

06.2;12

Пассивация кремния двухслойными диэлектрическими пленками из оксида иттербия и оксида диспрозия

© М.А. Родионов, В.А. Рожков, А.В. Пашин

Самарский государственный университет
Самарская архитектурно-строительная академия
E-mail: rozhkov@ssu.samara.ru

Поступило в Редакцию 13 января 2004 г.

Исследованы рекомбинационные свойства кремния, пассивированного двухслойными диэлектрическими пленками из оксида иттербия и оксида диспрозия. Установлено, что после нанесения двухслойной пленки из оксидов редкоземельных элементов эффективное время жизни неравновесных носителей заряда, измеренное методом релаксации нестационарной фотопроводимости, возрастает в 2–3 раза. Определены величины скорости поверхностной рекомбинации на границе раздела кремний–оксид редкоземельного элемента. Показана перспективность применения двухслойных диэлектрических пленок из оксидов редкоземельных элементов в качестве пассивирующих покрытий кремниевых полупроводниковых приборов и элементов интегральных схем.

В современной микроэлектронике широкое применение получили полупроводниковые приборы и элементы интегральных схем на основе структур металл–диэлектрик–полупроводник (МДП). Это связано, в первую очередь, с простотой конструкции МДП-приборов и высокой плотностью упаковки элементов в изготавливаемых на их основе интегральных схемах. Диэлектрический слой МДП-приборов должен удовлетворять высоким требованиям, основными из которых являются высокая электрическая прочность, малые токи утечки, устойчивость к внешним воздействиям, а также возможность получения границы раздела с полупроводником, обладающей низкими рекомбинационными потерями. К перспективным диэлектрическим материалам для создания диэлектрического слоя МДП-приборов относятся оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ), которые характеризуются высокой химической и термической стойкостью, большими значениями диэлектрической проницаемости ($\epsilon = 8-20$), удельного сопротивления ($\rho = 10^{13}-10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$)

и пробивных напряжений, обладают хорошей адгезией к поверхности кремния. Кроме того, на основе оксидов РЗЭ возможно изготовление двухслойных диэлектрических пленок [1], применение которых позволяет заметно улучшить электрическую стабильность изготавливаемых приборов. Однако до настоящего времени остаются не изученными рекомбинационные характеристики кремния, покрытого двухслойной пленкой из оксидов РЗЭ. В связи с этим целью данной работы являлось изучение эффективного времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации неравновесных носителей заряда в пластинах кремния, пассивированных двухслойными диэлектрическими пленками из оксида иттербия и оксида диспрозия.

Исследуемые образцы вырезались из полированных пластин монокристаллического кремния марки КЭФ-20 с ориентацией поверхности (100) и имели характерные размеры $10 \times 5 \times 0.36$ mm. Перед изготовлением пленок оксидов РЗЭ часть кремниевых пластин проходила ультразвуковую мойку в ацетоне в течение 10 min, другая часть образцов для снятия естественного окисла подвергалась химической обработке путем их травления в водном растворе плавиковой кислоты состава $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ (1:10). В некоторых случаях после этой обработки образцы кипятились в перекисно-аммиачном растворе (ПАР) следующего состава: $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (1:1:3). После каждой обработки образцы многократно промывались в бидистиллированной воде и сушились на фильтре. Двухслойные металлические пленки наносились на обе поверхности кремниевой пластины методом термического распыления редкоземельного металла в вакууме при давлении $(2-3) \cdot 10^{-5}$ Torr из молибденовой лодочки на установке типа ВУП-5. На каждую сторону кремниевой подложки последовательно напылялись слои иттербия и диспрозия. Полученные пленки РЗЭ окислялись в трубчатой муфельной печи типа СУОЛ-0.4.4 на воздухе при температуре 620°C в течение 40 min. В качестве омических контактов использовались слои диспрозия и алюминия, последовательно нанесенные на кремниевые образцы через трафарет методом термического распыления в вакууме.

