

06

Электролюминесценция слоев SiO_2 с избыточным кремнием

© А.П. Барабан, Д.В. Егоров, Ю.В. Петров, Л.В. Милоглядова

НИИ физики С.-Петербургского государственного университета

Поступило в Редакцию 4 июля 2003 г.

Изучена электролюминесценция (ЭЛ) структур Si-SiO_2 , содержащих избыточный кремний в окисном слое, введенный путем ионной имплантации (ИИ) с энергией 150 keV и дозами $5 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$. ИИ приводит к появлению полос ЭЛ 2.7 и 4.4 eV, которые связывались с образованием силиленовых центров. Сделано предположение о связи механизмов образования данных центров люминесценции непосредственно с процессами ИИ, независимо от типа имплантированных ионов.

Существенная особенность структур Si-SiO_2 заключается в появлении электролюминесценции (ЭЛ) при наличии сильного электрического поля в объеме диэлектрического слоя [1–3]. Наряду с собственной ЭЛ, связанной с особенностями строения окисного слоя и характером протекающих в нем электронных процессов, возможно создание в таких структурах наведенной люминесценции путем направленного введения центров люминесценции (ЦЛ) в окисный слой [1]. Одним из способов введения ЦЛ является ионная имплантация (ИИ) в окисный слой [4]. Создание стабильной ЭЛ в структурах Si-SiO_2 , являющихся основой современной микроэлектроники, представляет несомненный интерес для дальнейшего развития опто- и микроэлектроники.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании ЭЛ структур Si-SiO_2 , содержащих в окисном слое избыточный кремний, введенный путем ИИ.

Пленки SiO₂ толщиной 800 nm были получены путем термического окисления кремния *p*-типа во влажном кислороде при температуре 1100°C. Имплантация ионов кремния в окисный слой осуществлялась с энергией 150 keV и дозами $5 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$. Этот диапазон доз соответствовал созданию избыточной концентрации кремния от 5 до 30% в области локализации имплантанта, максимум которого располагался на расстоянии $\sim 200 \text{ nm}$ от внешней границы окисного слоя.

Спектры ЭЛ регистрировались в системе электролит–диэлектрик–полупроводник (ЭДП) по методике, детально описанной в [1]. Преимущества ЭДП-системы при исследованиях ЭЛ заключаются в возможности инжекции электронов и их разогрева в слоях SiO₂ в широкой области электрических полей, что является одним из необходимых условий возбуждения ЦЛ. Кроме того, возможность контролируемого травливания окисного слоя с одновременным измерением спектров ЭЛ позволяет определять пространственное распределение центров ЭЛ в окисном слое. Регистрация спектров ЭЛ проводилась при температуре 273 K и при условиях возбуждения, исключающих возможность развития процесса ударной ионизации в объеме окисного слоя [5].

На рис. 1 приведены спектры ЭЛ структур Si–SiO₂ и Si–SiO₂, содержащих избыточный кремний в окисном слое, полученные при идентичных условиях возбуждения. Видно, что ИИ кремния в окисный слой приводит к значительному увеличению интегральной интенсивности ЭЛ, связанной с появлением в спектре ЭЛ двух полос излучения, максимумы которых соответствуют энергиям 2.75 ± 0.05 и $4.4 \pm 0.1 \text{ eV}$. Данные полосы аппроксимируются гауссовым распределением с полуширинами 0.45 ± 0.05 и $0.6 \pm 0.2 \text{ eV}$ соответственно. Интенсивность этих полос экспоненциально возрастала с увеличением напряженности электрического поля в окисном слое и уменьшалась при постоянной напряженности поля в окисле по закону $L(t) = A_0 + A_1 \exp(-t/\tau_1) + A_2 \exp(-t/\tau_2)$, где $\tau_1 = 60 \text{ s}$, $\tau_2 = 600 \text{ s}$, A_0 , A_1 и A_2 — константы. Увеличение концентрации избыточного кремния в окисном слое приводит к увеличению интенсивности полос излучения 2.7 и 4.4 eV. При этом отношение их интенсивностей остается неизменным. Стравливание окисного слоя в сочетании с измерением спектров ЭЛ показало, что ЦЛ, ответственные за полосы излучения 2.7 и 4.4 eV, расположены в области, не превышающей 550 nm от границы Si–SiO₂. Характерная для ЭЛ структур Si–SiO₂ полоса излучения 1.9 eV

