

ВЛИЯНИЕ СВЕТА НА РЕЛАКСАЦИЮ ЗАРЯДА В
ДЕГРАДИРОВАННЫХ МНОП-СТРУКТУРАХ

А. И. Агафонов, А. Ф. Плотников, В. Н. Селезнев

УДК 621.382

Показано, что при деградации в объеме Si_3N_4 появляются скомпенсированные заряды, обусловленные заполнением электронных и дырочных ловушек. Установлено, что глубина электронных ловушек менее 1 эВ, а дырочных $\sim 1-2$ эВ.

Эффект памяти в МНОП-структурах (металл - нитрид кремния двуокись кремния - полупроводник) основан на накоплении заряда в диэлектрическом слое нитрида кремния (Si_3N_4) /1/. Аморфная пленка Si_3N_4 - это широкозонный диэлектрик ($E \infty \sim 5,1$ эВ) с большим количеством глубоких центров захвата ($N_t \sim 10^{19}$ см⁻³). Несмотря на широкое применение в микроэлектронике, природа центров захвата в Si_3N_4 , а также процессы, приводящие к изменению их параметров при длительном воздействии переключающих напряжений (явление деградации МНОП-структур), остаются мало изученными.

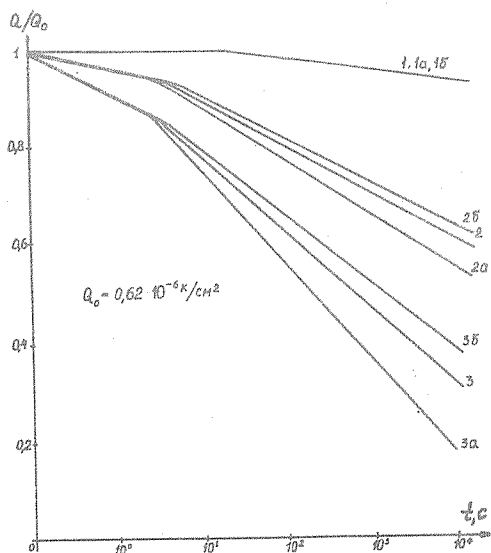
С целью изучения параметров центров захвата заряда в Si_3N_4 в работе исследовалось влияние излучения He-Ne лазера с длинами волн $\lambda = 0,63$ мкм и 1,15 мкм на релаксацию захваченного в диэлектрике заряда.

Нитрид кремния получался аммонолизом тетрахлорида кремния при атмосферном давлении /1/. Измерения проводились на образцах с толщиной диэлектрического слоя Si_3N_4 900 Å, площадью полупрозрачного металлического электрода 0,1 мм². Структуры многократно переключались знакопеременными импульсами напряжения с амплитудой 50 В и длительностью 100 мкс. Затем в образце накапливался поляризационный заряд Q и измерялись

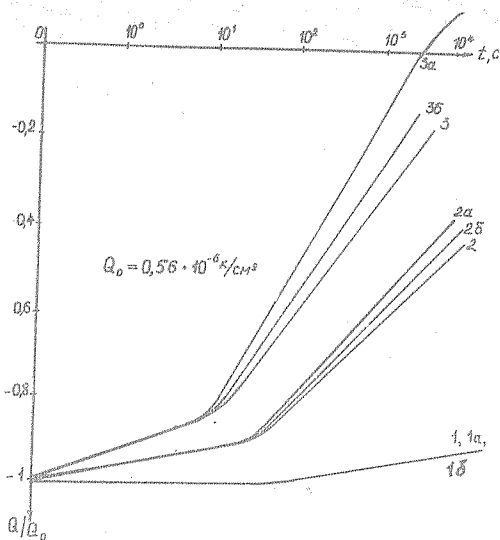
кривые релаксации захваченного заряда в темноте или при освещении.

Влияние света на релаксацию заряда связано с фотовозбуждением носителей с ловушек в объеме $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}_5$ (малая по сравнению с высотой барьеров на контактах структура энергии квантов света исключает возможность фотоинжекции из контактов /2/). Оценки показывают, что нагрев структур светом не превышал 1°C (световой поток $\sim 10^{20}$ фот/см²·с).

На рис. 1 и 2 кривые 1 показывают закономерность релаксации соответственно положительного и отрицательного зарядов, накопленные в недеградированной МНОП-структуре. В диапазоне времен до 10^5 с при комнатной температуре релаксация заряда связана с туннелированием захваченных носителей с ловушек диэлектрика в полупроводник /3/. На больших временах скорость релаксации заряда $r = dQ/dt$ постоянна.



Р и с. 1. Релаксация положительного заряда Q под действием излучения после N циклов переключения МНОП-структуры: $N = 0, (1), 5 \cdot 10^5 (2), 5 \cdot 10^6 (3)$; $\lambda = 0,63$ мкм (а), 1,15 мкм (б)



Р и с. 2. Релаксация отрицательного заряда Q под действием излучения после N циклов переключения МНОП-структуры. Обозначения те же, что на рис. I

После N циклов переключения структур, величина τ увеличивается — структура деградирует (кривые 2 и 3 рис. I и 2). Отметим, что зависимость $Q \sim \lg t$ сохраняется как в темноте, так и при освещении структур. Можно предположить, что туннельный механизм остается лимитирующим процессом релаксации у деградированных МНОП-структур.

