

06.2

©1995

ТОК УТЕЧКИ МОП ТРАНЗИСТОРА И СОСТОЯНИЕ МЕЖФАЗОВОЙ ГРАНИЦЫ Si-SiO₂

*А.Э.Атамуратов, А.Э.Далиев,
С.З.Зайнабидинов, А.Ю.Юсупов*

В настоящей работе приводятся результаты исследования плотности поверхностных состояний (ПС) межфазовой границы Si-SiO₂, эффективной подвижности носителей заряда в инверсионном канале $\mu_{\text{эфф}}$ и ток утечки в цепи стока МОП транзистора I_D . Для определения плотности ПС использовались измерения подпорогового тока стока [1], $\mu_{\text{эфф}}$ определялась из измерений передаточной характеристики в диапазоне насыщения тока стока [2].

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

Цель работы заключалась в изучении изменения тока утечки в цепи стока МОП транзистора при изменении плотности ПС межфазовой границы Si-SiO₂, эффективной подвижности носителей заряда в инверсионном канале, вызванных 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 1-10⁴ Дж/см². Образцы облучались при нулевом смещении на затворе.

Типичные зависимости тока утечки в цепи стока I_D от переноса энергии излучения F , измеренные при потенциале на стоке 5 В, представлены на рис. 1. Как видно из рисунка, поведение I_D при облучении тормозным излучением

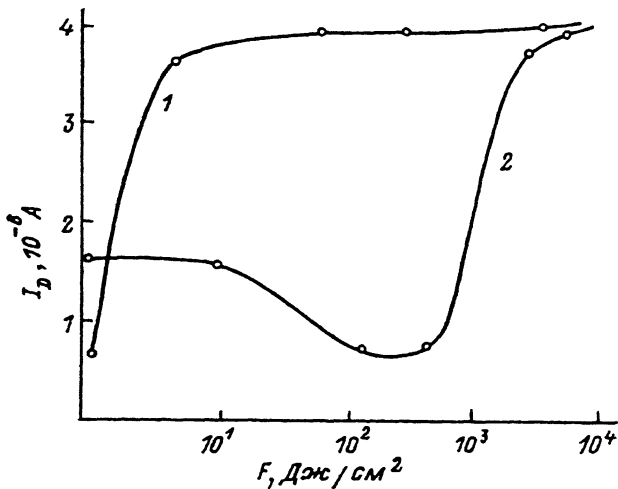


Рис. 1. Зависимость тока утечки от переноса энергии излучения гамма-квантов от источника Co^{60} (1) и высокоэнергетического тормозного гамма-излучения (2). а, б — положения, соответствующие току утечки до облучения.

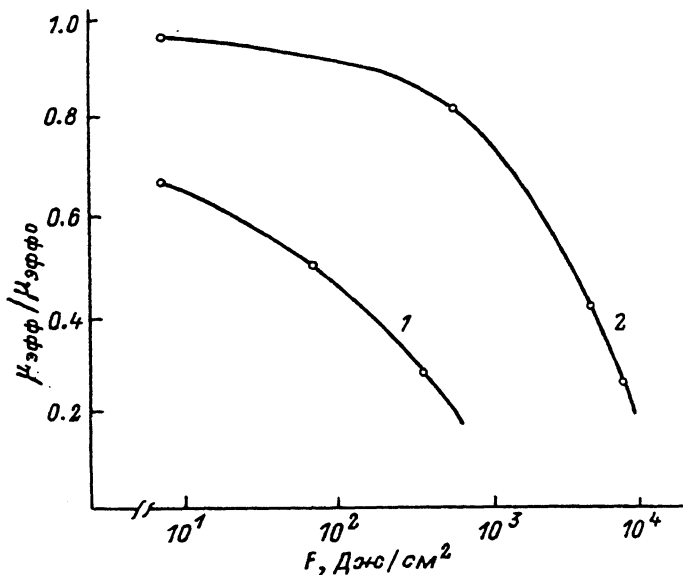


Рис. 2. Зависимость эффективной подвижности носителей заряда в инвертированном канале от переноса энергии излучения гамма-квантов от Co^{60} (1) и высокоэнергетического тормозного гамма-излучения (2). $\mu_{\text{эфф}}$ — эффективная подвижность до облучения.

