

06.2

© 1990

РАЗОГРЕВ ЭЛЕКТРОНОВ В СЛОЯХ SiO_2 НА КРЕМНИИ, ПОДВЕРГНУТЫХ ПОЛЕВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

А.П. Барабан, В.В. Булавинов,
В.Н. Савватеев, Э.Д. Усеинов

Среди многообразия электронных процессов, протекающих в окисных слоях на кремнии, особый интерес в последнее время вызывают процессы разогрева инжектированных электронов и диссипации приобретенной ими избыточной энергии. Эти процессы приводят к возникновению электролюминесценции (ЭЛ) в структурах $Si-SiO_2$ и к интенсивному дефектообразованию, которое является причиной деградации или отказа МДП-приборов, содержащих структуры $Si-SiO_2$.

Ранее в работе [1] на основании измерения вольт-амперных характеристик структур $Si-SiO_{20}$ была получена зависимость критического значения напряженности электрического поля в окисном слое E^* от его толщины d_{ox} , позволяющая выделить вторую стадию разогрева электронов, на которой электроны набирают энергию, достаточную для развития процесса ударной ионизации в матрице двуокиси кремния. Цель настоящей работы заключалась в изучении зависимости процессов разогрева электронов в структурах $Si-SiO_2$ и диссипации приобретенной ими избыточной энергии от свойств слоя SiO_2 , изменяемых в результате полевого воздействия в системе электролит-диэлектрик-полупроводник, либо полученных в условиях существования сильного электрического поля в диэлектрике анодным окислением кремния. В качестве критерия разогрева электронов в слоях SiO_2 на кремнии использовались зависимость E^* от d_{ox} .

Исследовались структуры, полученные термическим окислением кремния (КДБ-10) в парах воды при 900 °С и подвергнутых полемому воздействию при $E_{ox} > E^*$ и анодным окислением кремния КДБ-10 [2]. Толщина окисных слоев варьировалась в пределах 25-150 нм и контролировалась эллипсометрически. Все измерения выполнены при комнатной температуре в системе электролит-диэлектрик-полупроводник при анодной поляризации ("+" на кремнии) образцов.

На рис. 1 представлены зависимости критического значения напряженности электрического поля от толщины окисного слоя для полученных различными способами структур $Si-SiO_2$. Видно, что полевое воздействие на слой SiO_2 приводит к увеличению значения критической напряженности электрического поля, сохраняя при этом вид его зависимости от толщины окисного слоя, т.е. к сдвигу порога ударной ионизации в об-

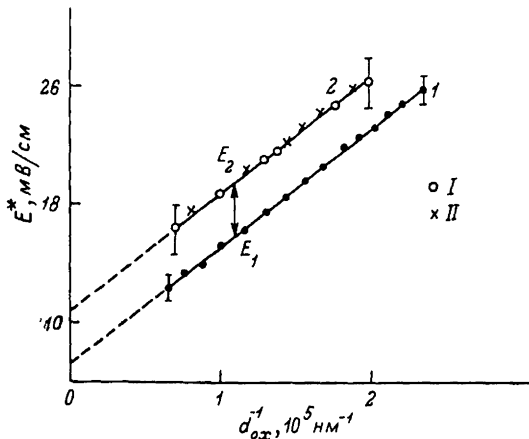


Рис. 1. Зависимость критического поля E^* от толщины окисного слоя для структур, полученных термическим окислением кремния (1), и для структур (2), полученных анодным окислением (I) или подвергнутых полемому воздействию (II).

ласть больших полей. Это обстоятельство подтверждается исчезновением ЭЛ структур $Si-SiO_2$ в полосе 2.7 эВ в процессе полевого воздействия в области полей $E_1 < E_{ox} < E_2$, наличие которой в спектре ЭЛ сопровождается процессом ударной ионизации в SiO_2 [2, 3]. Увеличение напряженности электрического поля в окисном слое приводит к восстановлению интенсивности данной полосы и, следовательно, процесса ударной ионизации в матрице SiO_2 .

Увеличение напряженности электрического поля в подвергнутом полемому воздействию слое SiO_2 , необходимое для развития процесса ударной ионизации, может быть связано либо с изменением условий разогрева электронов в окисном слое (уменьшением значений максимальной избыточной энергии, набираемой электронами на всей толщине окисла [2]), либо с невозможностью развития процесса ударной ионизации в области межфазовой границы $Si-SiO_2$ (именно в ней при $E_{ox} = E^*$ происходит генерация электронно-дырочных пар [1]), несмотря на наличие электронов с необходимой избыточной энергией. Сравнение термически сформированных структур $Si-SiO_2$ со структурами, полученными в результате анодного окисления кремния или подвергнутых полемому воздействию, показало, что в последнем случае, наряду с увеличением плотности поверхностных состояний на межфазовой границе, положительного встроенного заряда и т.д. [2], наблюдается существенное обогащение слоя SiO_2 , прилегающего к кремнию, ионами кремния [4], т.е. разупорядочение части окисного слоя толщиной несколько нанометров от границы $Si-SiO_2$. Наблюдаемое увеличение минималь-

