

## ПАССИВАЦИЯ АТОМАРНЫМ ВОДОРОДОМ ДЕФЕКТОВ, ВВЕДЕННЫХ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАСТИНЫ CdS МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОЛИРОВКОЙ

В.И. Козловский, А.Б. Крыса

*С помощью фото- и катодолюминесцентных исследований установлено, что отжиг в водородной плазме приводит к пассивации центров безызлучательной рекомбинации, введенных в монокристаллы CdS при их механической полировке.*

В последнее время интенсивно исследуется пассивация атомарным водородом дефектов в кристаллических кремнии, германии и полупроводниковых соединениях  $A^3B^5$  /1, 2/. Одним из наиболее простых способов введения водорода в эти полупроводники является их отжиг в водородной плазме /3/. Однако этим способом, насколько нам известно, еще не удавалось пассивировать дефекты в полупроводниковых соединениях  $A^2B^6$ . В работе /4/ сообщалось, что при отжиге кристаллов CdTe в H-плазме сильное травление поверхности препятствовало внедрению водорода в глубь образцов. Целью настоящей работы являлось наблюдение эффекта водородной пассивации дефектов, введенных в монокристаллические пластины CdS механической полировкой, при их отжиге в H-плазме.

Для исследований использовались монокристаллические пластины CdS, вырезанные по плоскости (0001) из монокристаллических слитков, которые были получены из газовой фазы методом свободного роста на затравку. После резки пластины шлифовались, полировались и травились в полирующем травителе, а затем обрабатывались алмазным порошком с размером зерна 1 мкм или 10 мкм на стеклянном полировальнике. Для получения распределения дефектов по глубине в механически полированных образцах применялось послойное стравливание в полирующем травителе с контролем толщины снятого слоя интерференционным микроскопом МИИ-4. С целью защиты от травления при отжиге в H-плазме на часть образцов наносилось трехслойное покрытие  $HfO_2-SiO_2-HfO_2$  общей толщиной 0,15 мкм. Отжиги проводились в установке, близкой по конструкции к описанной в /3/. В постоянно откачиваемую кварцевую ампулу подавался молекулярный водород. Источником атомарного водорода служил разряд, возбуждаемый генератором УВЧ-30 при давлении 0,1 торр. Для уменьшения ионной бомбардировки образцы размещались на расстоянии 10 см от светящейся области разряда. Нагрев образцов осуществлялся внешней электропечью. Съем материала из-за травления образцов в водородной плазме определялся путем взвешивания образцов на аналитических весах до и после отжига.

Исследуемые образцы сравнивались по интенсивности фотолюминесценции (ФЛ),

возбуждаемой при комнатной температуре лазером ЛГ-21 ( $\lambda = 337$  нм,  $P \approx 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>,  $\tau = 8$  нс — высокий уровень возбуждения), и по интенсивности и спектру катодолуминесценции (КЛ), возбуждаемой при температуре 35 К на установке, описанной в /5/ ( $E = 10$  кэВ,  $j = 10^{-5} \div 10^{-4}$  А/см<sup>2</sup> — низкий уровень возбуждения).

Исследования показали, что отжиг механически полированных пластин CdS в атомарном водороде приводит к существенному увеличению интенсивности ФЛ и КЛ. Чтобы выяснить, не является ли полученный эффект лишь следствием съема наиболее дефектной части нарушенного слоя и термического "залечивания" дефектов, для образцов, обработанных порошком с размером зерна 10 мкм, были получены и сравнены три зависимости (рис. 1): зависимость интенсивности ФЛ  $I$  от толщины слоя  $h$ , стравленного в полирующем травителе (кривая 1); зависимость  $I$  от  $h$  для образцов, травленных в полирующем травителе, а затем отожженных в вакууме при 250 °С в течение 4 часов (кривая 2); зависимость  $I$  от толщины слоя  $h$ , стравленного при отжигах в атомарном водороде при 250 °С в течение 1—6 часов (кривая 3). Кривая 1 отражает увеличение интенсивности ФЛ, вызванное только съемом нарушенного слоя. Кривая 2, которая проходит выше кривой 1, показывает, что имеет место также эффект термического "залечивания" дефектов. Кривая 3, полученная для образцов, отожженных в атомарном водороде, проходит выше кривых 1 и 2. Этот факт можно объяснить пассивацией центров безызлучательной рекомбинации атомарным водородом, причем именно атомарным водородом, поскольку отжиг в молекулярном водороде вызывает изменения, аналогичные отжигу в вакууме. Последующий отжиг в вакууме при 360 °С "наводороженных" образцов приводит к уменьшению интенсивности ФЛ, что связано, по-видимому, с уходом водорода из образца. Следует отметить, что эффект водородной пассивации не наблюдается или становится малозаметным при  $h < 1,5$  и  $h > 3,5$  мкм. При  $h < 1,5$  мкм (сильно нарушенный слой, малое время отжига) водород из-за травления поверхности образца не успевает проникнуть на достаточную глубину в достаточном количестве, и водородную пассивацию на фоне травления и термического "залечивания" дефектов выделить трудно. Диапазон  $h > 3,5$  мкм соответствует менее нарушенному слою, пассивация которого не приводит к значительному увеличению интенсивности ФЛ.

