

06;12
©1995

ВЛИЯНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЫ Si-SiO₂ НА ТОК УТЕЧКИ МОП-ТРАНЗИСТОРА

*А.Э.Атамуратов, Х.С.Далиев, С.З.Зайнабидинов,
А.Ю.Юсупов, К.М.Адинаев*

В настоящем сообщении приводятся и обсуждаются результаты исследования поверхностных состояний (ПС), локализованных на межфазной границе (МФГ) Si-SiO₂, эффективной подвижности носителей заряда в инверсионном канале $\mu_{\text{эфф}}$ и тока утечки I_d стока МОП-транзистора. Для определения плотности ПС использовались измерения подпорогового тока стока [1], $\mu_{\text{эфф}}$ определялась из передаточной характеристики в диапазоне насыщения тока стока [2].

Исследуемые образцы представляли собой *p*-канальные МОП-транзисторы, изготовленные в соответствии с технологией самосовмещенного затвора [3]. В качестве подложки использован кремний КЭФ 7.5 с ориентацией (100). Подзатворный окисел толщиной 0.2 мкм формировался термическим окислением монокристаллического кремния в сухом кислороде при 1150°C в течение 60 мин. Формирование стока и истока осуществлялось ионной имплантацией бора с последующей активацией при температуре 1100°C в кислороде.

Цель работы заключалась в изучении влияния изменения плотности ПС на I_d МОП-транзистора. Направленное изменение плотности ПС межфазной границы Si-SiO₂ достигалось облучением МОП-транзистора высокоэнергетическим тормозным гамма-излучением с максимальной энергией квантов в тормозном спектре 30 МэВ, а также для сравнения гамма-квантами от источника Co⁶⁰.

Плотность потока энергии тормозного излучения в месте расположения образца составляла 0.195 Вт/см². При облучении гамма-квантами от Co⁶⁰ плотность потока энергии излучения составляла 0.095 Вт/см². Облучение проводилось в диапазоне переносов энергии излучения $I = 1 - 10^4$ Дж/см². Образцы облучались при нулевом смещении на затворе относительно заземленных подложки и истока.

Типичные зависимости тока утечки в цепи стока I_d от переноса энергии излучения F , измеренные при потенци-

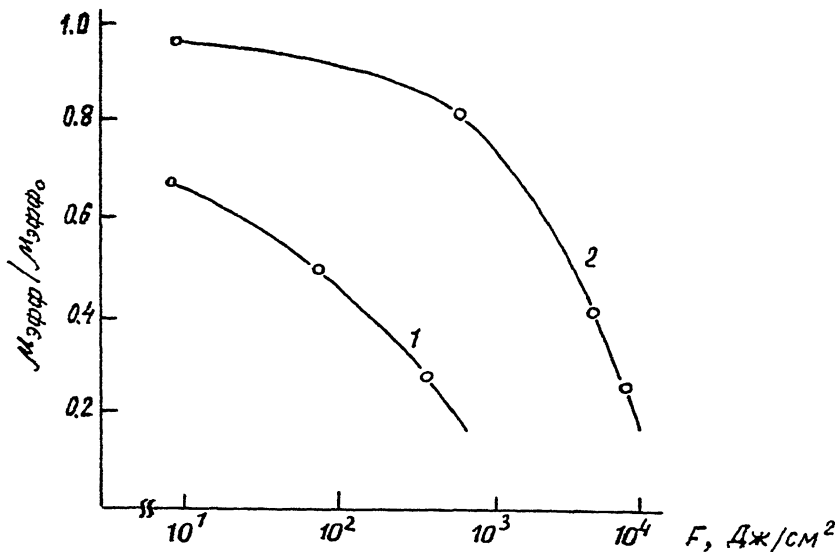


Рис. 1. Зависимость тока утечки от переноса энергии излучения гамма-квантов от источника Co^{60} (1) и высокоэнергетического тормозного гамма-излучения (2): а, б — положения, соответствующие утечке до облучения.