Для измерения эффективного времени жизни τ_{ef} использовался широко применяемый метод релаксации нестационарной фотопроводимости при освещении образца прямоугольными импульсами света. Подробно методика проведения измерений и измерительная установка описаны в [2]. Известно [3], что величина эффективного времени жизни определяется совместным действием процессов рекомбинации и захвата

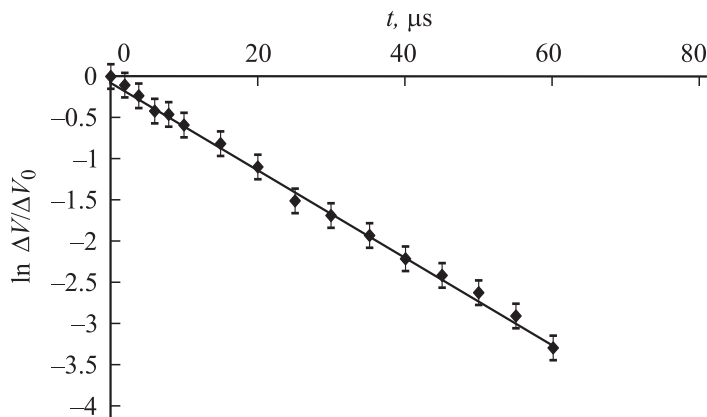


Рис. 1. Кинетика уменьшения разности между равновесным и неравновесным падениями напряжения на образце.

носителей заряда в объеме и на поверхности полупроводника. Наличие ловушек для носителей заряда может оказывать существенное влияние на постоянную времени процесса затухания фотопроводимости, измеряемую с помощью данного метода. Вследствие этого получаемое время жизни носителей заряда оказывается больше реального значения. Для выяснения роли процессов захвата на релаксацию фотопроводимости исследовалась кинетика роста падения напряжения на образце после выключения светового возбуждения, обусловленная рекомбинацией неравновесных носителей заряда. По результатам эксперимента строилась зависимость величины $\Delta V(t) = V_0 - V(t)$ от времени, где V_0 — падение напряжения на образце в состоянии равновесия, $V(t)$ — падение напряжения на образце при наличии неравновесных носителей заряда. На рис. 1 приведена указанная характеристика образца, пассивированного двухслойной диэлектрической пленкой из оксидов иттербия и диспрозия, перестроенная в полулогарифмических координатах $\ln \frac{\Delta V(t)}{\Delta V_0}$ от t , где ΔV_0 — максимальное значение ΔV . Как видно из рисунка, характеристика в указанных координатах спрямляется. Данный результат свидетельствует о том, что весь процесс релаксации фотопроводимости характеризуется единственным экспоненциальным законом с одной постоянной времени релаксации и определяется лишь генерационно-

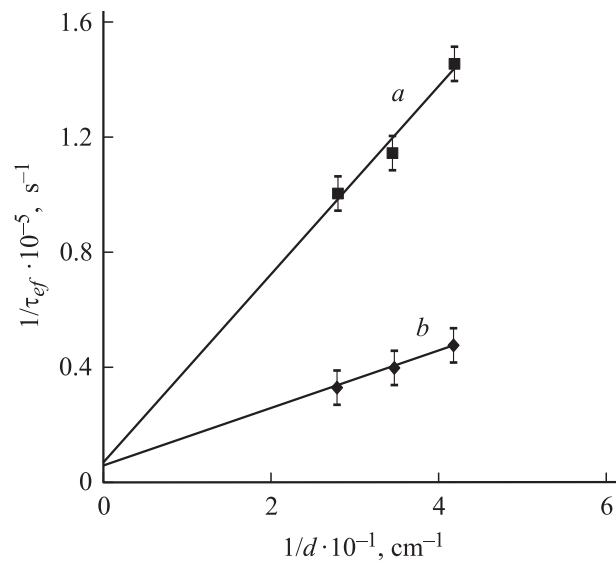


Рис. 2. Зависимость эффективного времени жизни неравновесных носителей заряда от толщины кремниевой подложки с реальной (*a*) и пассивированной (*b*) поверхностью двухслойной пленки из Yb_2O_3 и Dy_2O_3 .

