

О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ В СТРУКТУРАХ ДИЭЛЕКТРИК—ПОЛУПРОВОДНИК, ОБЛУЧЕННЫХ КОРОТКОПРОБЕЖНЫМИ ИОНАМИ

А. А. СААКЯН, Г. Н. ЕРИЦЯН, А. С. ОГАНЕСЯН

Ереванский физический институт

В. Н. МОРДКОВИЧ

НИИ «Пульсар», г. Москва

(Поступила в редакцию 20 января 1984 г.)

На основе исследования изохронного отжига поверхностных состояний (ПС) в структуре диэлектрик—полупроводник (Д—П), образовавшихся при облучении ионами As^+ с энергией 40 кэВ и электронами с энергией 50 МэВ, найдено, что при этом возникают ПС различной природы. Для объяснения такого эффекта предложен новый механизм генерации ПС, согласно которому при облучении структур Д—П ионами возникающие в диэлектрике дефекты мигрируют к границе раздела Д—П и образуют новые ПС.

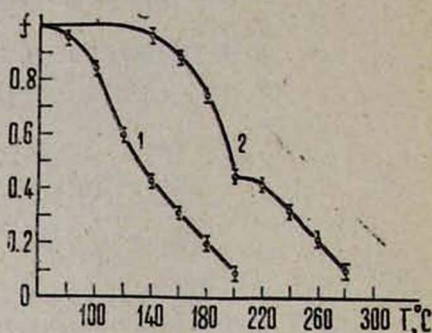
В работах [1, 2] было показано, что облучение структур SiO_2 — Si короткопробежными ионами, средний проективный пробег которых меньше толщины диэлектрика, приводит к образованию новых поверхностных состояний (ПС). Механизм образования ПС в такой ситуации, когда внедренные ионы не достигают границы раздела диэлектрик-полупроводник (Д—П), до сих пор не ясен.

В работе [1] обсуждались возможные причины возникновения ПС при бомбардировке короткопробежными ионами: генерация рентгеновского излучения вблизи внешней границы SiO_2 при торможении бомбардирующих ионов, генерация электронно-дырочных пар в области торможения ионов и их миграция к границе Д—П, генерация УФ света в результате рекомбинации электронов и дырок. При всем разнообразии механизмов сам процесс образования ПС во всех этих случаях должен быть аналогичным, так как при любых ионизирующих воздействиях разрыв связи между атомами на поверхности границы раздела Д—П происходит, по всей вероятности, преимущественно из-за захвата носителей [3]. Поэтому если такие механизмы ответственны за генерацию ПС при бомбардировке структур Д—П короткопробежными ионами, свойства возникающих ПС должны быть аналогичны свойствам ПС, созданных проникающим ионизирующим излучением.

Между тем, как показывают наши экспериментальные данные, свойства ПС, возникающих при бомбардировке структур Д—П короткопро-

бежными ионами и при действии проникающего электронного облучения, заметно различны. Так, при ионной бомбардировке энергетический спектр ПС представляет собой сплошную кривую в верхней половине запрещенной зоны Si с четко выраженными уровнями $E_c - 0,15$ эВ и $E_c - 0,21$ эВ [2]. Если же проводить облучение высокоэнергичными электронами [4], то на фоне непрерывного спектра ПС наблюдается лишь один энергетический уровень $E_c - 0,12$ эВ. Различие свойств ПС, облученных короткопробежными ионами и электронами, видно также из данных, полученных при отжиге структур Д—П (см. рисунок). В этих опытах мы исследовали

Изохронный отжиг ПС структур SiO_2-Si длительностью 10 мин: 1 — образец, облученный электронами с энергией 50 МэВ; 2 — образец, облученный ионами мышьяка с энергией 40 кэВ. $f = (N_{ss}(T) - N_{ss}^0(T)) \times (N_{ss} - N_{ss}^0(T))^{-1}$ — функция отжига. N_{ss} , $N_{ss}(T)$ — соответственно плотности ПС облученного образца до отжига и после отжига, $N_{ss}^0(T)$ — плотность ПС необлученного образца после отжига, N_{ss} — плотность ПС, локализованных вблизи середины запрещенной зоны Si .



те же структуры SiO_2-Si , что и в [2, 4]. Видно, что в структурах, облученных ионами, отжиг происходит в две стадии с медианными температурами примерно 180 и 250° С. Для структур, облученных электронами, характерна одна стадия отжига с медианной температурой около 140° С. Эти результаты показывают, что различные облучения структур SiO_2-Si привели к образованию ПС различной природы.

