

## Определение факторов, влияющих на интенсивность электролюминесценции пленок диоксида кремния, имплантированных оловом

И.А. Романов, Ф.Ф. Комаров

Белорусский государственный университет, Минск  
E-mail: romivan@bsu.by

На протяжении многих лет ученых привлекает идея создания светоизлучающих структур на основе кремния, которые в перспективе позволят реализовать оптическую систему передачи данных в интегральных схемах. Наиболее эффективным светоизлучающим материалом совместимым с технологией производства ИМС является  $\text{SiO}_2$ , имплантированный различными типами ионов ( $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Sn}^+$ ,  $\text{Zn}^+$ ,  $\text{Se}^+$ ). Выбор типа ионов позволяет управлять спектром люминесценции в широком диапазоне длин волн от 250 до 1600 нм. Природа фотолюминесценции (ФЛ) обогащенных оловом пленок диоксида кремния ( $\text{Sn-SiO}_2$ ) отожженных при различных температурах подробно рассматривается в работах [1, 2]. Остается открытым вопрос, каким образом доза имплантации, температура отжига и режим возбуждения электролюминесценции (ЭЛ) влияют на интенсивность свечения пленок  $\text{Sn-SiO}_2$ .

Цель настоящей работы – выявить факторы, влияющие на интенсивность электролюминесценции пленок  $\text{SiO}_2$ , имплантированных различными дозами ионов олова.

Для создания светоизлучающих структур в термически выращенный на кремнии *p*-типа  $\text{SiO}_2$  толщиной 130 нм проводилась имплантация ионов  $\text{Sn}^+$  с энергией 80 кэВ и дозами  $1 \times 10^{17}$ ,  $5 \times 10^{16}$  и  $2,5 \times 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Термообработка образцов проводилась при температуре 900 °С в течение часа на воздухе. Для возбуждения ФЛ отожженных образцов использовался He–Cd лазер ( $\lambda = 325$  нм). Регистрация спектров ЭЛ проводилась в системе «электролит-диэлектрик-полупроводник» в гальваностатическом режиме при положительном смещении подложки. В качестве электролита использовался 1М водный раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

На рис. 1 представлены спектры фото- и электролюминесценции образцов  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ , имплантированных различными дозами  $\text{Sn}^+$ . Спектры ЭЛ измерены при протекании через образцы тока 50 мкА/см<sup>2</sup>. Спектры ФЛ характеризуются полосой низкой интенсивности с максимумом при 2,1 эВ, которая объясняется свечением дефектов в  $\text{SiO}_2$  [2] и интенсивной полосой с максимумом при 3,2 эВ, которая приписана излучательным переходам в фазе  $\text{SnO}_2$ , образующейся после отжига [2]. Спектры ЭЛ характеризуются наличием только одной полосы в фиолетовой обла-

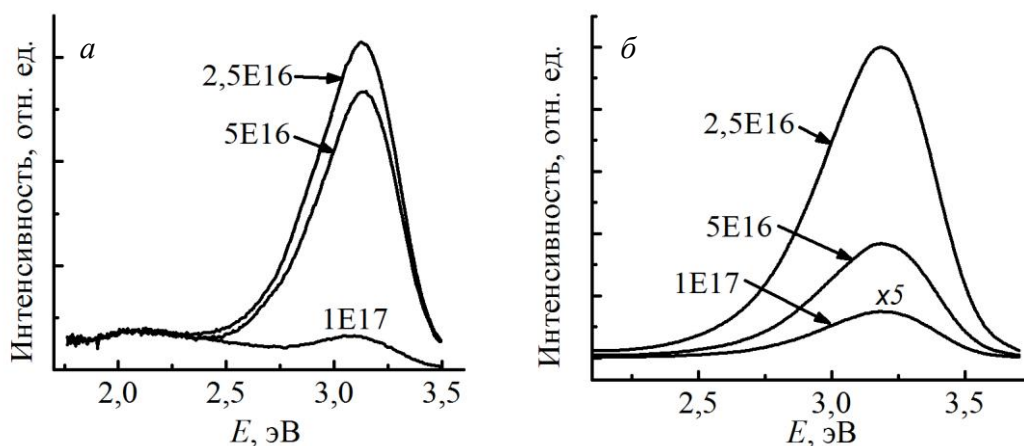


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции (а) и электролюминесценции (б) образцов SiO<sub>2</sub>/Si, имплантированных различными дозами Sn<sup>+</sup> и отожженных при 900 °С

сти, которая обусловлена теми же центрами свечения, что и фотолюминесценция [3].

