличена быстрым дрейфом ионов в сильном электрическом поле. Заметный разогрев всей ячейки не наблюдается, так как плотность активного тока, протекающего через ячейку при лазерной генерации, довольно мала (10–20 mA/cm^2).

Для подтверждения этого предположения, сделанного на основании результатов АСМ-исследований, провели исследования рентгеновских спектров этих двух образцов, а также образца 3, в котором возникал только элек-

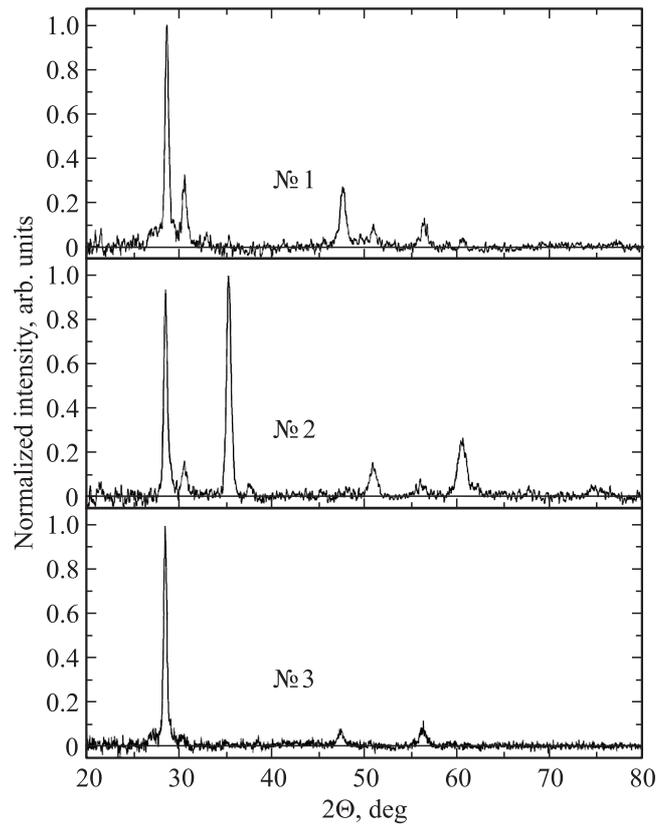


Рис. 3. Рентгеновские спектры, измеренные в режиме „Omega“, эталонного образца 1, образца 2, в котором возникла лазерная генерация, и образца 3, в котором возникали только электрические пробои.

трический пробой. Эти спектры, измеренные в режиме „Omega“ и нормированные на интенсивность самого большого пика, приведены на рис. 3. В спектре эталонного образца имеются пики ZnS и значительно более слабые пики ИТО. Наибольшим является пик основного рефлекса (111) кубического ZnS при 28.6° , а пики гексагональной фазы ZnS (при 28.9 , 39.6° и др.) не превышают 2–4% относительно этого пика. Довольно интенсивны и другие пики кубического ZnS при 47.4 и 56° . Из пиков ИТО самым интенсивным является пик при 30.6° , относительная величина которого равна $\sim 19\%$ с учетом перекрытия со слабым пиком гексагонального ZnS. Интенсивность более слабых пиков ИТО относительно этого основного пика соответствует справочным данным [17], за исключением пика при 51.04° , который на несколько процентов больше. Следует отметить, что спектр эталонного образца в части, связанной с ZnS, аналогичен рентгеновскому спектру пленок ZnS и ZnS:Cr, полученных в [18] лазерным импульсным напылением.

В спектре образца 2, в котором наблюдалась лазерная генерация, наибольшим пиком тоже является основной пик кубического ZnS, но его полуширина уменьшилась с 0.435 до 0.410° . Остальные два пика кубического ZnS

