

06.2;06.3;07;12

©1993

СПЕКТРЫ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИОДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ И КРЕМНЕВОДОРОДНЫХ ПЛЕНОК

*Е.В.Астрова, С.В.Белов, О.А.Зайцев,
А.А.Лебедев*

В данной работе приведены предварительные результаты исследования фоточувствительности (ФЧ) структур, полученных на подложках из монокристаллического кремния, который прошел специальную обработку. В зависимости от способа обработки на поверхности кремния формировался либо слой пористого кремния (ПК), либо кремневодородная пленка (КВП). Пористый кремний известен давно [1] и получается в результате электрохимической обработки в плавиковой кислоте. Кремневодородные пленки были получены R.J.Archer в 1960 г. в результате обработки монокристаллического кремния в водном растворе $\text{HF} + \text{HNO}_3$ [2]. Исследования спектров ИК поглощения КВП показали наличие в них связей Si-H [3-5], этим и объясняется их название.

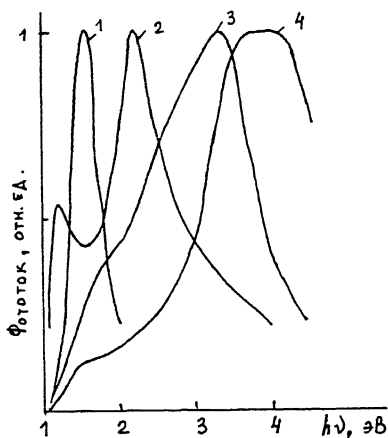
Интерес к ПК и КВП резко возрос после обнаружения довольно эффективной фотолюминесценции в видимой области спектра, а несколько позднее и электролюминесценции [7-10]. Исследования фоточувствительности структур, содержащих ПК и КВП, представляют самостоятельный интерес и могут дать дополнительную информацию о физическом механизме видимой люминесценции кремния [11].

Для изготовления образцов использовались пластины монокристаллического кремния толщиной 0.25-0.4 мм обоих типов проводимости с удельным сопротивлением $0.5 - 40^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и ориентацией (111) или (100). Для создания впоследствии омических контактов обратную сторону пластин дополнительно легировали Р или В, в зависимости от типа проводимости. Формирование КВП осуществлялось путем травления поверхности пластин в водном растворе 48% HF с добавлением небольшого количества 70% HNO_3 или NaNO_2 . Толщина слоя КВП (от 0.05 до 0.5 мкм) и его внешний вид сильно зависели от состава раствора и времени обработки (от 10 секунд до 2 минут). Слои ПК получали путем электрохимического травления в (20-48)% HF при

плотностях тока $10 - 50 \text{ мА/см}^2$. Толщина слоя ПК была порядка $3-5 \text{ мкм}$. Под действием УФ излучения КВП светились красным светом, ПК — красно-оранжевым. Диодные структуры изготавливались путем термического напыления на поверхность КВП или ПК полупрозрачного слоя Al, Ag или Au через маску с отверстиями диаметром $0.4-2 \text{ мм}$. Омические контакты на обратной стороне подложки получали напылением Al или химическим осаждением Ni.

Полученные таким образом структуры имели диодные вольтамперные характеристики с пробивными напряжениями от 20 до 150 В , темновыми токами при малых обратных напряжениях ($V < 4 \text{ В}$) порядка $1-5 \text{ мкА}$ и напряжением отсечки в прямом направлении $0.6-0.8 \text{ В}$. Прямое смещение при заземленной подложке было того же знака, как и для обычных диодов с соответствующим типом проводимости подложки. Измерения фоточувствительности (ФЧ) диодов в диапазоне $1-4 \text{ эВ}$ производились с помощью монохроматора SPM — 2 фирмы "Karl Zeiss" с кварцевой призмой при освещении галогенной лампой накаливания или осветителем ОИ-18А с ртутной лампой. Для устранения возможного влияния рассеянного света с $h\nu \approx 1.1 \text{ эВ}$ перед входной щелью монохроматора помещали фильтр СЗС-23, который практически не пропускает излучение с $h\nu < 1.8 \text{ эВ}$. Удельная мощность падающего на образец излучения не превышала 0.2 мВт/см^2 . Измерения ФЧ структур производились при комнатной температуре в фотодиодном режиме при обратном смещении $3-30 \text{ В}$. Измерения люкс — амперных характеристик показали, что при малых интенсивностях освещения они линейны. Это позволило проводить измерения в режиме постоянной ширины щели и затем пересчитывать полученные спектры на постоянное число падающих на образец квантов.