Для описания интенсивности полосы ЭЛ с энергией 3,2 эВ в структурах Sn-SiO<sub>2</sub>/Si предположим, что ударная ионизация является единственным процессом, инициирующим электролюминесценцию. Интенсивность полосы ЭЛ можно представить выражением:

$$I_{EL} \sim j_d \int_0^X dx \int_0^\infty dE N_{Lum}(x) \sigma_{Lum}(E) N_e(E, x), \quad (1)$$

где  $j_d$  – дрейфовый ток,  $X$  – толщина излучающего слоя,  $N_e(E, x)$  – распределение электронов по энергиям и глубине излучающего слоя,  $N_{Lum}(x)$  – распределение центров люминесценции по глубине,  $\sigma_{Lum}(E)$  – сечение электролюминесценции. Ток, протекающий через образец ( $j_0$ ), равен сумме дрейфового тока ( $j_d$ ) и тока утечки ( $j_L$ ). Вольт-амперные характеристики образцов Sn-SiO<sub>2</sub>/Si подтвердили наличие тока утечки, протекающего по локализованным состояниям внутри запрещенной зоны SiO<sub>2</sub>. Для расчета относительной интенсивности полосы ЭЛ в первом приближении принят ряд допущений: распределения  $N_{Lum}(x)$  и  $N_e(E, x)$  по глубине не учитываются; концентрация центров люминесценции пропорциональна интегральной интенсивности полосы ФЛ ( $N_{Lum} \sim I_{PL}$ ); уменьшение интенсивности ЭЛ прямо пропорционально величине пройденного через образец заряда  $Q$ ; распределение электронов по энергиям является функцией от напряженности электрического поля  $N_e(E) = f(F)$ . При незначительном изменении напряжения на образце функция  $f(F)$  приобретает вид нормального распределения. Зависимость интенсивности полосы ЭЛ с энергией 3,2 эВ от времени и напряжения на структуре с учетом принятых допущений можно записать в виде:

$$I_{EL} = k(1 - \alpha Q)j_0 I_{PL} \exp\left[-\frac{(F - F_m)^2}{A}\right], \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности в начальный момент времени ( $k \sim j_d/j_0$ ),  $\alpha$  – скорость тушения ЭЛ,  $F_m$  и  $A$  – подгоночные параметры. Для того чтобы оценить влияние напряженности электрического поля и времени поляризации на интенсивность ЭЛ, проведены измерения спектров ЭЛ в сочетании с переходными характеристиками напряжения на образцах, измеренных в гальваностатическом режиме. На рис. 2, а представлены зависимости интенсивности полосы ЭЛ с энергией 3,2 эВ от времени измерения. Из рисунка видно, что длительное воздействие электрического поля приводит к тушению ЭЛ. На рис. 2, б представлена функция распределения  $f(F)$ , рассчитанная на основании данных полученных для образцов, имплантированных тремя дозами.

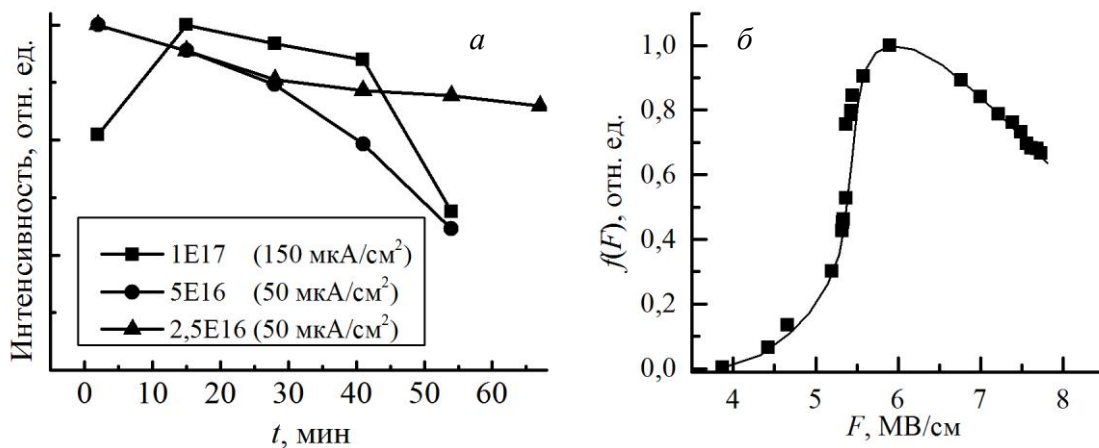


Рис. 2. Влияние времени поляризации на интенсивность свечения полосы ЭЛ с энергией 3,2 эВ (а) и функция распределения  $f(F)$  (б)

На основании полученных данных можно сделать ряд выводов:

1. Уменьшение дозы имплантации ионов олова с  $1 \times 10^{17}$  до  $2,5 \times 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> приводит к увеличению интенсивности свечения и возрастанию КПД светоизлучающих структур.
2. Наибольший КПД светоизлучающих структур достигается при напряженности электрического поля  $\sim 6$  МВ/см.
3. Длительная поляризация структур приводит к тушению ЭЛ. Самой низкой скоростью тушения ЭЛ характеризуется образец, имплантированный меньшей дозой.

1. Rebohle L., Von Borany J., Fröb H., Skorupa W. // Applied Physics B. 2000. V. 71, No. 2. P. 131–151.
2. Romanov I., Komarov F., Milchanin O. et al. // Journal of Nanomaterials. 2019. V. 2019. P. 1–9.