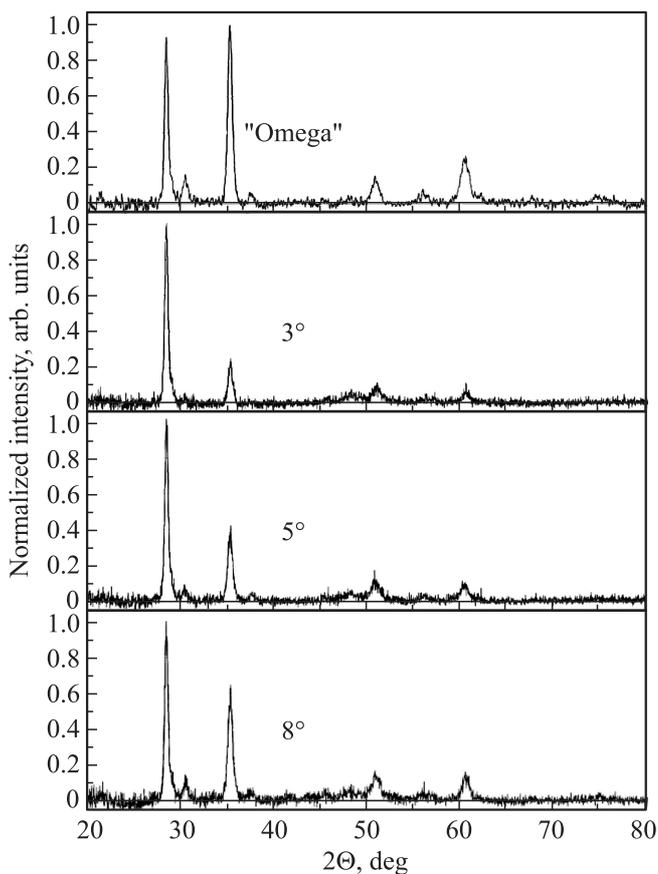


Рис. 4. Рентгеновские спектры образца 2, измеренные в режиме „Omega“ и при разных углах падения рентгеновского излучения.

практически отсутствуют, а на их месте при 47.5 и 56.4° наблюдаются только слабые пики гексагональной фазы, интенсивность которых осталась почти такой же, как для эталонного образца. Аналогичные изменения имеют место и в спектре, измеренном при разных углах падения рентгеновского излучения (рис. 4). Эти изменения означают, что после лазерной генерации произошло улучшение кристаллической структуры основной кубической фазы ZnS: увеличился размер кристаллитов и в них возникла текстура. Причиной таких изменений могли быть только рекристаллизационные процессы, вызванные лазерным излучением и быстрым дрейфом ионов в направлении сильного электрического поля. Вышеописанные изменения отсутствуют в спектре образца 3.

В спектре образца 2 наблюдаются и другие изменения по сравнению со спектром эталонного образца. Сильно увеличилась интенсивность трех пиков при 35.3 , 50.08 и 60.4° (особенно первого из них), которые почти совпадают с пиками ИТО при 35.467 , 51.039 и 60.678° . Появились новые небольшие пики при 37.4 , 45.7 и 74.5° . Эти изменения также отсутствуют в спектре образца 3. Усиление трех пиков в образце 2 нельзя объяснить рекристаллизационными процессами в ИТО электроде во

время лазерной генерации, так как они, как отмечалось выше, маловероятны. Это подтверждается и тем, что интенсивность остальных пиков ИТО и, главное, основного пика при 30.581° не только не увеличилась, но даже уменьшилась по сравнению с их интенсивностью в спектре эталонного образца. Ослабление пиков ИТО можно объяснить ослаблением рентгеновского излучения, достигающего до пленки ИТО, из-за рассеяния на возникших неоднородностях в вышележащих слоях. Следует также отметить, что интенсивность усилившихся пиков, как и трех новых пиков, изменяется при измерении спектров при разных углах падения рентгеновского излучения (рис. 4), в то время как интенсивность основного пика ИТО остается одинаково слабой. Слабыми являются также пики ИТО в спектре образца 3, хотя в этом образце можно ожидать более сильный разогрев ИТО-электрода из-за большого тока во время пробоя. На основании вышеизложенного, три усилившихся пика в спектре образца после лазерной генерации следует объяснить появлением пиков иной природы. Для установления их природы и природы новых пиков были проанализированы справочные рентгеновские спектры элементов и веществ, которые в принципе могут возникнуть под действием лазерного излучения и сильного поля в пленке ZnS:Cr, граничащей с Д слоями Al_2O_3 , а именно: Cr, Zn, CrS, Al и ZnO. Было выявлено, что один из усилившихся пиков при 50.08° и новый пик при 74.5° имеются в рентгеновском спектре Cr [19], а слабый пик при 45.7° — в спектре CrS [20]. Очень интенсивный пик при 35.3° точно совпадает с основным пиком гексагональной фазы ZnO [21]. Природа пиков при 37.4 и 60.4° пока не установлена. Возможно, они принадлежат твердому раствору ZnS_xO_y , возникающему между ZnS:Cr и ZnO. Появление пика Cr подтверждает предположение, сделанное выше, о наличии в пленках ZnS:Cr с большой концентрацией Cr его кластеров. Как отмечалось выше, в спектре эталонного образца только пик при 51.04° , практически совпадающий с пиком Cr, имеет несколько большую интенсивность, чем в справочном спектре ИТО. Это позволяет заключить, что кластеры Cr имеются и в исходном образце, но их количество увеличивается во время лазерной генерации и в их окрестности возникает фаза CrS. Появление очень интенсивного основного пика гексагональной фазы ZnO можно объяснить процессами, происходящими на границе между пленкой ZnS:Cr и Д слоями Al_2O_3 . Ионы Zn, возникающие в результате локального разогрева при поглощении лазерного излучения, быстро дрейфуют под действием сильного электрического поля в слой Al_2O_3 . Поэтому на обеих границах возникает фаза ZnO. Такой процесс объясняет текстуру в этой фазе, о которой свидетельствуют наличие только одного основного пика и зависимость его интенсивности от угла падения рентгеновского излучения при измерении спектра. Текстурированное формирование фазы ZnO, а также возникновение текстуры в основной кубической фазе ZnS при рекристаллизации во время лазерной

