

06.1;06.2

©1993

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ЯЧЕЙКА НА ПОРИСТОМ КРЕМНИИ

*А.В.Жерздев, В.Х.Кудоярова, А.В.Медведев,
Г.К.Мороз*

Обнаружение в пленках пористого кремния (ПК) яркой фотолюминесценции (ФЛ) в видимой области спектра [1], а также последовавшее вслед за этим предположение о квантоворазмерной природе свечения [2] вызвали бурный поток исследований как самих пленок ПК, так и оптоэлектронных структур на его основе. В частности, несколько групп сообщили о создании электролюминесцентных ячеек на базе ПК [3-5] и исследовании их характеристик. Достигнутая яркость таких ячеек пока не позволяет говорить о практическом их использовании и делает актуальным тщательное исследование механизмов свечения как при возбуждении светом, так и при возбуждении электрическим полем.

В настоящей работе для создания электролюминесцентной (ЭЛ) ячейки был использован пористый кремний толщиной около 2 мкм, полученный методом электрохимического анодного травления кристаллического кремния p -типа (с удельным сопротивлением 10 Ом·см) в концентрированной плавиковой кислоте (48%). Полученные пленки ПК характеризуются пористостью около 50%.

В отличие от других исследований [3,4], полученный ПК не подвергался специальному окислению для формирования слоя с высоким квантовым выходом ФЛ, однако был выдержан на воздухе в течение длительного времени. ЭЛ ячейки создавались путем нанесения на ПК полупрозрачного слоя ИТО диаметром 2 мм. В качестве второго, омического, контакта служил слой алюминия, нанесенный на тыльную сторону подложки кристаллического кремния.

Несмотря на то что ПК был приготовлен в концентрированной плавиковой кислоте и не подвергался специальному окислению, он проявил высокоэффективные фотолюминесцентные свойства. При возбуждении свечения аргоновым лазером ($h\nu = 2.54$ эВ) при дневном освещении невооруженным глазом наблюдается яркая ФЛ желто-красного цвета. Спектр ФЛ имеет максимум при энергии кванта 1.65 эВ при полуширине спектра 0.3 эВ (рис. 1), что согласуется с данными других авторов [2,3]. При постоянном возбуждении наблюдалось явление усталости ФЛ.

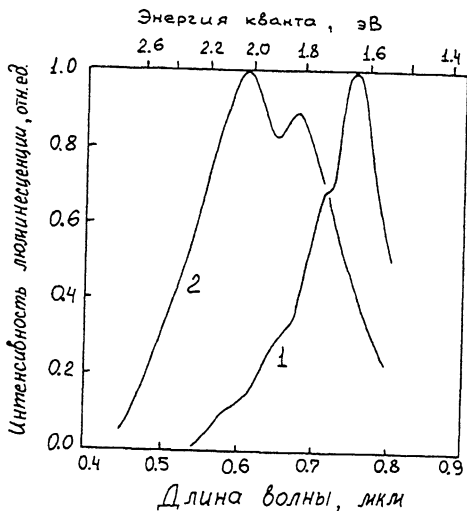


Рис. 1. Спектры люминесценции пористого кремния. 1 — спектр фотолюминесценции, 2 — спектр электролюминесценции.

Данные спектроскопии инфракрасного поглощения свидетельствуют о наличии в пленках ПК химически связанного кислорода как в форме Si-O-Si, так и в форме O-H групп, что может быть вызвано поглощением в силоксеновых пленках, образовавшихся на поверхности пор ПК.

При приложении постоянного электрического поля в режиме прямого смещения (плюс источника — на алюминиевом контакте) при высоких уровнях инжекции (плотность тока выше 100 мА/см^2) в темноте можно было наблюдать ЭЛ чисто желтого цвета. Спектр ЭЛ с максимумом при энергии кванта 2.05 эВ и полушириной спектра 0.6 эВ сдвинут в коротковолновую сторону относительно спектра ФЛ на том же образце (рис. 1). Сдвиг в ту же сторону, но меньшей величины, наблюдали авторы работы [3]. “Тонкая” структура спектров ФЛ и ЭЛ связывается нами с интерференцией в пленке ПК; толщина пленки, вычисленная из сравнения длин волн двух соседних экстремумов, оказалась равной примерно 1.5 мкм (при показателе преломления пленки ПК = 2.5). Зависимость яркости свечения ЭЛ (V) от протекающего тока (J) оказалась близка к линейной ($V \sim J^{1.27}$) в отличие от работ [3,4], где наблюдалась зависимость $V \sim J^2$ в том же диапазоне плотностей токов на аналогичных ЭЛ структурах. С течением времени ЭЛ структура на ПК деградировала, через несколько дней свечение уже не наблюдалось.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) ЭЛ ячейки имеет ярко выраженный выпрямляющий характер (рис. 2): от-