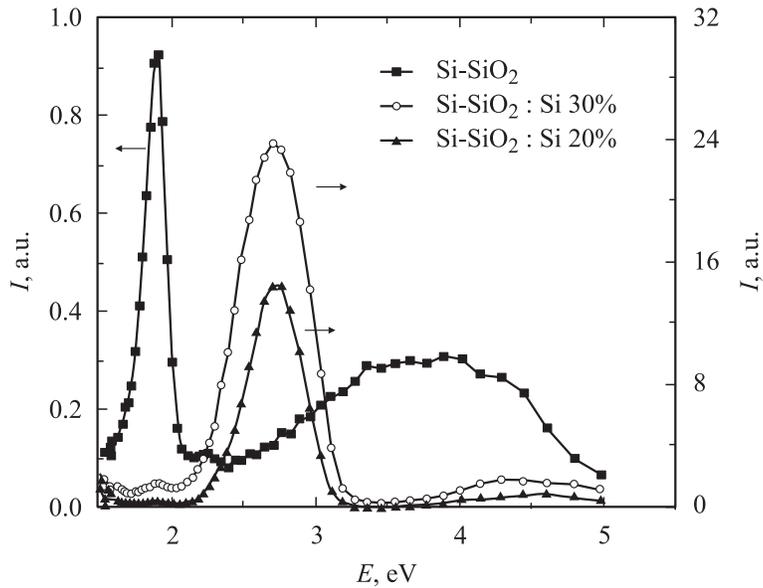


Рис. 1. Спектры ЭЛ структур Si-SiO_2 и Si-SiO_2 , содержащих избыточный кремний в окисном слое.

присутствует и в случае структур, содержащих избыточный кремний (рис. 1). В этом случае ее интенсивность несколько меньше, чем в случае структур Si-SiO_2 до имплантации. Необходимо отметить, что ЭЛ имплантированных структур в области ближнего ультрафиолета ($h\nu > 3.5 \text{ eV}$) содержит полосы излучения, характерные для неимплантированных структур Si-SiO_2 [1]. Это приводит к искажению формы полосы ЭЛ 4.4 eV , особенно при высоких уровнях возбуждения, т.е. при увеличении напряженности поля в окисном слое.

ИИ в окисный слой сопровождается процессами диссипации энергии имплантируемых ионов за счет их взаимодействия с ядерной и электронной подсистемами окисного слоя. Результатом этого является интенсивное дефектообразование, которое проявляется в изменении вида спектра ЭЛ — появлении полос излучения 2.7 и 4.4 eV . Необходимо отметить, что качественно схожее изменение вида спектров ЭЛ было получено нами в случае ИИ аргона с дозами $10^{13} - 3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ в