рекомбинационными процессами, а захватом неравновесных носителей заряда на границе раздела кремний–оксид РЗЭ можно пренебречь. В этом случае для эффективного времени жизни тонких образцов при сравнительно малой скорости поверхностной рекомбинации справедливо соотношение [4]:

$$\frac{1}{\tau_{ef}} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{2S}{d},$$

где τ_0 — время жизни неравновесных носителей заряда в объеме полупроводника, d — толщина полупроводника, S — скорость поверхностной рекомбинации. Эта формула позволяет найти значение скорости поверхностной рекомбинации, если известно объемное время жизни.

Для определения объемного времени жизни использовалась зависимость эффективного времени жизни неравновесных носителей заряда

Материал пленки	Вид обработки поверхности кремния	τ_{ef} , μs	S , cm/s
Без пленки	HF:H ₂ O	8–10	2250–1800
» »	HF:H ₂ O + ПАР	10–12	1800–1500
» »	Ультразвуковая мойка	10–12	1800–1500
Yb ₂ O ₃ –Dy ₂ O ₃	HF:H ₂ O	33–36	540–500
» »	HF:H ₂ O + ПАР	35–38	510–470
» »	Ультразвуковая мойка	28–30	640–600

от толщины полупроводникового образца. На рис. 2 представлена указанная зависимость, полученная из измерений τ_{ef} , для образцов разной толщины, которые изготавливались путем травления кремния в травителе CP-8. Экспериментальные значения хорошо укладываются на прямую в координатах $1/\tau_{ef}$ от $1/d$. Данный результат свидетельствует о постоянстве скорости поверхностной рекомбинации у образцов разной толщины. Оценка объемного времени жизни, проведенная из экспериментальных зависимостей, дает значения $\tau_0 \geq 200 \mu s$ для всех исследованных образцов.

Определение величины скорости поверхностной рекомбинации проводилось из измерений эффективного времени жизни. Так как измеренные величины эффективного времени жизни не превышали $38 \mu s$ и выполнялось неравенство $1/\tau_{ef} \gg 1/\tau_0$, то в выражении для скорости поверхностной рекомбинации величиной $1/\tau_0$ пренебрегали. В таблице представлены полученные значения скорости поверхностной рекомбинации и эффективного времени жизни неравновесных носителей заряда в кремниевых образцах, прошедших различную обработку, до и после нанесения пленок оксидов PЗЭ.

Приведенные результаты свидетельствуют об увеличении значений эффективного времени жизни неравновесных носителей заряда и уменьшении величин скорости поверхностной рекомбинации при нанесении пленок оксидов PЗЭ. Сравнение полученных рекомбинационных характеристик показывает, что скорость поверхностной рекомбинации в системе Si–Yb₂O₃–Dy₂O₃ на 1–2 порядка меньше аналогичного параметра в широко применяемых в полупроводниковой электронике структурах Si–SiO₂ и Si–SiO₂–Si₃N₄ [5,6].

Таким образом, проведенные исследования показывают высокую эффективность и перспективность использования двухслойных диэлектрических пленок из оксидов РЗЭ в качестве пассивирующих покрытий кремниевых полупроводниковых приборов и элементов интегральных схем.

Список литературы

- [1] *Родионов М.А.* // Тез. докл. V Всерос. молодежной конференции по физике полупроводников и полупроводниковой опто- и наноэлектронике. С.-Петербург: СПбГПУ, 2003. С. 111.
- [2] *Рожков В.А., Родионов М.А.* // Тез. докл. II Междунар. науч.-техн. конференции „Физика и технические приложения волновых процессов“. Самара, 2003. С. 358–361.
- [3] *Фаренбрех А., Бьюб Р.* Солнечные элементы: Теория и эксперимент / Под ред. М.М. Колтуна. М.: Энергоатомиздат, 1987. 280 с.
- [4] *Ржанов А.В.* Электронные процессы на поверхности полупроводников. М.: Наука, 1971. 480 с.
- [5] *Литовченко В.Г., Горбань А.П.* Основы физики микроэлектронных систем металл–диэлектрик–полупроводник. Киев: Наук. думка, 1978. 316 с.
- [6] *Саченко А.В., Новоминский Б.А., Калшабеков А.С.* // Тез. докл. XII Всесоюз. науч. конф. по микроэлектронике. Ч. 3. Тбилиси, 1987. С. 143.