На наш взгляд, образование ПС при бомбардировке структур короткопробежными ионами происходит следующим образом. Радиационные дефекты, возникающие в области торможения бомбардирующих ионов (смещенные атомы кремния, кислорода и их вакансии, возможно, атомы примесей), мигрируют к границе Д—П и через нее проникают в кремний.

При таком процессе в структуре должны возникнуть дефекты двух типов: дефекты в окисле у границы с Si и дефекты в приповерхностном слое Si . Разумно считать, что ПС, обусловленные дефектами при ионной бомбардировке, имеют более сложную природу и являются продуктами более сильных нарушений структуры SiO_2 , чем ПС, созданные ионизирующим облучением, так как при их генерации атомы, формирующие SiO_2 , получают существенно больше энергии, чем при захвате носителя заряда. Поэтому отжиг ПС, созданных в окисле короткопробежными ионами, требует более высокой температуры, чем отжиг ПС, созданных электронами (см. рисунок). Кроме того, предположение о миграции радиационных дефектов из SiO_2 в Si , приводящей к образованию ловушек в Si , согласуется с тем, что возникающие при этом глубокие центры наблюдались также в работах [5, 6] в том случае, когда ионы достигали Si . К тому же характерная температура отжига таких ПС близка к температуре отжига дефектов, локализованных в Si вблизи поверхности, покрытой пленкой термически выращенного окисла [7].

1. McCaughan D., Murphy V. J. Appl. Phys., 44, 2003 (1973).
2. Саакян А. А. и др. Труды Международной конференции «Ионная имплантация в полупроводниках и других материалах», Вильнюс, 1983, с. 277.
3. Попов В. Д., Ройзин Н. М. Микроволновая электроника, 2, 552 (1973).
4. Саакян А. А. и др. Электронная техника, сер. 2, вып. 2 (168), 27 (1984).
5. Вологдин Э. Н., Жукова Г. А., Мордкович В. Н. ФТП, 6, 1306 (1972).
6. Дубчак А. П. и др. Препринт КИЯИ—76—25, 1976.
7. Вологдин Э. Н., Жукова Г. А., Мордкович В. Н. ФТП, 7, 835 (1973).

ԿԱՐՃ ՎԱՋՔԻ ԵՐԿԱՐՈՒԹՅՈՒՆ ՈՒՆԵՑՈՂ ԻՈՆՆԵՐՈՎ ՃԱՌԱԳԱՅԹՎԱԾ
ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿ-ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻՉ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԱՅԻՆ
ՎԻՃԱԿՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԻ ՄԱՍԻՆ

Ա. Ա. ՍԱՀԱԿՅԱՆ, Հ. Ն. ԵՐԻՏՅԱՆ, Ա. Ս. ՀՈՎՀԱՆԵՍՅԱՆ, Վ. Ն. ՄՈՐԴԿՈՎԻՉ

Դիելեկտրիկ-կիսահաղորդիչ համակարգը $E=40$ կէՎ էներգիայով As իոններով և $E=50$ ՄէՎ էներգիայով էլեկտրոնների փնջով ճառագայթելիս առաջացած մակերևութային դիճակների (ՄՎ) իզոխրոնային այրման ուսումնասիրությանը հայտնաբերված է, որ այն դեպքում, երբ ուժեղացող իոնների վազքի երկարությունը փոքր է դիելեկտրիկ շերտի հաստությունից, ՄՎ-ը ունեն այլ բնույթ, քան թափանցող բարձր էներգիայի էլեկտրոններով ճառագայթելիս Առաջարկված է ՄՎ առաջացման նոր մեխանիզմ, որը որակապես բացատրում է փորձնական արդյունքները: Մեխանիզմի էությունը կայանում է նրանում, որ կարճ վազքի երկարությամբ իոններով ճառագայթելիս դիելեկտրիկում առաջացած դեֆեկտները շարժվում են դեպի դիելեկտրիկ-կիսահաղորդիչ սահմանագիծը և առաջացնում նոր բնույթի ՄՎ, ընդ որում այդ դեֆեկտները կարող են սահմանով ներթափանցել նաև կիսահաղորդիչ խորքը:

ON THE MECHANISM OF INTERFACE STATES FORMATION IN DIELECTRIC-SEMICONDUCTOR STRUCTURES IRRADIATED WITH SHORT-RANGE IONS

A. A. SAHAKYAN, G. N. YERITSYAN, A. S. HOVANESYAN
V. N. MORDKOVICH

Based on the investigation of isochronous annealing of interface states formed in dielectric-semiconductor structures at the irradiation with 40 keV As ions and 50 MeV electrons, it was obtained that when the range of projectile ions was less than the dielectric thickness, the produced interface states differed in nature from those produced by penetrating high-energy electrons. A novel mechanism of interface states formation qualitatively accounting for available experimental data is proposed.