На рисунке представлены типичные спектры ФЧ различных диодов. Условно их можно разбить на три типа. Фотоответ диодов 1-го типа имеет максимум при $1.5-1.7 \text{ эВ}$ и быстро спадает с ростом $h\nu$ (см. рисунок, кривая 1). Такие спектры характерны для кремниевых диодов с толстым "неактивным" слоем на освещаемой поверхности. В этом случае генерация электронно-дырочных пар происходит в глубине кремния, далеко от выпрямляющего контакта. Необходимо отметить, что чувствительность таких структур в максимуме была значительно ниже, чем у других типов фотодиодов. В диодах 2-го типа наблюдаются два максимума фотоответа — при $h\nu = 1.3 - 1.6 \text{ эВ}$ и при $h\nu = 2 - 2.5 \text{ эВ}$ (см. рисунок, кривая 2). Такой вид спектра показывает, что вклад в фототок свободных носителей, образовавшихся в глубине кремния, сопоставим с вкладом носителей тока, образовавшихся в пленке. Диоды 3-го типа имеют спектр



Нормированные спектры фототока в диодных структурах на основе пористого кремния (3) и кремневодородных пленок (1, 2, 4).

ФЧ с максимумом в области 3–4 эВ, а в районе 1.5–2 эВ наблюдается достаточно четко выраженное плечо (см. рисунок, кривые 3, 4). ФЧ в максимуме была в большинстве исследованных образцов не хуже 0.2–0.3 А/Вт. Такой вид спектра ФЧ говорит о том, что генерация свободных носителей тока происходит, по-видимому, в пленке и коэффициент собирания достаточно велик. Таким образом, кремниевые структуры с КВП или ПК являются эффективными фотоприемниками в фиолетовой и ближней ультрафиолетовой областях спектра. Высокая эффективность фотодиодов связана, вероятно, с большим коэффициентом поглощения и достаточно высоким коэффициентом собирания.

Список литературы

- [1] Uhlir A. // Bell. Syst. Tech. J. 1956. V. 35. N 2. P. 333–347.
- [2] Archer R.J. // J. Phys. Chem. Solids. 1960. V. 14. N 1. P. 104–109.
- [3] Логинов Б.В., Гайдаенко В.П. // ЖПС. 1979. Т. 31. В. 1. С. 126–131.
- [4] Brandt M.S., Fucks H.D., Stutzmann M., Webler J., Cardona M. // Sol. St. Comm. 1992. V. 81. N 4. P. 307–312.
- [5] Витман Р.Ф., Капитонова Л.М., Лебедев А.А., Старухин А.Н., Разбирин Б.С. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 6. С. 10–13.
- [6] Canham L.T. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 57. (10). P. 1046–1048.
- [7] Kogata H., Araki M., Yamamoto Y., Koshida N. // Jap. J. Appl. Phys. Lett. 1991. V. 30. N 12. P. 3606–3609.
- [8] Fathauer R.W., George T., Ksendzov A., Vasquez R.P. // Appl. Phys. Lett. 1992. V. 60(8). P. 995–997.

- [9] *Halimani A., Onies C., Bomoni G., Bsiesy A., Gasprad F., Hario R., Hiocon M., Muller F.* // Appl. Phys. Phys. Lett. 1991. V.59. N 3. P. 304-305.
- [10] *Белов С.В.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 24. С. 16-18.
- [11] *Zheng J.P., Jiao K.L., Shen W.P., Anderson W.A., Kwok H.S.* // Appl. Phys. Lett. 1992. V. 61(4). P.459-461.

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

Поступило в Редакцию
4 ноября 1993 г.
