

06;07

Электролюминесцентные источники света на основе монокристаллов ZnSe:Mn с оптимальными яркостными характеристиками

© М.Ф. Буланый, А.В. Коваленко, Б.А. Полежаев

Днепропетровский национальный университет,
49050 Днепропетровск, Украина
e-mail: bulanui@mail.dsu.dp.ua

(Поступило в Редакцию 19 апреля 2002 г.)

Представлены результаты исследования электролюминесцентных источников света на основе пластически деформированных монокристаллов ZnSe:Mn. Показано, что эффективность излучения электролюминесцентного источника света зависит от концентрации примеси марганца и места в монокристаллической буле ZnSe:Mn, из которого вырезают плоскопараллельную пластину.

Известно, что сульфид и селенид цинка являются широко применяемыми материалами для создания на их основе электролюминесцентных источников света [1–3]. Особое место в ряду цинк сульфоселенидных люминофоров занимают монокристаллы ZnS:Mn и ZnSe:Mn. Рабочие тела для электролюминесцентных источников света получают путем вырезания плоскопараллельных пластин из монокристаллической булы ZnSe:Mn [4]. С целью увеличения яркости свечения рабочего тела такие пластины размером $2 \times 2 \times 4$ mm, вырезанные из монокристаллической булы ZnSe:Mn с ориентацией плоскости (111) под углом $(45 \pm 2)^\circ$ к плоскости среза, подвергают пластической деформации на 2–5% путем одноосного сжатия [5].

Проведенные нами дополнительные исследования показали, что эффективность излучения приготовленного таким образом электролюминесцентного источника света зависит от того, из какого места в монокристаллической буле ZnSe:Mn выкалывают плоскопараллельную пластину. Разброс величин яркости рабочих тел, изготовленных из одной монокристаллической булы, при фиксированной степени пластической деформации ($\epsilon \sim 5\%$) и концентрации примеси марганца, вводимого в шихту $\sim 5 \cdot 10^{-2}$ wt%, составляет 60% (при сравнении яркости электролюминесцентных рабочих тел, изготовленных из нижней и средней частей булы) и 40% (для рабочих тел, изготовленных из верхней и средней частей булы). При концентрации примеси марганца $\sim 5 \cdot 10^{-2}$ wt% разброс величин яркости в рабочих телах, изготовленных из тех же мест монокристаллической булы, соответственно был равен ~ 20 и 8%. Причиной обнаруженного эффекта, как будет показано далее, является неравномерное распределение концентрации легирующей примеси марганца по длине монокристаллической булы селенида цинка, выращенной из расплава под давлением аргона.

В связи с этим целью настоящей работы является изучение условий получения электролюминесцентных источников света с оптимальными яркостными характеристиками. Для выяснения причин разброса яркости

кристаллов, вырезанных из одной монокристаллической булы, с помощью метода ЭПР был проведен анализ распределения примеси марганца по длине монокристаллической булы ZnSe:Mn. Анализ показал, что примесь марганца по длине булы была распределена неравномерно. В средней части монокристаллической булы (длина которой примерно равна 70–75% от общей длины) наблюдается равномерное распределение примеси марганца. Если считать, что эта концентрация соответствует условной величине 100%, то в нижнем конце монокристаллической булы длиной до 15% от общей длины (в этой части происходит зарождение кристалла) концентрация примеси марганца уменьшается до условной величины 50–70%; в верхней части монокристаллической булы длиной 15% от общей длины (эта часть монокристаллической булы образуется на последнем этапе роста) концентрация примеси марганца, наоборот, увеличивается до условной величины 130–150%. Такое распределение легирующей примеси по длине булы, выращенной из расплава под давлением аргона, можно ожидать в связи с тем, что во время роста монокристалла происходят процессы, положенные в основу очистки материалов методом „зонной плавки“. Так как растворимость примесей в расплаве превышает ее растворимость в твердом теле, то в начальный момент роста монокристалла из расплава примеси, введенные в исходную шихту, выталкиваются из зоны роста в область расплава. Следовательно, нижняя часть кристалла (область зарождения) содержит примесей меньше, чем средняя часть монокристаллической булы; а она в свою очередь содержит примесей меньше, чем верхняя часть булы (область, образующаяся на последнем этапе роста).

Можно предположить, что пластическая деформация по-разному влияет на степень увеличения яркости кристаллов в зависимости от концентрации примеси марганца в образцах. Для проверки этого предположения были проведены исследования зависимости яркости рабочего тела при фиксированной степени пластической деформации от концентрации примеси марганца. Исследования

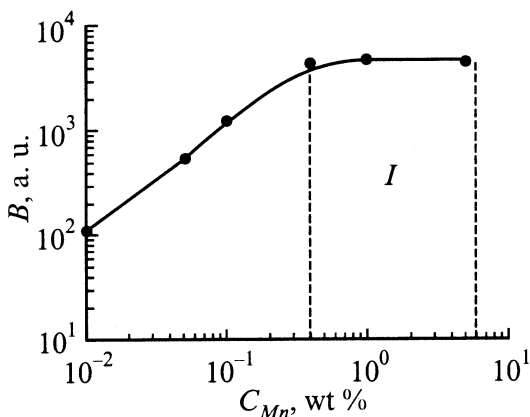
Зависимость яркости электролюминесценции и удельного сопротивления пластически деформированных образцов ZnSe от концентрации легирующей примеси марганца