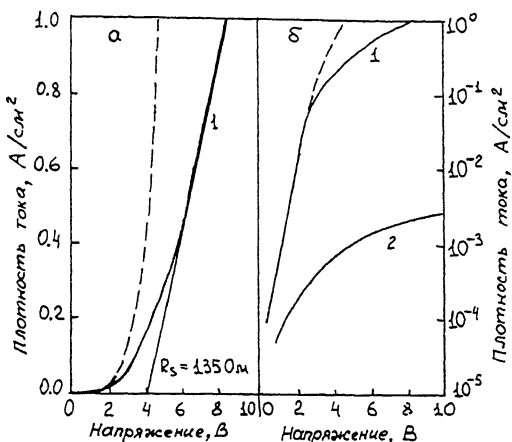


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика электролюминесцентной ячейки на пористом кремнии. *а* — линейные координаты, *б* — логарифмические координаты. Штриховой линией показана ВАХ, скорректированная на последовательное сопротивление ПК. 1 — прямая характеристика, 2 — обратная характеристика.

ношение прямого тока к обратному достигает 200. При больших напряжениях в ВАХ проявляется последовательное сопротивление ($R_s = 135 \text{ Ом}$), связываемое нами с транспортом дырок по ПК от кремния *p*-типа к контакту ИТО-ПК. Вводя поправку на R_s , можно получить ВАХ непосредственно контакта ИТО-ПК (рис. 2). Эта ВАХ при малых смещениях (до 2 В) характеризуется высоким значением фактора неидеальности ($m = 10.4$) в соответствии с выражением для ВАХ: $I \sim \exp(eU/mkT)$, где U — приложенное к контакту смещение, T — температура. По теории ВАХ для переходов металл-полупроводник [6,7] такие значения m указывают на наличие диэлектрической прослойки между ИТО и ПК с высокой концентрацией локализованных электронных состояний в интерфейсе диэлектрик-полупроводник.

Отсутствие данных по температурным зависимостям ВАХ в области большой инжекции, где наблюдается ЭЛ, не позволяет пока однозначно судить о механизмах инжекции электронов из ИТО через диэлектрик ПК.

Особого внимания с точки зрения определения спектра электронных состояний ПК заслуживает различное энергетическое положение спектров ФЛ и ЭЛ (рис. 1). Если исходить из одной и той же природы центров свечения при ФЛ и ЭЛ, то естественным объяснением их различного энергетического положения было бы представление о варизонной структуре электронного спектра в ПК, как это предложено в работе [3]: в силу химических особенностей формирова-

ния окисного слоя ПК его приповерхностная область имеет более широкую зону, чем более глубокие слои. Поэтому спектр ФЛ, обусловленный рекомбинацией носителей, рожденных во всем объеме ПК, расположен в низкоэнергетичной стороне относительно спектра ЭЛ, обусловленного рекомбинацией носителей вблизи перехода ИТО-ПК, т.е. в более широкозонной области ПК. Подтверждением такого предположения служат данные о том, что спектр ФЛ ПК сдвигается в коротковолновую сторону при возбуждении его квантами более высоких энергий [8].

Список литературы

- [1] *Pickering C., Beale M.I.J., Robbins D.J., Pearson P.J., Greef R.* // *J. Phys. C.* 1984. V. 17. N 35. P. 6535–6552.
- [2] *Canham L.T.* // *Appl. Phys. Lett.* 1990. V. 57. N 10. P. 1046–1048.
- [3] *Koshida N., Koyama H.* // *Appl. Phys. Lett.* 1992. V. 60. N 3. P. 347–349.
- [4] *Maruska H.P., Namavar F., Kalkhoran N.M.* // *Appl. Phys. Lett.* 1992. V. 61. N 11. P. 1338–1340.
- [5] *Futagi T., Matsumoto T., Katsuno N., Ohta Y., Mimura H., Kitamura K.* // *Jpn. J. Appl. Phys.* 1992. V. 31. N 5B, part. 2, Letters. P. L616–L618.
- [6] *Струза В.И.* Теоретические основы работы контакта металл-полупроводник. К., 1974. 264 с.
- [7] *Maruska H.P., Ghosh A.K., Eustace D.J., Feng T.* // *J. Appl. Phys.* 1983. V. 54. N 5. P. 2489–2494.
- [8] *Brandt M.S., Fuchs H.D., Stutzmann M., Weber J., Cardona M.* // *Solid State Commun.* 1992. V. 81. N 4. P. 307–312.

Физико-технический
институт им.А.Ф.Иоффе
РАН,
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
22 октября 1993 г.