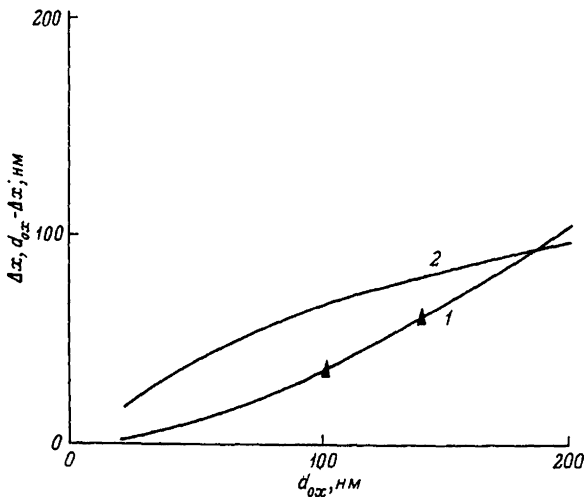


Рис. 2. Зависимости Δx (1) и $d_{ox} - \Delta x$ (2) от толщины окисного слоя.

ного значения напряженности электрического поля, необходимого для развития процесса ударной ионизации, мы связываем с невозможностью генерации электронно-дырочных пар в разупорядоченной области $SiO_2(\Delta x)$ и перемещением области, в которой возможно развитие процесса ударной ионизации, от межфазовой границы в объеме окисного слоя. При этом электронам, вызывающим генерацию электронно-дырочных пар, необходимо набрать критическую вызывающую развитие процесса ударной ионизации избыточную энергию не на всей толщине окисного слоя, а на ее части $d_{ox} - \Delta x$, не подвергнутой разупорядочению, что и достигается увеличением напряженности электрического поля в диэлектрике. Используя зависимости, приведенные на рис. 1, можно рассчитать значения Δx и $d_{ox} - \Delta x$ в зависимости от толщины окисного слоя (рис. 2). Полученные значения Δx совпадают с толщинами окисного слоя, обогащенного кремнием, по данным масс-спектрологии вторичных ионов [4] для толщин слоя SiO_2 100 и 140 нм (на рис. 2 показаны треугольниками), что можно рассматривать как подтверждение изложенного выше.

Таким образом, полевое воздействие на слой SiO_2 приводит к образованию разупорядоченной области окисного слоя вблизи границы $Si - SiO_2$, в которой наблюдается отсутствие генерации электронно-дырочных пар вследствие, по-видимому, большей вероятности диссипации избыточной энергии при помощи других каналов — излучательных и безизлучательных.

- [1] Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноров П.П. // Письма ЖТФ. 1988. Т. 14, В. 5. С. 27-30.
- [2] Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноров П.П. Электроника слоев SiO_2 на кремнии. Л.: ЛГУ, 1988. 304 с.
- [3] Барабан А.П., Климов И.В., Теношвили Н.И., Усеинов Э.Д. // Письма ЖТФ. 1989. Т. 15, В. 17. С. 44-46.
- [4] Гарантов Ю.А., Романова Г.Ф., Диденко П.И., Булавинов В.В. // Тез. докл. Всес. конф. "Физика диэлектриков". Баку, 1982. С. 128-130.

Поступило в Редакцию
9 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 20

26 октября 1990 г.

0.2; 0.3

© 1990

УСИЛЕНИЕ НАПРАВЛЕННОСТИ РАЗЛЕТА ГАЗОВЫХ СГУСТКОВ ЗА СЧЕТ ИЗЛУЧЕНИЯ

И.В. Немчинов, В.В. Светцов,
В.М. Хазинс

В ряде задач в процессе расширения газа требуется максимально долго поддерживать его высокую плотность и, следовательно, препятствовать его расширению. Собственное излучение может оказывать существенное влияние на расширение плазмы. Действительно, радиационные потери энергии приводят к снижению давления и замедляют процесс расширения. В результате плазма оказывается более холодной, но и более плотной. Если газовая струя в какой-то момент времени имеет скорость преимущественно в одном направлении, а картина движения близка к одномерной, то снижение давления ослабит боковой разлет и увеличит время существования одномерной стадии. В предельном случае большой излучательной способностью одномерность движения может сохраниться вплоть до асимптотической стадии — инерционного разлета. Это кардинальным образом изменяет закон падения плотности со временем.

В [1, 2] рассматривались автомодельные задачи о разлете газового эллипсоида в вакуум в адиабатическом режиме и с подводом энергии. Аналогичная автомодельная задача может быть рассмотрена для разлета с потерями энергии при степенных зависимостях объемных потерь на излучение. Результаты решения такой задачи, сводящейся к численному интегрированию системы обыкновенных дифференциальных уравнений, показывают, что с ростом доли излучаемой энергии происходит сильное увеличение отношения скорос-