

06

О времени жизни неосновных носителей заряда поликристаллического кремния, обработанного в жидких растворителях

© Б. Сапаев

ФТИ НПО „Физика–Солнце“ АН РУз, Ташкент

E-mail: atvi@physic.uzsci.net

В окончательной редакции 8 мая 2003 г.

Рассмотрено влияние на время жизни τ неосновных носителей заряда (ННЗ) в поликремнии различных металлов-растворителей, таких как Sn, Bi, Pb при термообработке при 800°C. Методами стационарной фотопроводимости выявлен эффект внешнего геттерирования. Показано, что лучший результат достигается, когда в качестве металла-растворителя используются Sn. Показано, что после двухчасовой обработки значения τ увеличиваются примерно в 2 раза. Полученные экспериментальные результаты еще раз подтверждают наличие эффекта внешнего геттерирования и возможностью его применения на практике.

Поликристаллический кремний является одним из широко используемых перспективных полупроводниковых материалов в производстве солнечных элементов (СЭ) [1] благодаря низкой себестоимости и технологичности. Однако к настоящему времени СЭ, изготовленные на его основе, пока имеют относительно низкие значения КПД преобразования. Это связано с высокой скоростью поверхностной и межзеренной рекомбинаций, обусловленных различными оборванными связями, с низким значением времени жизни τ неосновных носителей заряда (ННЗ) и т.п. Для достижения высоких значений КПД необходимо улучшить эти параметры. Имеются разные способы и пути решения этой задачи [2]. В работе [3] нами была показана возможность увеличения времени жизни ННЗ поликристаллического кремния геттерированием их различных примесей и включений, обработкой в жидком олове.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния типа металла-растворителя и времени проведения процесса геттерирования на характеристики поликремния, т.е. на значение τ ННЗ с применением

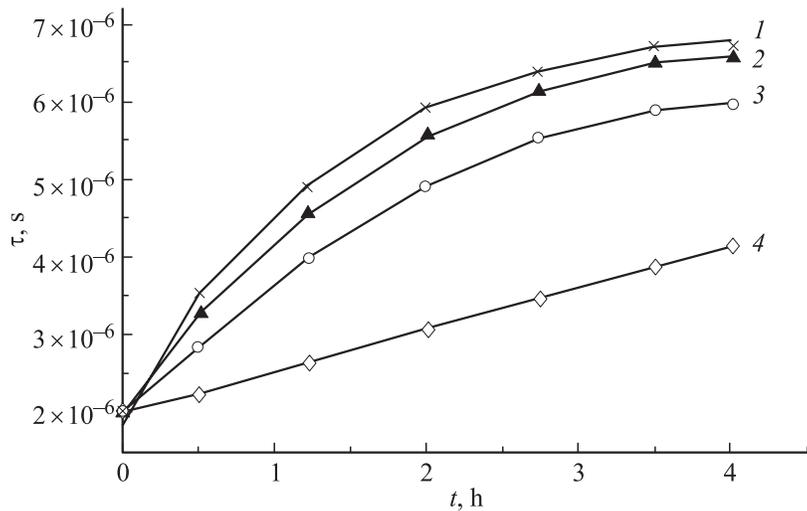
трех широко используемых в жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) металлов-растворителей — Bi, Pb и Sn.

Выбор этих трех металлов в качестве геттеров обусловлен тем, что, с одной стороны, кремний в этих металлах почти не растворяется при температурах 700°C, а при 800–900°C растворяется очень слабо [4]. С другой стороны, эти выбранные металлы являются очень хорошими растворителями для GaAs и дают возможность выращивания пленок GaAs без отрицательного влияния на свойства подложки. Например, нами в работах [5,6] были сделаны сообщения о возможности выращивания эпитаксиальных пленок арсенида галлия (GaAs) с применением этих металлов-растворителей на подложках из поликристаллического кремния без переходного буферного слоя, согласующего параметры кристаллических решеток пленки и подложки.

Исходя из вышеизложенного, можно сказать, что представляет огромный интерес изучение влияния этих металлов на свойства поли-Si в температурных режимах, при которых нами выращивались эпитаксиальные пленки GaAs [5,6], потому что от свойств подложки зависят некоторые параметры выращенных на них эпитаксиальных пленок. Это особенно важно при создании каскадной структуры СЭ, когда нижний узкозонный элемент создается в поли-Si.

За основу улучшения параметров поли-Si взято геттерирование жидкими металлами-растворителями, при котором происходит обмен свободно смешивающимися элементами между металлом-растворителем и подложкой. В результате диффузии излишек элементов из подложки в раствор-расплав приповерхностная область становится несколько очищенной от различных неблагоприятных примесей, что приводит к увеличению времени жизни τ ННЗ [2,7]. Значение времени жизни зависит от времени обработки подложек в жидких металлах и типа этих металлов, так как коэффициенты сегрегации различных элементов в разных металлах различные [8,9].

