

06; 11

© 1992

ЛАВИННО-ИНЖЕКЦИОННЫЙ ОТЖИГ ДЕФЕКТОВ
В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ КРЕМНИЯ

С.Н. К о з л о в, В.В. С у п р у н о в

Обычно лавинная инжекция электронов из кремния в окисный слой сопровождается постепенной деградацией МДП-структур (в частности, возрастанием плотности поверхностных электронных состояний (ПС) и уменьшением времени генерации неосновных носителей заряда [1-3]). В настоящей работе сообщается о новом эффекте - стимулированном лавинной инжекцией электронов улучшении электрофизических характеристик кремниевых МДП-структур.

Исследовались структуры кремний - двуокись кремния - поликремний, изготовленные на базе р-кремния с концентрацией бора $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Пленка двуокси кремния толщиной $\sim 1500 \text{ \AA}$ получалась методом термического окисления поверхности (100) кремния в сухом кислороде. Информация об энергетическом спектре ПС извлекалась из высокочастотных и квазистатических вольт-фарадных зависимостей [4]. Методика лавинного инжентирования электронов из кремния в окисный слой идентична приведенной в работе [2]. Генерация неосновных носителей заряда в кремнии изучалась импульсным $C(t)$ методом [5].

В исходном состоянии исследованные структуры характеризовались достаточно плавными U -образными энергетическими спектрами ПС, плотность электрически-активных дефектов в середине запрещенной зоны кремния достигала $3-4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$ (см.рис.1, кривая 1). После небольших доз лавинно-инжекционных воздействий ($10^{15}-10^{16}$ электронов см^{-2}) наблюдалось заметное снижение плотности поверхностных состояний во всей исследованной области запрещенной зоны кремния (рис. 1, кривые 2, 3), минимальная плотность ПС в центре запрещенной зоны приближалась при этом к $10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$. При дальнейшем увеличении дозы инжентированных электронов регистрировалось обычное, многократно наблюдавшееся разными исследователями возрастание плотности ПС - см. рис. 1, кривая 4.

Приблизительно при тех же дозах лавинно-инжекционных воздействий ($10^{15}-10^{16}$ электронов $\cdot \text{см}^{-2}$) кардинальные изменения претерпевают генерационные характеристики кремния. Типичные кинетические кривые релаксации высокочастотной емкости МДП-структур после подачи на затвор инвертирующего напряжения показаны на рис. 2. Из рис. 2, а видно, что в исходном состоянии (до проведения лавинной инжекции) время генерации неосновных носителей заряда при комнатной температуре менее 1 с (кривая 1). Понижение

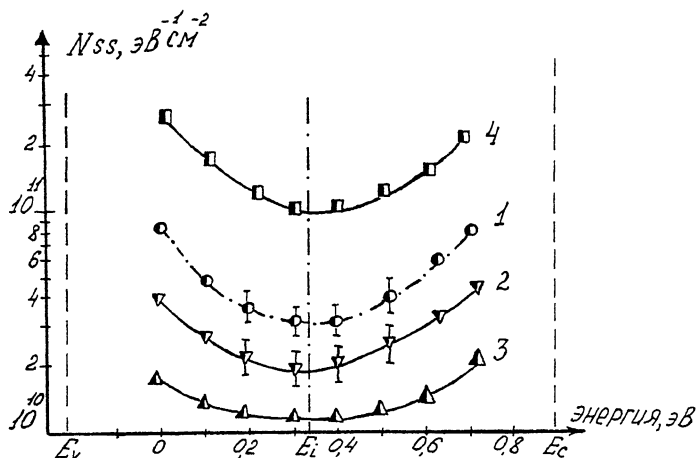


Рис. 1. Энергетические спектры поверхностных электронных состояний кремния до (1) и после (2-4) проведения лавинной инжекции электронов из кремния в окисную пленку. Доза лавинной инжекции, электронов·см⁻²: 1·10¹⁵ (2), 6·10¹⁵ (3), 5·10¹⁶ (4).

