

PHYSICS

Madumarova Laylo, Madumarov Abbos

EFFECT OF IRRADIATION ON THE PROPERTIES OF THE STRUCTURE MDS (METALL DIELECTRIC SEMICONDUCTER)

Madumarova Laylo – Andijan State University
Madumarov Abbos – Andijan State University

Abstract

The quality and reliability of semiconductor devices and integrated circuits based on MOS structures significantly affected by surface states localized at the semiconductor-insulator section affecting such devices parameters with charge transfer (TEP) as the transfer efficiency, noise, dark current, time storing information charge in the memory cells, the increase in the TIR channel overlap voltage transistors, etc.

Keywords: radiation, metall-dielectric-semiconductor structure, nstatesurface, electric charge, irradiation, an electron.

В последнее время интенсивно исследуется влияние радиации на параметры МДП структур. Это вызвано широким освоением космического пространства и использованием полупроводниковых приборов в условиях повышенной радиации. Так например, незащищенные полупроводниковые приборы на спутниках Земли могут получить за год дозу облучения, превышающую 10^6 рад. в основном за счет протонов и электронов высоких энергий, захваченных радиационными поясами Ван Аллена. Можно отметить, что сравнительно легко защищать приборы от воздействия протонов и электронов высоких энергий, в то время как обеспечить защиту от нейтронного потока и γ – лучей значительно сложнее.

В деградации приборов на основе МДП структуры, характеристики которых в основном определяются свойствами границы раздела полупроводник-диэлектрик, главную роль играют процессы ионизации, изменяющие величину встроенного заряда в диэлектрике и увеличивающие плотность поверхностных состояний. Приборы на основе МДП структуры чувствительны как к поверхностным, так и объемным радиационным нарушениям.

Исследованию влияния радиации на свойства границы раздела полупроводник-диэлектрик в настоящее время посвящено довольно много работ. Различными авторами предложены разные механизмы образования радиационных дефектов под воздействием облучения. Однако до настоящего времени нет единого мнения о механизме их образования под влиянием радиации.

Известно, что облучение существенно влияет на заряд границы раздела диэлектрик-полупроводник. Ионизирующая радиация (электроны, рентгеновские и ультрафиолетовые кванты) формируют положительный заряд в диэлектрике, величина которого зависит от дозы радиации, условий облучения, способа выращивания изолирующей пленки на поверхности полупроводника и т.д.

В [1] изложена модель, объясняющая радиационное введение положительного заряда, суть которой сводится к генерации электронно-дырочных пар при облучении и захвату дырок ловушками, существующими в диэлектрике. Электроны, обладающие существенно большей подвижностью, чем дырки, покидают диэлектрик, переходя в полупроводник или на металлический электрод. Однако существуют и другие мнения. Так, [2] показали, что в зависимости от способа выращивания двуокиси кремния, облучении е структур Si-SiO₂ протоны малых ($E \leq 50$ кэВ) энергий может формировать в них как положительный, так и отрицательные заряды.

В работе [3] исследовано влияние γ – облучения на поверхностных состояния и подвижность дырок на границе раздела Si-SiO₂ методами J-V и ВЧ C-V – характеристик. Было показано, что γ -облучение увеличивает пороговое напряжение р-канальных МОП структур и уменьшает подвижность дырок в канале структуры. Анализируя экспериментальные результаты, авторы [3] определили два дискретных уровня, которые расположены вблизи валентной зоны с энергиями ионизации $E_v + 0,19$ эВ и $E_v + 0,25$ эВ. По мнению авторов, эти уровни возникали после воздействия γ -облучения. С ростом облучения плотность поверхностных состояний увеличивается. Подвижность дырок линейно падает в зависимости от общей плотности поверхностных состояний. Облучение электронами также приводит к увеличению плотности поверхности состояний и образованию подвижного заряда в окисном слое.

В работе [4] исследовано влияние электронного облучения на свойства границы раздела Si-SiO₂ с помощью C-V – характеристики МДП структуры при очень низких частотах. Исследование было проведено на n-Si с удельным сопротивлением 5 Ом.см. Толщина SiO₂, выращенного в сухом окислителе составила 1500 Å. После облучения электронами дозой 6,25*10¹² с энергией 1 и 1,7 МэВ наблюдалось увеличение плотности поверхностных состояний и пик вблизи середины запрещенной зоны. В работе [5] исследовали влияние облучения электронами с энергией 60 кэВ на поверхностные свойства структуры Si-SiO₂ методом импульсных C-V – характеристик. Было показано, что облучение приводит к резкому уменьшению времени образования инверсионного слоя. Экспериментальные результаты интерпретируются введением дефектов, локализованных в полупроводнике вблизи границы раздела Si-SiO₂ и характеризующихся энергетическим состоянием, расположенным на расстоянии 0,27 эВ от разрешенной зоны полупроводника.