Процесс геттерирования проводился при температуре 800°C. В качестве исходного материала был использован поликристаллический кремний *p*-типа с удельным сопротивлением $\rho \approx (2.0 \div 2.5) \Omega \cdot \text{см}$ и временем жизни $\tau \approx 10^{-6} \text{ с}$, так как для изготовления солнечных элементов (СЭ) в основном используются подложки с такими параметрами [1,10]. Образцы изготавливались в виде шайб диаметром 2.0 см и толщиной $1.0 \pm 0.1 \text{ мм}$ (после всех процессов подготовки, включая шлифовку и химическую обработку, образцы имели окончательную



Зависимости времени жизни неосновных носителей заряда τ поли-Si подложек, обработанных при 800°C в жидких металлах (1 — Sn, 2 — Bi, 3 — Pb) и контрольного (4) от времени выдержки t .

толщину $0.8 \pm 0.05 \text{ mm}$). Каждая из пластин, как исходная (контрольная), так и проходившая процесс геттерирования, разрезалась на 6 одинаковых пластин размером $6 \times 4 \text{ mm}$ для того, чтобы получить усредненные данные по пластине.

Конструкция аппаратуры для проведения эксперимента, этапы подготовки образцов и проведение процесса геттерирования идентичны приведенным в работе [3].

После процесса геттерирования и перед получением омического контакта с поверхности образцов шлифовкой удалялся верхний слой толщиной $\sim 50 \pm 2.0 \mu\text{m}$, что контролировалось микрометром с делением $1.0 \mu\text{m}$. Омические контакты были получены из сплава In (50%) + Sn (50%) термовакuumным напылением с подогреванием образцов до температуры 120°C .

Время жизни τ ННЗ определялось методами стационарной фотопроводимости, а также гашения фотонапряжения, генерированного импульсным освещением образца [11,12]. Результаты исследований представлены на рисунке, из которого видно, что после 2-часовой обра-

ботки значение τ у всех образцов независимо от типа металла-растворителя увеличивается почти в 2 раза по сравнению с контрольными образцами (термообработка в этом же реакторе без геттерирования). Темп роста значения τ спадает со временем и выходит на насыщение после 4–5-часовой обработки. Также из рисунка видно, что самый лучший результат получается, когда в качестве металла-растворителя используется Sn, при использовании Вi результаты получаются немного хуже.

Улучшение значения τ после геттерирования происходит в результате деформации структуры поверхностей этих материалов, что в свою очередь является стоком для неконтролируемых быстро диффундирующих примесей. Поскольку рекомбинация в объеме поли-Si определяется остаточным содержанием быстро диффундирующих глубоких примесей, например таких как Cu, Ni, Fe, Cr и др. [7], то обработка при температуре 800°C приводит к распаду твердых растворов кремния с этими примесями в геттерируемых образцах и ускоряет выход компонентов из объема на поверхность. В результате наблюдается рост τ , который выходит на насыщение после времени выдержки $\sim 4 \div 5$ h (см. рисунок).

Зависимость величины τ от металла-растворителя показывает, что величины механических напряжений зависят от ковалентных радиусов атомов металлов-растворителей [4,9].

Полученные экспериментальные результаты еще раз доказывают эффективность внешнего геттерирования и возможность его применения на практике. Кроме того, геттерированные вышеописанным образом поли-Si подложки могут быть успешно применены как для изготовления СЭ, так и для выращивания на них пленок из других материалов, например полупроводниковых соединений A^3B^5 для создания различных приборов.

Список литературы

- [1] Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент. М.: Энергоатомиздат, 1987. 280 с.
- [2] Тонкие поликристаллические и аморфные пленки: Физика и применение / Пер. с англ. Под ред. Л. Казмерски. М.: Мир, 1983. 304 с.
- [3] Сапаев Б., Саидов А.С., Саидов М.С. // Гелиотехника. 2001. № 2. С. 95–96.
- [4] Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. Т. 2. М.: Металлургиздат, 1962. 874 с.

- [5] Сапаев Б., Саидов А.С., Кутлимратов А., Давлатов У.Т. // Вестник ГулГУ. 2001. № 2. С. 40–44.
- [6] Сапаев В., Mukhamedshina N.M., Saidov A.S. et al. / The 4th Intern. Conf. „Modern Problems of Nuclear Physics“ book of abstr. Tashkent, 2001. P. 191–192.
- [7] Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. М.: Высш. школа, 1984. 352 с.
- [8] Андреев В.М., Долгинов Л.М., Третьяков Д.Н. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. М.: Сов. радио, 1975. 328 с.
- [9] Саидов М.С. Исследование взаимодействия и распределения примесей в некоторых полупроводниковых и металлических системах. Докт. дис. Ташкент, 1970.
- [10] Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. М.: Наука, 1985. 280 с.
- [11] Кучис Е.В. Методы исследования эффекта Холла. М.: Наука, 1974.
- [12] Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов: Учебн. для вузов. М.: Высш. школа, 1987. 239 с.