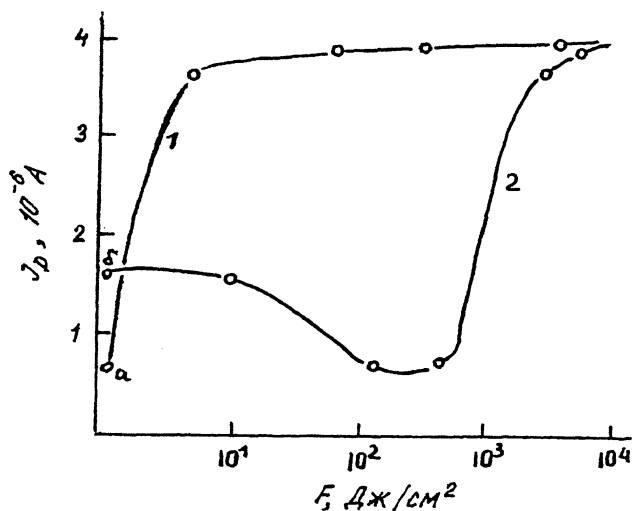


Рис. 2. Зависимость эффективной подвижности носителей заряда в инверсионном канале от переноса энергии излучения гамма-квантов от Co^{60} (1) и высокоэнергетического тормозного гамма-излучения (2). $\mu_{\text{эфф}}$ — эффективная подвижность до облучения.

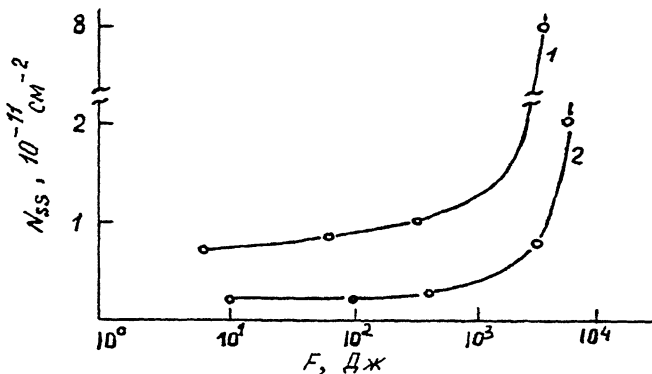


Рис. 3. Зависимость интегральной плотности ПС МФГ Si-SiO₂ N_{SS} от переноса энергии излучения гамма-квантов Co⁶⁰ (1) и высокоэнергетического тормозного гамма-излучения (2).

але на стоке относительно подложки 5 В при заземленных истоке и затворе, представлены на рис. 1. Как видно из рисунка, поведение I_d при облучении тормозным излучением является немонокотным. При рассматривании перехода сток-подложка в приближении $p-n$ -перехода с толстой базой ток утечки определяется в основном двумя составляющими: током термогенерации $I_{ген}$ и поверхностным током утечки. Ток термогенерации определяется скоростью поверхностной генерации, которая зависит от дозы облучения. Поверхностный ток утечки определяется отклонением поверхностной концентрации носителей от объемной, а также подвижностью носителей. Спад I_d в области малых переносов энергии тормозного излучения, по-видимому, связан с поведением $\mu_{эфф}$ (рис. 2). Согласно [4] уменьшение подвижности свободных носителей в инверсионном слое связано с увеличением плотности ПС, что объясняется рассеянием носителей на кулоновских центрах, а $\mu_{эфф}$ дополнительно снижается за счет захвата носителей на ПС, увеличение плотности которых наблюдалось при облучении как тормозным излучением, так и гамма-квантами Co⁶⁰ (рис. 3). Но дальнейшее резкое увеличение тока утечки I_d , по-видимому, определяется доминирующим влиянием роста скорости поверхностной рекомбинации и изменения поверхностной концентрации носителей заряда от концентрации в объеме. Это изменение концентрации связано с встраиванием в окисном слое, около МФГ Si-SiO₂ положительного заряда, индуцированного излучением. При определенной величине переноса энергии излучения F в приграничной области окисла может накопиться положительный заряд, достаточный для инвертирования или сильного обеднения тонкого поверхностного слоя стока. Оценки