Величина пластической деформации $\varepsilon = 5\%$						
Концентрация примеси Mn, wt%	10^{-2}	$5 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}	$5 \cdot 10^{-1}$	1	5
B , а.у.	$1.1 \cdot 10^2$	$0.9 \cdot 10^3$	$1.5 \cdot 10^3$	$2.0 \cdot 10^3$	$3.5 \cdot 10^3$	$4.1 \cdot 10^3$
ρ , а.у.	$2.8 \cdot 10^{-8}$	$4.2 \cdot 10^{-7}$	$7.5 \cdot 10^{-7}$	$1.3 \cdot 10^{-7}$	$8.0 \cdot 10^{-8}$	$4.5 \cdot 10^{-8}$

Примечание. B — относительное увеличение яркости свечения в пластически деформированном образце по сравнению с недеформированным; ρ — относительное уменьшение удельного сопротивления пластически деформированного образца по сравнению с недеформированным.

проводились на образцах, выращенных как в одной, так и в различных партиях. Концентрация марганца контролировалась двумя независимыми методами: методом ЭПР и по результатам химического анализа. Полученные данные по изменению яркости электролюминесценции монокристаллов ZnSe:Mn и их удельного сопротивления при фиксированной степени пластической деформации в зависимости от концентрации примеси марганца в образцах приведены в таблице.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что эффективность излучения рабочих тел, приготовленных согласно [5], зависит от концентрации примеси марганца в образцах. Изменение концентрации марганца влияет на начальную яркость исследуемых образцов, поэтому в таблице приведены данные относительного изменения яркости деформированного образца при определенной концентрации марганца, т.е. выделено увеличение яркости, обусловленное только пластической деформацией. Построим зависимость яркости излучения электролюминесценции при фиксированной степени пластической деформации от концентрации примеси марганца в исследуемых образцах (см. рисунок). Анализируемая зависимость имеет два участка: линейный, в пределах которого яркость электролюминесценции растет пропорционально увеличению концентрации ионов марганца в рабочем



Зависимость яркости свечения электролюминесцентных источников света, изготовленных из монокристаллических пластин ZnS:Mn и продеформированных при степени пластической деформации $\varepsilon = 5\%$, от концентрации примеси Mn в образце. I — область, в которой рабочие тела обладают максимальной яркостью свечения.

теле, и участок насыщения, в пределах которого яркость электролюминесценции слабо зависит от концентрации ионов марганца. Последний участок наблюдается при больших концентрациях легирующей примеси.

С целью уменьшения разброса яркости электролюминесценции пластически деформированных рабочих тел, а также отбора наиболее эффективных излучателей нами выбрана нижняя граница концентрации ионов Mn в рабочем теле. Она составляет $5 \cdot 10^{-1}$ wt%. Именно такая концентрация ионов Mn характерна для участка, в пределах которого линейная зависимость яркости электролюминесценции от концентрации ионов Mn переходит в область насыщения.

При концентрациях $Mn > 5 \cdot 10^{-1}$ wt% график зависимости яркости электролюминесценции после пластической деформации рабочих тел проходит почти параллельно оси, на которой отложена величина концентрации ионов Mn. Это обеспечивает высокую яркость образцов при минимальной величине разброса яркости электролюминесценции от образца к образцу.

Верхняя граница концентрации ионов Mn в рабочих образцах составляет 5 wt%. Превышение указанного значения концентрации активатора приводит к тому, что не все ионы Mn в монокристаллической буле ZnSe являются точечными центрами замещения или внедрения. При концентрации $Mn > 5$ wt% примесь Mn выпадает в дополнительную твердую фазу либо в виде металлического марганца, либо в качестве соединения MnSe, что приводит к образованию смешанного тройного соединения $Zn_xMn_{1-x}Se$. Большое значение в образовании дополнительной твердой фазы имеют конкретные условия выращивания монокристаллов, химический состав активирующей добавки, наличия соактиваторов. При выпадении примеси марганца или его соединений в твердую фазу пластическая деформация рабочих пластин затруднена. Такие пластины при обработке растрескиваются ввиду большой их неоднородности, поэтому применение последовательности операций, предусмотренных в [5], и в этом случае затруднено.

Таким образом, использование полученных результатов позволит получать рабочие тела для электролюминесцентных источников света с максимальной яркостью свечения, воспроизводимыми характеристиками, а также уменьшить величину разброса яркости электролюминесценции от образца к образцу.

Список литературы

- [1] *Горгобиани А.Н., Питинис П.А.* Туннельные явления в люминесценции полупроводников. М.: Мир, 1994. 224 с.
- [2] *Гурин Н.Т., Шляпин А.В., Сабитов О.Ю.* // ЖТФ. 2002. Т. 72. Вып. 2. С. 74.
- [3] *Буланый М.Ф., Полежаев Б.А., Прокофьев Т.А.* // ЖТФ. 1997. Т. 67. Вып. 10. С. 132.
- [4] *Буланый М.Ф., Клименко В.И., Полежаев Б.А.* // Неорганические материалы. 1996. Т. 32. № 1. С. 26.
- [5] *Омельченко С.А., Берлов П.А., Бредихин С.И.* и др. // ФТТ. 1982. Т. 24. Вып. 9. С. 2803.