При полировке пластин порошком с размером зерна 1 мкм глубина нарушенного слоя значительно меньше, что затрудняет наблюдение эффекта водородной пассивации дефектов описанным выше способом. Травления в Н-плазме можно избежать путем нанесения защитного покрытия, пропускающего атомарный водород. Экспериментально установлено, что этим требованиям удовлетворяет пленка из окислов SiO<sub>2</sub> и HfO<sub>2</sub>.

На рис. 2 приведены спектры КЛ образцов CdS, механически полированных порошком с размером зерна 1 мкм и покрытых пленкой HfO<sub>2</sub>—SiO<sub>2</sub>—HfO<sub>2</sub>, а затем подверженным различным отжигам. Наиболее интенсивное излучение, как в экситонной области спектра (линии А, А-LO, I<sub>1</sub>,

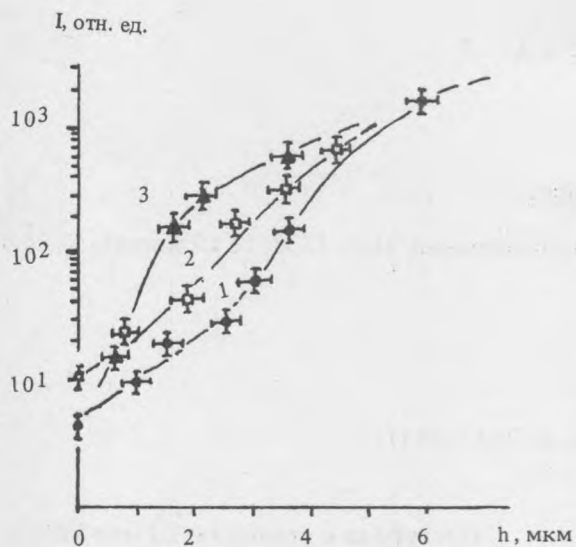


Рис. 1. Зависимость интенсивности фотолуминесценции  $I$  от толщины травленого слоя  $h$  образцов CdS, механически обработанных порошком с размером зерна 10 мкм: 1) съём травлением в полирующем травителе; 2) съём травлением в полирующем травителе с последующим отжигом в вакууме в течение 4 часов при 250 °С; 3) съём при отжиге в Н-плазме в течение 1—6 часов при 250 °С.

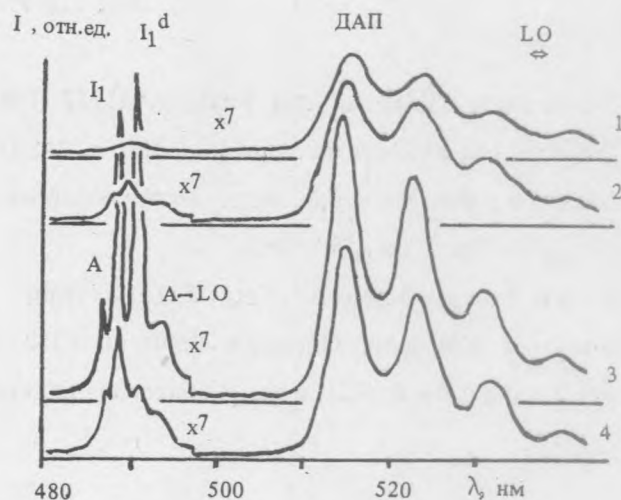


Рис. 2. Спектры катодолуминесценции образцов CdS, механически полированных порошком с размером зерна 1 мкм с нанесенным защитным покрытием  $HfO_2-SiO_2-HfO_2$ : 1) исходный образец; 2) отожженный в вакууме в течение 1 часа при 310 °С; 3) отожженный в Н-плазме в течение 1 часа при 310 °С; 4) отожженный как (3), а затем отожженный в вакууме в течение 1 часа при 360 °С.

$I_1^d$ ), так и в области донорно-акцепторных переходов (ДАП), наблюдается у образца, отожженного в Н-плазме. Поскольку интенсивность КЛ образца, отожженного в вакууме при тех же условиях, меньше, а также наблюдается уменьшение выхода КЛ при отжиге в вакууме "наводороженного" образца, что можно приписать обратному выходу водорода из кристалла, то полученные данные можно интерпретировать как проявление эффекта водородной пассивации дефектов при отжиге в Н-плазме.

Наблюдаемый эффект водородной пассивации дефектов в приповерхностной области механически полированных монокристаллов CdS может быть объяснен на основе простой модели, предложенной в /6/ для объяснения зависимости интенсивности КЛ от типа и плотности введенных дислокаций. Согласно этой модели, дислокацию можно представить в виде стока неравновесных электронно-дырочных пар, характеризующегося определенной скоростью безызлучательной рекомбинации  $S$ , которая зависит от состояния оборванных связей на дислокации. При отжиге в Н-плазме атомарный водород диффундирует в объем образца, заполняет оборванные связи и тем

самым уменьшает  $S$  на несколько порядков величины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pearton S.J. et al. Appl. Phys., **A43**, 153 (1987).
2. Chevallier J. et al. Ann. Rev. Mater., **18**, 219 (1988).
3. Ватанабэ Канэо и др. Метод обработки полупроводника. Пат. 1238112 (Япония). Кокай токке кохо, сер. 7 (2), 59 (1990).
4. Svob I. et al. Mater. Sci. Lett., **5**, 1319 (1986).
5. Зыков В.М. и др. Письма в ЖТФ, **10**, 1373 (1984).
6. Козловский В.И. и др. Квантовая электроника, **8**, 745 (1981).

Поступила в редакцию 23 мая 1991 г.