является немонотонным. Ток утечки определяется скоростью поверхностной рекомбинации, которая зависит от дозы облучения [3], отклонением поверхностной концентрации носителей от объемной, а также подвижностью носителей. При облучении наблюдается уменьшение $\mu_{эфф}$ (рис. 2). Оно, по-видимому, вызывает спад I_D в области малых переносов энергии тормозного излучения (до $5 \cdot 10^2$ Дж/см²). Согласно [4,5], уменьшение подвижности в инверсионном слое, даже при комнатной температуре, в определенной степени связано с увеличением плотности ПС. При облучении тормозным излучением и гамма-квантами Co^{60} нами также наблюдалось увеличение плотности ПС (рис. 3).

Следующее за уменьшением резкое увеличение тока утечки, вероятно, связано с превалярованием двух других причин: увеличением скорости поверхностной рекомбинации и поверхностной концентрации неосновных носителей заряда в стоковой области, близлежащей к границе Si-SiO₂. Изменение поверхностной концентрации обусловлено встраиванием в окисном слое, около границы Si-SiO₂, положительного заряда, индуцированного излучением. При определенной величине переноса энергии излучения F в приграничной области окисла может накопиться положительный заряд, достаточный для того, чтобы вызвать сильное обеднение или инвертирование тонкого поверхностного слоя стока.

При облучении гамма-квантами от источника Co^{60} уже при сравнительно малых величинах переноса энергии излучения наблюдается резкое увеличение I_D и оно не коррелирует с изменением $\mu_{эфф}$. Изменение эффективной подвижности носителей заряда в инверсионном слое при об-

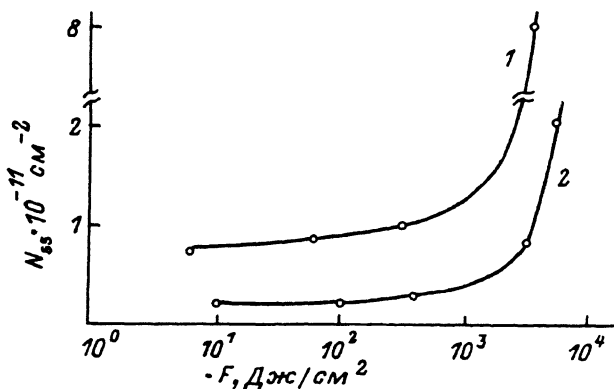


Рис. 3. Зависимость интегральной плотности ПС межфазовой границы Si-SiO₂ от переноса энергии излучения гамма-квантов Co^{60} (1) и высокоэнергетического тормозного гамма-излучения (2).

лучении гамма-квантами от Co^{60} 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 Co^{60} . При облучении МОП транзистора гамма-квантами от Co^{60} , в спектре которого имеются всего две линии с энергиями 1.17 и 1.23 МэВ, окисным слоем и на межфазовой границе Si-SiO_2 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 [5]. Такое отличие при облучении тормозным излучением и гамма-квантами от Co^{60} приводит к большей скорости поверхностной рекомбинации и к большей скорости встраивания положительного заряда в окисном слое, и соответственно к накоплению 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 от Co^{60} .

Таким образом при облучении гамма-квантами от Co^{60} при сравнительно меньших f , в отличие от тормозного излучения, очевидно, происходит подавление механизма, связанного с уменьшением $\mu_{\text{эфф}}$, влияющего на ток утечки J_D , сильным обеднением или инвертированием области стока близлежащего к межфазовой границе Si-SiO_2 под действием положительного заряда, накопленного в окисном слое и на межфазовой границе, а также большим изменением скорости поверхностной рекомбинации.

Список литературы

- [1] Winokur P.S., Scwank J.R., Mcwhorter P.J., Dressendorfer 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] Першенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В. Поверхностные радиационные эффекты в ИМС. М.: Энергоатомиздат, 1988. 256 с.
- [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.
- [6] Иванов В.И. Курск дозиметрии. М.: Энергоатомиздат, 1988. 399 с.