температуры до 250–260 К обуславливает увеличение генерационного времени жизни до нескольких десятков секунд, причем форма $S(t)$ кривых свидетельствует об определяющей роли генерации электронов в истощенном слое кремния [5]. В результате лавинно-инжекционных воздействий при дозах 10¹⁵–10¹⁶ электронов·см⁻² темп генерации неосновных носителей заряда замедляется на порядки (рис. 2, б, кривые 2–4). Отсутствие точек перегиба на зависимостях $S(t)$, полученных после лавинно-инжекционных обработок, указывает на преобладание в данном случае поверхностной генерации электронов [5]. Очевидно, лавинный пробой в приповерхностной области кремния сопровождается дезактивацией по крайней мере части генерационно-активных дефектов в области пространственного заряда полупроводника.

Из приведенных данных следует, что энергия электронов, „разогретых“ в электрическом поле истощенного слоя кремния, может быть использована для структурных перестроек в окрестности объемных и поверхностных дефектов полупроводника, обуславливающих дезактивацию этих дефектов. Возможны два механизма воздействия горячих электронов на ближайшее окружение дефектов. Во-первых, горячий электрон может непосредственно передать избыточную энергию дефекту через электрон-фононное взаимодействие; во-вторых, электрически-активный дефект может быть „запассивирован“

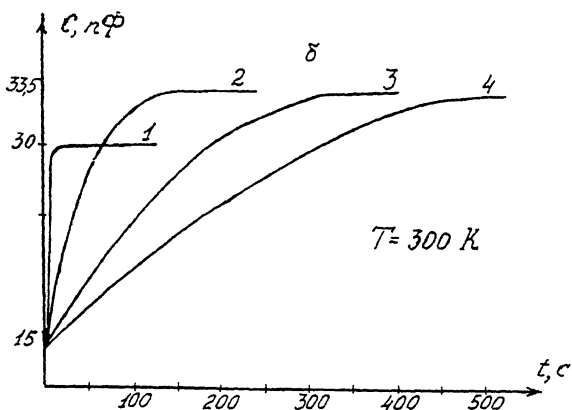
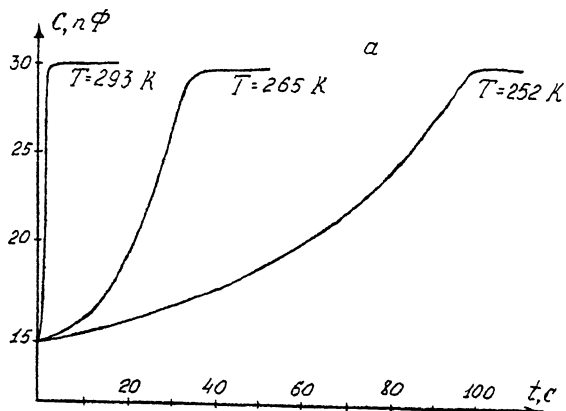


Рис. 2. а) Кривые релаксации неравновесной высокочастотной емкости структур кремний-двуокись кремния-полукремний до проведения лавинной инжекции электронов. Температура измерений, К: 293 (1), 265 (2), 252 (3). б) Кривые релаксации неравновесной высокочастотной емкости структур кремний-двуокись кремния-полукремний при 300 К после лавинно-инжекционных воздействий. Доза лавинной инжекции, электронов $\cdot \text{см}^{-2}$: 0 (1), $1 \cdot 10^{15}$ (2), $3 \cdot 10^{15}$ (3), $9 \cdot 10^{15}$ (4).

атомарным водородом, возникающем в процессе лавинной инжекции электронов из кремния в окисный слой.

Существенно, что при лавинно-инжекционном способе улучшения электрофизических характеристик МДП-структур не требуется повышения температуры; воздействие может быть проведено локально.

- [1] Н з и С.С., Р а н С.С., С а н С.Т. // J. Appl. Phys. 1985. V. 58. N 3. P. 1326-1329.
- [2] К о з л о в С.Н., П о г а п о в А.Ю. // Вестник МГУ. Физ. Астрон. 1989. Т. 30. № 3. С. 74-79.
- [3] К о з л о в С.Н., Н е в з о р о в А.Н., П о г а - п о в А.Ю. // Вестник МГУ. Физ. Астрон. 1988. Т. 29. № 1. С. 62-65.
- [4] З и С. Физика полупроводниковых приборов. Т. 1. М.: Мир, 1984. 455 с.
- [5] Л и т о в ч е н к о В.Г., Г о р б а н ь А.П. Основы физики микроэлектронных систем металл-диэлектрик-полупроводник. Киев: Наукова Думка, 1978. 315 с.

Московский
государственный
университет
им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
25 марта 1992 г.