генерации приводят к возникновению деформации в верхнем D слое, направленной нормально к поверхности слоев, что объясняет отмечавшийся выше больший вертикальный размер возникающих на его поверхности неоднородностей, чем горизонтальный.

4. Заключение

Из вышеизложенных результатов следует, что причиной быстрого исчезновения лазерной генерации в волноводных ZnS:Cr-ТПЭЛС с большой концентрацией хрома является наличие в пленках ZnS:Cr его кластеров, сильно поглощающих лазерное излучение с $\lambda \approx 2.6$ мкм, в результате чего возникают локальный разогрев, быстротекающие рекристаллизационные процессы из-за наличия сильного электрического поля, дополнительная сегрегация хрома и образование новых фаз — CrS, ZnO и, возможно, ZnS_xO_y . Сильное поле вызывает направленный дрейф ионов, возникающих под действием лазерного излучения, что проявляется в текстурированном росте зерен в пленке ZnS:Cr и таком же формировании новых фаз, особенно ZnO. Результатом этого является возникновение деформации в верхнем D слое, более сильной в направлении поля, нормальном к его поверхности. Это объясняет наблюдавшееся возникновение на поверхности этого слоя неоднородностей с вертикальными размерами, большими, чем горизонтальные. Неоднородности, возникшие в ТПЭЛС, приводят к увеличению светорассеяния и, следовательно, оптических потерь в волноводе, что и вызывает исчезновение лазерной генерации.

Полученные результаты позволяют дать рекомендации относительно направления дальнейших исследований с целью улучшения стабильности лазерной генерации в волноводных ZnS:Cr-ТПЭЛС. Необходимо отказаться от большой концентрации Cr для увеличения оптического усиления, а в первую очередь улучшить волноводные свойства: использовать полосковый (канальный) волновод вместо планарного, уменьшить долю излучения, вытекающего через стенки волновода, и оптических потерь в нем, а также повысить эффективность обратной связи на его концах. Получение стабильной лазерной генерации в этих ТПЭЛС будет значительным шагом в новом направлении лазерной физики, нацеленном на создание электрически накачиваемых лазеров с ударным механизмом возбуждения на основе волноводных ТПЭЛС, легированных переходными металлами и редкими землями. Такие лазеры, излучающие в ближней и средней ИК области спектра, могут найти широкое применение благодаря компактности, низкой стоимости и довольно простой технологии изготовления.

Авторы благодарят П.М. Литвина за АСМ эксперимент, а В.П. Кладько и А.В. Кучука за рентгеновские измерения.