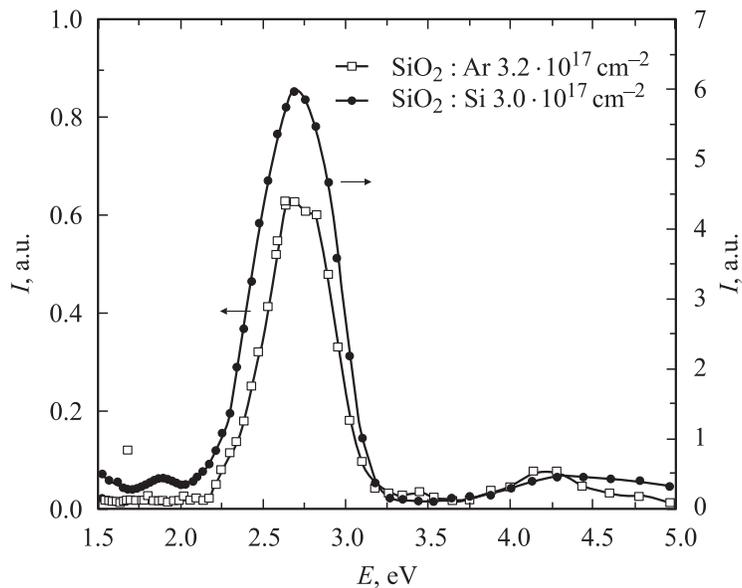


Рис. 2. Спектры ЭЛ структур Si–SiO₂, имплантированных ионами аргона, и структур Si–SiO₂, имплантированных ионами кремния.

окисный слой структур Si–SiO₂ [6]. В этом случае результатом ИИ также являлось появление интенсивных полос ЭЛ 2.7 и 4.4 eV. Появление этих полос ЭЛ в [7] связывалось с образованием в результате ИИ дефектов типа двухкоординированного по кислороду кремния — силиленового центра, для которого характерно наличие двух излучательных переходов 2.7 и 4.4 eV, возбуждаемых энергией 5 eV [8]. Мы полагаем, что в данном случае наблюдаемые изменения спектра ЭЛ также связаны с образованием в объеме окисного слоя силиленовых центров. Однако образование силиленовых центров может происходить не только за счет смещения атомов решетки SiO₂, как это было в случае имплантированных аргоном структур, но и непосредственно за счет вводимых имплантацией ионов кремния. Локализация основной части центров люминесценции ближе к границе Si/SiO₂, чем максимум распределения имплантированных ионов кремния, позволяет заключить, что и в этом случае смещение атомов решетки SiO₂ играет

значительную роль в образовании силиленовых центров. Вместе с тем бóльшая интенсивность полосы ЭЛ 2.7 eV в случае имплантации кремния, чем при ИИ аргона при одинаковой дозе имплантации (рис. 2), свидетельствует о непосредственном участии имплантируемого кремния в образовании силиленовых центров. Возбуждение созданных в результате ЦЛ, как и в случае имплантированных аргоном структур Si–SiO₂, происходит за счет взаимодействия с горячими электронами с энергией, превышающей 5 eV. На это непосредственно указывает экспоненциальная зависимость интенсивности полос ЭЛ 2.7 и 4.4 eV от напряженности поля в окисном слое.

Таким образом, имплантация ионов кремния в окисный слой структур Si–SiO₂ приводит к образованию в нем дефектов типа двухкоординированного по кислороду кремния, являющихся эффективными центрами люминесценции. Образование данных дефектов является неотъемлемой особенностью процесса ионной имплантации и в первом приближении не связано с типом имплантируемых ионов.

Работа поддержана КЦФЕ МО РФ. Грант PD02–1.2–356.

Список литературы

- [1] Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноров П.П. Электроника слоев SiO₂ на кремнии. Л.: Изд. ЛГУ, 1988. 304 с.
- [2] Solomon P., Klein N. // J. Appl. Phys. 1976. V. 47. N 3. P. 1023–1026.
- [3] Pepe A.J., Chen W., Oylar M. // J. Electrochem. Soc. 1993. V. 140. N 4. P. 1090–1093.
- [4] Rebohle L., Borany J., Yankov R.A., Skourupa W. et al. // Appl. Phys. Lett. 1997. V. 71. N 19. P. 2809–2811.
- [5] Барабан А.П., Климов И.В., Теношвили Н.И., Усеинов Э.Д., Булавинов В.В. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 17. С. 44–46.
- [6] Барабан А.П., Коноров П.П., Малявка Л.В., Трошихин А.Г. // ЖТФ. 2000. Т. 70. В. 8. С. 87–90.
- [7] Барабан А.П., Милоглядова Л.В. // ЖТФ. 2002. Т. 72. В. 5. С. 56–60.
- [8] Скуя Л.Н., Стрелецкий А.Н., Пакович А.Б. // Физика и химия стекла. 1988. Т. 14. С. 481–489.