Формирование фотодиодных n^+/p -Si структур с примесями халькогенов и металлов методами ионной имплантации и импульсных воздействий

Р.И. Баталов¹, Р.М. Баязитов¹, Г.А. Новиков¹, В.И. Нуждин¹, В.Ф. Валеев¹, К.Н. Галкин²,
И.Б. Чистохин³, Г.Д. Ивлев⁴, Ф.Ф. Комаров⁴

¹ Казанский физико-технический институт, Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН», Казань, 420029, ул. Сибирский тракт, 10/7

² Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, 690041, ул. Радио, 5

³ Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, 630090, пр. ак. Лаврентьева, 13

⁴ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, 220030, пр. Независимости, 4
тел: +7 (843) 231-9102, факс: +7 (843) 272-5075, эл. почта: batalov@kfti.knc.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-109

В последние годы отмечается значительный интерес научного сообщества к гипердопированию Si (уровень легирования свыше 10^{19} ат/см³) глубоководными примесями (халькогены, металлы) с целью создания в запрещенной зоне Si примесных зон, способствующих поглощению фотонов с энергией $E < E_g(\text{Si})$, что позволит расширить область фоточувствительности Si-фотодиодов в длинноволновую область (свыше 1100 нм) при 300 К [1]. При этом основными легирующими примесями являются сера, селен, теллур, титан, железо, золото, серебро, а методами их внедрения в решетку Si являются, как правило, ионная имплантация в сочетании с импульсным лазерным отжигом в жидкофазном режиме.

В данной работе проведено формирование гипердопированных слоев Si с примесями халькогенов (Se, Te), металлов (Fe, Cr), а также слоев Si с наночастицами узкозонного материала InSb. Образцы были получены при имплантации монокристалла p-Si(111) ионами Se^+ , Te^+ , Fe^+ , Cr^+ , а также при последовательной имплантации ионами Sb^+ и In^+ . После имплантации проводился отжиг аморфизованных слоев Si импульсами рубинового лазера ($\lambda = 0.694$ мкм, 80 нс) или мощным пучком ионов углерода и водорода (C^+ , H^+ , 300 кэВ, 100 нс) на ускорителе ТЕМП в жидкофазном режиме через процессы плавления и кристаллизации. Указанные процессы при лазерном отжиге диагностировались *in-situ* методикой регистрации отражения $R(t)$ в облучаемой лазером зоне, позволяющей определить время жизни расплава. Оптические свойства полученных слоев исследовались на пропускание T и отражение R в области длин волн 0.5-10 мкм для определения их поглощательной способности ($A=1-R-T$). Результаты измерений показали повышенное подзонное поглощение слоев в ИК-области (до 40%) по сравнению с исходным Si (1-2%). Для оценки восстановления кристаллической структуры Si после импульсного отжига применялся метод Рамановской спектроскопии, показавший высокую кристалличность слоев. С использованием ВАХ на меза-структурах тестировалось диодное поведение

перехода слой/подложка. Также исследовался фототок диодных n^+/p -структур в области 0.6-6 мкм при 77 и 300 К. Результаты измерений фототока при 300 К приведены на Рис.1 при обратном смещении 1.5 В. Также для сравнения приведен спектр типового Si-фотодиода ФД-24 при $U=0$. Из рис.1 следует, что для образцов с примесями селена, теллура и InSb имеется сдвиг края фоточувствительности к 1250-1300 нм (отмечено штриховкой). Охлаждение образцов до 77 К приводило к синему сдвигу края фоточувствительности до 1140 нм. Фототок в длинноволновой области (до 6 мкм) не наблюдался, несмотря на значительное оптическое поглощение, что, вероятно, связано с остаточной дефектностью образцов.

Литература

[1] C. Li, J.-H. Zhao, Z.-G. Chen // J. Alloys Compounds. 2021. V.883. art. no. 160765.