В работе [6] изучали влияние температуры облучения электронами высокой энергии на процессы дефектообразования в приповерхностном слое кремния структур Si-SiO₂. Исследуемые структуры получали окислением кремния КЭФ – 7,5 в сухом кислороде и облучали электронами дозой 1*10⁻¹⁴ см⁻² в интервале температур 20-500 С⁰. Концентрация доноров в приповерхностном слое кремния определялась по минимальной ёмкости высокочастотных C-V – характеристик МДП структур. Облучение при 20 С⁰ вызвало рост концентрации доноров в приповерхностном слое кремния, а при 500 С⁰ – её уменьшение по сравнению со значением для исходной структуры. На основании экспериментальных данных предложен механизм изменения концентрации доноров с температурой облучения, согласно которому с участием междоузельных атомов кремния, генерируемых в процессе облучения, образуются комплексы дефектов, проявляющие донорные свойства, причем по мере повышения температуры происходит их перестройка таким образом, что роль комплексов, обладающих донорными свойствами, уменьшается.

Помимо заряда неравновесных дырок, возникших во время облучения в диэлектрике МДП структуры, гамма-лучи и быстрые электроны могут генерировать дополнительно поверхностные состояния на границе раздела окисел-полупроводник и структурные дефекты в объеме окисла.

Изучая процессы в структурах МДП Сах [7], предложил модель, объясняющую образование поверхностных состояний и заряда в окисном слое. Для понимания процессов, происходящих в окисле при облучении, он предложил существование в двуокиси кремния собственных дефектов и комплексов, в частности, собственные дефекты:

1. Трехвалентный кремний Ξ Si Простой донор

2. Несвязанный кислород $\Xi \text{ Si} - \text{O}$ Простой акцепторный или амфотерный центр
3. Вакансия кислорода $V_0 (\Xi \text{ Si} \bullet \bullet \text{ Si} \Xi)$ Двойной донор
4. Вакансия кремния V_{Si} Простой донорный или амфотерный центр
5. Междоузельный кислород O_i Простой донор или амфотерный центр
6. Междоузельный кремний Si_i Двойной донор
7. Двойные и более высокие комплексы, такие как O_2 , SiO_2 , W_0 и т.д.

Примесные дефекты:

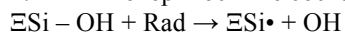
H – водород $\Xi \text{ Si} - \text{H}$

ОН – гидроксил $\Xi \text{ Si} : \text{OH}$

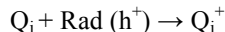
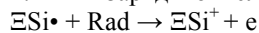
M - металл или неметалл

Генерацию поверхностных состояний и положительного заряда в окисле во время облучения с точки зрения автора [7], можно представить следующим образом.

1. Поверхностные состояния



2. Заряд в окисле



Облучение обрывает связь трехвалентного кремния с ионом гидроксила, который затем, в силу высокой подвижности, дрейфует в поле. Оставшийся трехвалентный кремний формирует поверхностные состояния. Если первоначально на Si-SiO₂ поверхности было мало групп $\Xi \text{Si} - \text{OH}$, то и плотность состояний будет низкая. Генерацию заряда в окисле под действием облучения можно представить себе следующим образом. Облучение ионизирует трехвалентный атом кремния и превращает его в положительный ион. Междоузельный кислород захватывает дырку, возникшую под действием облучения в SiO₂.

Наиболее последовательной и разработанной качественной моделью является модель Митчелла, позволяющая связать величину сдвига порогового напряжения с дозой воздействующего излучения и приложенным смещением. Основное допущение модели в том, что заряд, обусловленный образованием поверхностных состояний при облучении на границе раздела, существенно меньше, чем в объеме диэлектрика. Под действием радиации в объеме диэлектрика образуются электронно-дырочные пары. При отсутствии электрического поля в объеме SiO₂ во время облучения, в основном, происходят процессы генерации и рекомбинации, на за счет значительной разности в подвижности

электронов и дырок ($m_p \ll m_n$) происходит разделение зарядов. Относительно «неподвижные» дырки захватываются глубокими дырочными ловушками, обусловленными структурными нарушениями в SiO_2 , а электрон диффундируют через границу раздела металл-диэлектрик. С электрода затвора не могут поступать другие электроны для замены ушедших и возникает положительный пространственный заряд. При положительном смещении на затворе во время облучения происходит процесс разделения зарядов внешним полем. При этом электрон, покидая SiO_2 , дрейфуют к границе раздела металл-диэлектрик, на которой захватываются ловушками. Рост плотности объемного заряда происходит до тех пор, пока величина этого заряда не скомпенсирует приложенное внешнее смещение и поле внутри окисла станет равным нулю. Этим процессом определяется граница распространения положительного пространственного заряда внутри SiO_2 . С возрастанием дозы облучения величина заряда прекращает расти, что связано с установлением равновесия между процессами захвата дырок на ловушках и их удаления, т.е. захвата электронов, образующихся в пленке SiO_2 облучением. Если облучать структуру под отрицательным напряжением на затворе, то кроме рекомбинации пар в объеме SiO_2 происходит направленный дрейф электронов к границе раздела Si-SiO_2 , а дырок к границе раздела $\text{SiO}_2 - \text{Me}$ (Me – металлический электрод). Возникший пространственный положительный заряд размещен дальше от границы раздела Si-SiO_2 за счет направленного движения дырок к границе $\text{SiO}_2 - \text{Me}$. Величина этого заряда меньше при положительном смещении и он оказывает более слабое влияние на изменения характеристики МДП структуры за счет удаления области пространственного заряда вглубь пленки.