Список литературы

- [1] Y.O. Ono. *Electroluminescent Display* (World Scientific, Singapore, 1995).
- [2] T. Sorokina. *Optical Mater.*, **26**, 395 (2004).
- [3] S. Mirov, V. Fedorov, I. Moskalev, D. Martishkin, Ch. Kim, *Laser & Photon. Rev.*, **4**, 21 (2010).
- [4] N.A. Vlasenko, Z.L. Denisova, Ya.F. Kononets, L.I. Veligura, Yu.A. Tsytkunov. *J. SID*, **12**, 179 (2004).
- [5] N.A. Vlasenko, P.F. Oleksenko, M.A. Mukhlyo, L.I. Veligura, Z.L. Denisova. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.*, **12**, 362 (2009).
- [6] N.A. Vlasenko, P.F. Oleksenko, M.O. Mukhlyo, P.M. Lytvyn, L.I. Veligura, Z.L. Denisova. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.*, **14**, 339 (2011).
- [7] Н.А. Власенко, П.Ф. Олексенко, М.А. Мухльо, П.М. Литвин, Л.И. Веллигура, З.Л. Денисова. *Оптоэлектрон. и полупроводн. техн.*, **46**, 36 (2011).
- [8] А.В. Двуреченский, Г.А. Качурин, В.Е. Нидаев, Л.С. Смирнов. *Импульсный отжиг полупроводниковых материалов* (М., Наука, 1982).
- [9] С.А. Ахманов, В.И. Емельянов, Н.И. Коротеев, В.Н. Семиногов. *УФН*, **147** (№ 4), 675 (1985).
- [10] Э.Е. Виолин, О.Н. Воронько, Ф. Нейберг, Е.Н. Потапов, *ФТП*, **5**, 954 (1984).
- [11] P. Townsend, J. Olivares. *Appl. Surf. Sci.*, **110**, 275 (1997).
- [12] E. Cappelli, S. Orando, G. Mattei, M. Montozzi, F. Pinzari, D. Sciti. *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Processing*, **A 69**, 515 (1999).
- [13] Z. Tian, I.A. Salama, N.R. Quick, A. Kar. *Acta Mater.*, **53**, 2835 (2005).
- [14] A. Medvid', B. Bersina, L. Trinrler, L. Fedorenko, P. Lytvyn, N. Yusupov, T. Yamaguchi, L. Sirghi, M. Aoyama. *Phys. Status Solidi. A*, **195**, 199 (2003).
- [15] L. Museur, D. Anglos, J.- P. Petitet, J.- P. Michel, A.V. Kanaev, *J. Luminesc.*, **127**, 595 (2007).
- [16] A. Medvid', A. Mychko, O. Strilchuk, N. Litovchenko, Yu. Naseka, P. Onufrijevs, A. Plutons. *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A*, **607**, 110 (2009).
- [17] A. Solov'eva, V. Zhdanov. *Inorg. Mater.* **21**, 828 (1985).
- [18] S. Wang, S.B. Mirov, V.V. Fedorov, R.P. Camata. *Solid State Lasers XIII: Technology and Devices*, ed. by Richard Scheps, Hanna J. Hoffman. *Proc. SPIE*, **5332**, 13 (2004).
- [19] J. Haglund, F. Fernandez-Guillermot, G. Grimvall, M. Korling. *Phys. Rev. B: Condens. Matter*, **48**, 11 685 (1993).
- [20] N. Vaidya. *J. Indian, Pure Appl. Phys.*, **14**, 600 (1976).
- [21] L. Weber. *Kristallogr., Kristallogeom., Kristallphys., Kristallchem.*, **58**, 398 (1923).

Редактор Т.А. Полянская

Changes resulted from proper laser near-infrared radiation in thin-film electroluminescent waveguide structure based on ZnS:Cr

N.A. Vlasenko, P.F. Oleksenko, M.A. Mukhlyo, L.I. Veligura

Lashkarev Institute of Semiconductor Physics,
National Academy of Sciences of Ukraine,
03028 Kyiv, Ukraine

Abstract The causes of changes in thin-film electroluminescent waveguide structure of a metal–insulator–semiconductor–insulator–metal type based on ZnS:Cr with the Cr concentration of $\sim 4 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, which arise under laser oscillation ($\lambda \sim 2.6 \mu\text{m}$) and result in its disappearance, are demonstrated. It was established that lasing vanishes due to appearance of light-diffusing inhomogeneities and consequently of optical losses. The origin of the inhomogeneities and the causes of their appearance were found out by studying the topology of the surface and the crystal structure of the layers of a sample before and after lasing by means of atomic-force microscopy and X-ray defectoscopy. The experiment shows that a strong increase of the grain size on the sample surface displays the changes taken place in the ZnS:Cr film due to recrystallization. The recrystallization stems from a local heating owing to absorption of the laser radiation by existing Cr clusters and proceeds quickly under action of a strong electric field ($> 1 \text{ MV/cm}$). The following changes were revealed: a textured growth of ZnS crystallites, an increase of the Cr-clusters fraction, the appearance of the little amount of CrS and a greater one of ZnO. The ways for improvement of the lasing stability in ZnS:Cr waveguide structures are considered.