показывают, что, хотя концентрация бора в стоковой области достаточно высокая (больше 10^{18} см^{-3}), это возможно вблизи выхода металлургической границы $p - n$ -перехода на МФГ Si-SiO₂. Очевидно, появление такого слоя в стоковой области приводит к наблюдаемому резкому увеличению I_d при больших F тормозного излучения (рис. 1, кривая 2). При облучении как тормозным излучением, так и гамма-квантами Co⁶⁰ наблюдалось увеличение плотности ПС (рис. 3).

При облучении гамма-квантами от источника Co⁶⁰ уже при сравнительно малых величинах переноса энергии излучения наблюдается резкое увеличение I_d (рис. 1, кривая 1) и оно не коррелирует с изменением $\mu_{\text{эфф}}$. Изменение эффективной подвижности дырок в инверсионном слое при облучении гамма-квантами от Co⁶⁰ в качественном отношении такое же, что и при облучении тормозным излучением, но скорость этого изменения различна. Очевидно, это связано с отличием спектров тормозного излучения и гамма-квантов от Co⁶⁰. При облучении МОП-транзистора гамма-квантами Co⁶⁰, в спектре которого имеются всего две линии с энергиями 1.17 и 1.23 МэВ, окисным слоем и на межфазной границе Si-SiO₂ поглощается большая доза, чем при облучении тормозным излучением, в спектре которого имеются кванты с большими энергиями (до 30 МэВ). Это связано с зависимостью коэффициента поглощения квантов веществом от энергии квантов и с тем, что при облучении тормозным излучением образцов с размерами, меньшими 1 мкм, для квантов с энергиями больше 10 МэВ не соблюдается условие электронного равновесия. Такое отличие при облучении тормозным излучением и гамма-квантами от Co⁶⁰ приводит к большей скорости встраивания положительного заряда в окисном слое, достаточного для сильного обеднения или инвертирования тонкого поверхностного слоя стока уже при сравнительно малых величинах F в случае облучения гамма-квантами Co⁶⁰.

Показано, что при облучении гамма-квантами от Co⁶⁰ при сравнительно малых F , в отличие от тормозного излучения, наблюдается подавление механизма уменьшения $\mu_{\text{эфф}}$, связанного с увеличением плотности ПС, влияющего на ток утечки T_d , сильным обеднением или инвертированием слабелегированной области стока. Полученные результаты свидетельствуют о конкурирующем действии двух механизмов, ответственных за изменение поверхностной составляющей тока стока I_d : генерационного и дрейфового. Генерационная составляющая растет, а дрейфовая уменьшается с увеличением плотности ПС, что связано с падением $\mu_{\text{эфф}}$, определяемым увеличением рассеяния носителей на заряженных ПС [5].

Список литературы

- [1] *Winokur P.S., Schwank J.R., Mcwhorter P.J., Dresseendorfer P.V., Turpin D.C.* // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1984. V. NS-31. N 6. P. 1453-1460.
- [2] *Hughes H.L.* // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1969. V. NS. 16. N 6. P. 195-202.
- [3] *Faggin F., Klein T.* // Solid-State Electronics. 1970. V. B. N 8. P. 1125-1144.
- [4] *Урицкий В.Я., Романов О.В., Яфясов А.М.* // ФТП. 1984. Т. 18. В. 3. С. 393-397.
- [5] *Урицкий В.Я.* // ФТП. 1985. Т. 19. В. 4. С. 744-747.

Ургенчский
государственный
университет
им. Аль-Хорезми

Поступило в Редакцию
21 июня 1995 г.