

УДК 535.361

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В КРЕМНИИ, ПОДВЕРГНУТОМ СИЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

С. Н. Миков, А. В. Иго, Н. А. Красильников,
В. С. Горелик, И. К. Исламгалиев

Впервые обнаружена красная фотолюминесценция в образцах n -Si, подвергнутых сильной сдвиговой деформации. Показано, что полученные при этом спектры аналогичны спектрам люминесценции пористого кремния.

Природа фотолюминесценции (ФЛ) в пористом кремнии (ПК) в настоящее время является предметом дискуссий исследователей. Понимание механизмов ФЛ в ПК затруднено из-за неполноты данных о его строении, плохой повторяемости явления и недостаточного понимания причин образования самих микропор в кремнии при электрохимическом травлении. В этом смысле получение дополнительной информации о ФЛ кремния, не обработанного химическими методами, но имеющего нанокристаллическую структуру, может в значительной степени способствовать объяснению механизма явления.

В настоящей работе исследована ФЛ образцов кремния, подвергнутых сильной деформации (СДК). Образцы приготавливались следующим образом. Таблетки кристаллического n -Si, легированного фосфором, с удельным сопротивлением $\rho = 7,5 \text{ Ом} \cdot \text{см}^{-1}$, диаметром 8 мм и толщиной 2 мм в условиях сильного квазигидростатического сжатия при $P = 6 \text{ ГПа}$ подвергались сдвиговым деформациям с помощью наковален Бриджмена. Деформирование кремния производилось при комнатной температуре. При этом образец практически диспергировался в объеме. При одних и тех же условиях были изготовлены 3 образца.

После обработки образцы сохраняли металлический серый блеск поверхности и равномерную структуру по всему объему при толщине 0,3 мм. Механическая прочность образцов при этом значительно ухудшалась. Данные о структуре образцов были получены на просвечивающем электронном микроскопе JEM-2000EX и дифракционном

спектрометре ДРОН-4. По данным электронной микроскопии средний размер зерна кристаллитов составлял около 40 нм, а доля аморфной фазы в исследуемых образцах составляла около 10%. По данным рентгеновской дифракционной спектроскопии средний размер кристаллитов составлял порядка 15 нм.

Образцы пористого кремния, изученные в данной работе, готовились методом электрохимического травления в растворе HF по известной технологии. Спектры образцов регистрировались на спектрометре ДФС-52. Для возбуждения использовался лазер ЛТН-402 с длиной волны 532 нм. Сигнал регистрировался на "отражение" с использованием схемы счета фотонов. Измерения проводились при комнатной температуре.

На рис. 1 представлены спектры ФЛ ПК (1) и СДК (2) с учетом чувствительности прибора. Спектры имеют явные максимумы при $\lambda = 655$ нм для СДК и ПК.

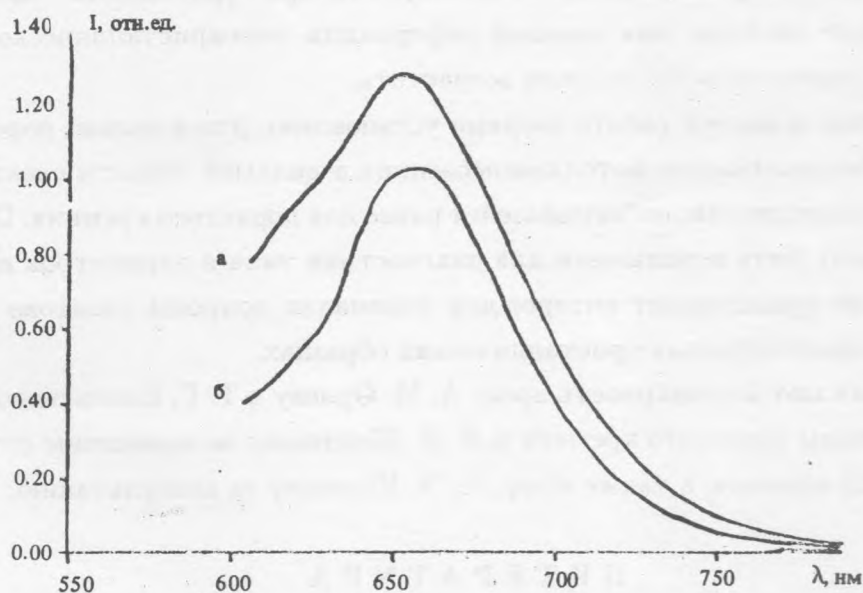


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции видимого диапазона в кремнии; а - спектры в пористом кремнии при лазерном возбуждении, б - спектры в деформированном кремнии при лазерном возбуждении.

Интенсивность ФЛ образцов увеличивалась при увеличении мощности возбуждающего излучения. При мощности излучения порядка $1,5 \text{ Вт/мм}^2$ наблюдалась деградация образцов в области фокального пятна лазерного излучения. Визуальный осмотр

образцов в оптическом микроскопе показал, что значительный локальный разогрев меняет структуру кремния, вызывая разрушение (оплавление). При одних и тех же условиях интенсивность ФЛ СДК примерно в 30 раз слабее, чем в ПК. При варьировании мощности возбуждающего лазерного излучения спектрального сдвига максимумов не наблюдалось. После обработки образцов ионно-плазменным травлением несколько увеличивалась интенсивность ФЛ СДК, однако спектральное положение и форма полосы не изменялись.

Представленные экспериментальные данные, по-видимому, подтверждают высказанные ранее утверждения о квантово-размерной природе люминесценции видимого диапазона в кремнии [1, 2]. Причиной такой люминесценции может служить появление разрешенных уровней энергии в запрещенной зоне в приповерхностной области кристалла, т.е. известных таммовских уровней энергии. С увеличением площади поверхности образца в случае возникновения пор или при "распадании" кристалла на ультрадисперсные частицы при сильной деформации монокристаллического образца интенсивность такого типа ФЛ должна возрастать.

Таким образом, в данной работе впервые установлено, что в сильно деформированном кремнии обнаруживается фотолюминесценция в видимой области спектра, аналогичная фотолюминесценции, наблюдавшейся ранее для пористого кремния. Обнаруженный эффект может быть использован для диагностики типа и параметров деформации кремния, а также представляет интерес для понимания природы квантово-размерных эффектов в ультрадисперсных кристаллических образцах.

Авторы выражают благодарность проф. А. М. Орлову и Т. Г. Емельяновой за предоставленные образцы пористого кремния и В. П. Шевлякову за проведение структурных исследований СД кремния, а также проф. А. Э. Юновичу за консультацию.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] С o n h a m L. T., Appl. Phys. Lett., **57**, 1046 (1990).
- [2] Б р е с л е р М. С., Я с с и е в и ч И. Н., ФТП, **27**, 871 (1993).

Поступила в редакцию 10 мая 1994 г.