В дальнейших исследованиях было показано, что в МДП структурах при воздействии облучения может возникнуть не только положительный заряд, но и отрицательный. В частности, для объяснения этих экспериментальных данных была предложена модель, которая, согласуясь с моделью Митчелла, учитывает также заряд, сосредоточенный на границе раздела диэлектрик-полупроводник. Основные положения данной модели заключаются в следующем. В окисле образуется положительный пространственный заряд. Величина и знак заряда, образованного на границе раздела, зависят от дозы облучения, типа подложки, способа выращивания окисла. При реакторном облучении МДП структур с термически выращенным окислом на подложке из кремния n-типа было обнаружено, что с увеличением потока нейтронов и дозы гамма-излучения сначала происходит накопление отрицательного заряда, а затем положительного. Это объясняется тем, что скорость образования отрицательного заряда в приповерхностном слое Si n-типа больше скорости образования

положительного заряда в пленке SiO₂. При дальнейшем увеличении дозы облучения заряд на границе раздела уже насыщается, а положительный заряд продолжает возрастать. Появление новых поверхностных состояний можно объяснить следующим образом. При термическом выращивании окисла на границе Si-SiO₂ возникают напряжения, способствующие разрыву химических связей между атомами кремния подложки и пленки SiO₂ и приводящие к появлению поверхностных состояний на границе раздела Si-SiO₂. Эти поверхностные состояния существуют до облучения. При воздействии ионизирующей радиации многие свободные атомы кислорода могут образовывать связь с атомами кремния, у которых ранее имелась вакансия кислорода. И, наоборот, связанные атомы кислорода могут освободиться и образовывать положительно заряженные вакансии кислорода. Процессы, вызванные радиацией и напряжением сжатия в окисле, вызывают переориентацию свободно упакованных тетраэдров SiO₂ в более плотно упакованную структуру. Вследствие этого происходит разрыв связей между атомами Si подложки и пленки SiO₂. Ненасыщенные связи кремния вызывают появление новых поверхностных состояний.

Есть данные, указывающие на уменьшение плотности состояний вблизи краев зон с увеличением дозы облучения. Но плотность состояний, расположенных вблизи середины запрещенной зоны, всегда увеличивается с дозой радиации. Эти два явления приводят к выводу, что для данных структур влияние радиации не связано с плотностью поверхностных состояний, которые расположены вблизи края зон.

Анализируя литературный обзор, можно показать, что до настоящего времени нет единого мнения о природе поверхностных состояний, хотя большинство авторов считает ответственным за поверхностные состояния оборванные, ненасыщенные связи кремния.

References:

- [1] Gergel' V.A. «Teoriya ehlektronnyh yavlenij, obuslovlennyh prostranstvennymi neodnorodnostyami real'nyh MDP struktur». Avtoreferat dis.d.f.m.n., Moskva, 1985.
- [2] Kaplan G.D., Koleshko V.M., Gurskij L.I. «Vliyanie oblucheniya ehlektronami na poverhnostnye svojstva struktury Si-SiO₂», Mikroehlektronika, 1976g., str. 359-362.
- [3] Khassabov J.m Velchev N., Rfschieva S., Influence of γ – radiation on the surface states and hole mobility at the Si-SiO₂ interface/ 1970, p. 133-135
- [4] Mordkovich N.V., «Vliyanie radiacii na ehlektricheskie svojstva struktur Si-SiO₂». EHlektronnaya tekhnika, seryu2, poluprovodnikovye pribory, 1984g., str. 63-71.

- [5] Vershinina N.V., Gerasimenko N.N., «Vliyanie oblucheniya ehlektronami na poverhnostnye svojstva struktury Si-SiO₂», Mikroelektronika, 1976g., str. 359-362.
- [6] Berman L.S., «Yomkostnye metody issledovaniya poluprovodnikov», L., Nauka, 1972g., str. 98.
- [7] Suris R.A., Fedorov V.N., «Opredelenie parametrov glubokogo urovnya v pripoverhnostnoj oblasti poluprovodnika MDP struktury metodom provodimosti», FTP, 1979g., str. 1073-1082.