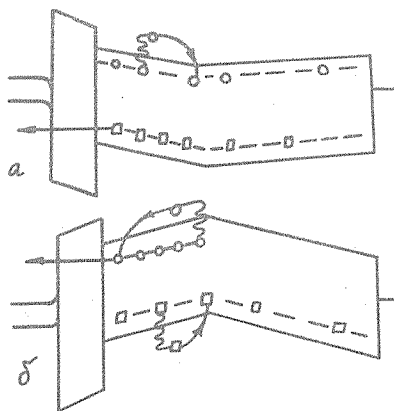
Излучение с $\lambda = 0,63$ мкм увеличивает τ как для положительного, так и для отрицательного зарядов (кривые а, рис. I и 2). Эффект усиливается с ростом числа циклов переключения. Наблюдаемые изменения τ можно объяснить увеличением заполнения спектра ловушек в диэлектрике с накоплением скомпенсированных зарядов электронов и дырок /4/. Таким образом, при релаксации установится возможный выброс не только захваченного при поляризации заряда, но и неравновесного заряда того же знака, накопленного на ловушках в предыдущих циклах переключения. Увеличение чувствительности к свету с ростом N объясняется зах-

ватом поляризационного заряда на более мелкие ловушки в объеме диэлектрика, в то время как более глубокие ловушки заполнены скомпенсированными зарядами электронов и дырок.

Увеличение τ можно также объяснить в рамках модели дегра-
дационных явлений, связанной с изменением спектра локализованных
состояний в запрещенной зоне Si_3N_4 [5]. Согласно этой модели,
в процессе деградации растет плотность ловушек с энергиями
меньше 2 эВ и, соответственно, уменьшается плотность ловушек
с энергиями глубже 2 эВ.

Факт ускорения релаксации под действием света с $\lambda = 0,63$ мкм
не позволяет сделать однозначный вывод в пользу какой-либо мо-
дели деградационных явлений. Однако эффект воздействия излуче-
ния с $\lambda = 1,15$ мкм на τ указывает на наличие в объеме Si_3N_4
скомпенсированных зарядов на электронных и дырочных ловушках.
Действительно, излучение также ускоряет релаксацию отрицатель-
ного заряда (кривые б, рис. 2). В то же время излучение с $\lambda =$
 $= 1,15$ мкм уменьшает скорость релаксации τ для положительного
заряда по сравнению с ее значениям в темноте (кривые а, рис. 1).

Наблюдаемые изменения τ под действием излучения объясняют-
ся, если предположить, что глубина электронных ловушек в Si_3N_4 ,



Р и с. 3. Диаграммы МНОП-структуры: а) релаксация положительного заряда в деградированной структуре; б) релаксация отрицательного заряда в деградированной структуре

отсчитанная от края зоны подвижности для электронов, менее 1 эВ, а дырочных — находятся в интервале 1–2 эВ (отсчитанная от края зоны подвижности для дырок). Под действием излучения с $\lambda = 1,15$ мкм фотоионизация только электронных ловушек и смещение образовавшихся электронов в зоне подвижности в электрическом поле в глубь диэлектрика приведет к замедлению релаксации положительного заряда (рис. 3а). С ростом N , согласно /4/, происходит увеличение заселенности ловушек и, как следствие, эффект замедления τ будет проявляться резче.

Излучение с $\lambda = 0,63$ мкм ионизует заполненные дырочные ловушки и ускоряет релаксацию положительного заряда. Естественно, что при этом возможна и фотоионизация электронных ловушек, которая должна приводить к уменьшению τ . Однако первый процесс является доминирующим. Это обусловлено тем, что генерация свободных дырок приводит к их дрейфу и уходу в полупроводник, при этом в Si_3N_4 появляется нескомпенсированный заряд. Возбужденные светом электроны остаются в Si_3N_4 . Смещение их вглубь от границы раздела полупроводник — диэлектрик изменяет индуцированный в кремнии заряд Q на величину, пропорциональную $x/d < 1$, где x — смещение электрона в слое Si_3N_4 толщиной d (рис. 3а). Диаграмма, поясняющая релаксацию отрицательного заряда показана на рис. 3б.

Поступила в редакцию
26 апреля 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. И. В. Коробов и др., Квантовая электроника, 2, 2013 (1975).
2. В. А. Зуев, В. Г. Попов, Письма в ЖТФ, 4, 1493 (1978).
3. L. Landkvist, C. Svensson, Sol.-St. Elect., 16, 811 (1973).
4. А. И. Агафонов, А. Ф. Плотников, В. Н. Селезнев, Микроэлектроника, 2, 137 (1981).
5. В. М. Масловский и др., ЖТФ, 49, 1855 (1979).