

Д. ф.-м. н. В. Н. КАТЕРИНЧУК, д. ф.-м. н. З. Д. КОВАЛЮК,
к. ф.-м. н. В. В. ХОМЯК

Украина, Черновицкое отделение ИПМ им. И. Н. Францевича НАНУ
E-mail: chimsp@ukrpost.ua

Дата поступления в редакцию
14.05 2010 г.

Оппонент к. ф.-м. н. З. Ф. ЦИБРИЙ
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ОКСИДОВ, ТЕРМИЧЕСКИ ВЫРАЩЕННЫХ НА ПОДЛОЖКАХ InSe

Качественные пленки In_2O_3 высокой проводимости получены термическим окислением InSe при невысоких температурах. Обнаружена наноструктуризация поверхности оксида в форме наноигол.

Одним из способов создания качественных пленок оксидов является термическое окисление полупроводников. Эти оксиды могут иметь различные свойства в части проводимости и оптического пропускания, зависящие от химического соединения, технологических факторов и толщины пленок. Наиболее часто оксиды полупроводников используют в различного типа гетероструктурах, поскольку они снижают плотность поверхностных дефектов на гетерогранице с полупроводником [1, с. 396].

В процессе выращивания одной химической фазы на подложках другой, как правило, образуется слой, имеющий наноструктурированную поверхность [2]. Возникающие нанобъекты могут иметь различную форму и размеры, что определяется технологическими факторами [3]. Изучение закономерностей роста таких пленок и их электрических свойств необходимо для оптимизации фотоэлектрических параметров гетероструктур.

В настоящей работе исследована динамика поверхностного сопротивления пленок оксида индия, полученных термическим окислением InSe, и топология окисленной поверхности.

Кристаллы InSe выращивались методом Бриджмена. В том случае, когда подложки из них вырезались путем скалывания пластин со слитка, нормаль к поверхности подложки N и кристаллографическая ось c были коллинеарны, т. е. $N||c$. Для получения подложек с $N \perp c$ необходимая грань кристалла сначала вырезалась, а потом обрабатывалась химическими травителями. Термическое окисление кристаллических подложек InSe проводилось в атмосфере воздуха при температуре 350, 400 или 450°C в электропечи с блоком регулирования и стабилизации температуры. Длительность окисления составляла от нескольких минут до нескольких десятков часов.

Поверхностное сопротивление R_s оксида измерялось для образцов, имеющих форму квадрата, причем две его противоположные стороны служили токовыми контактами. Измерение R_s оксида имеет осо-

бенности, связанные с его структурой. При начальном окислении подложки InSe слой оксида на ее поверхности образуется в следующей последовательности: формирование отдельных его зародышей, их разрастание и образование наносетчатой структуры и, наконец, ее слияние в сплошной слой. Соответственно этим фазам формирования оксида его поверхностное сопротивление будет определяться, во-первых, слоем полупроводника с низкоомными включениями оксида; во-вторых, сетчатой структурой оксида, шунтируемой слоем InSe и зеркально отраженной сетчатой структурой высокоомных обедненных областей; в третьих, собственно слоем оксида, изолированным от подложки обедненным слоем гетероперехода «оксид — p -InSe». Присутствие обедненных областей на гетерогранице между оксидом и подложкой во всех рассмотренных случаях не влияет на величину R_s ввиду их большого сопротивления.

В качестве контактов использовался чистый индий. При этом предполагалось, что расплавленный индий хорошо смачивает как окисленные, так и неокисленные участки поверхности подложки.

Поверхностная топология неокисленных и окисленных образцов кристаллов InSe исследовалась с помощью атомного силового микроскопа Nanoscope IIIa Dimension 3000 SPM (Digital Instruments, USA).

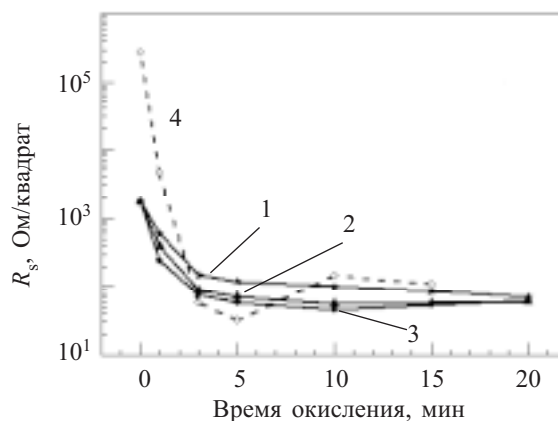


Рис. 1. Зависимость поверхностного сопротивления пленки In_2O_3 на подложках p -InSe с $N||c$ (сплошные) и $N \perp c$ (пунктирные) от времени окисления при различной температуре:

1 — 350°C; 2, 4 — 400°C; 3 — 450°C

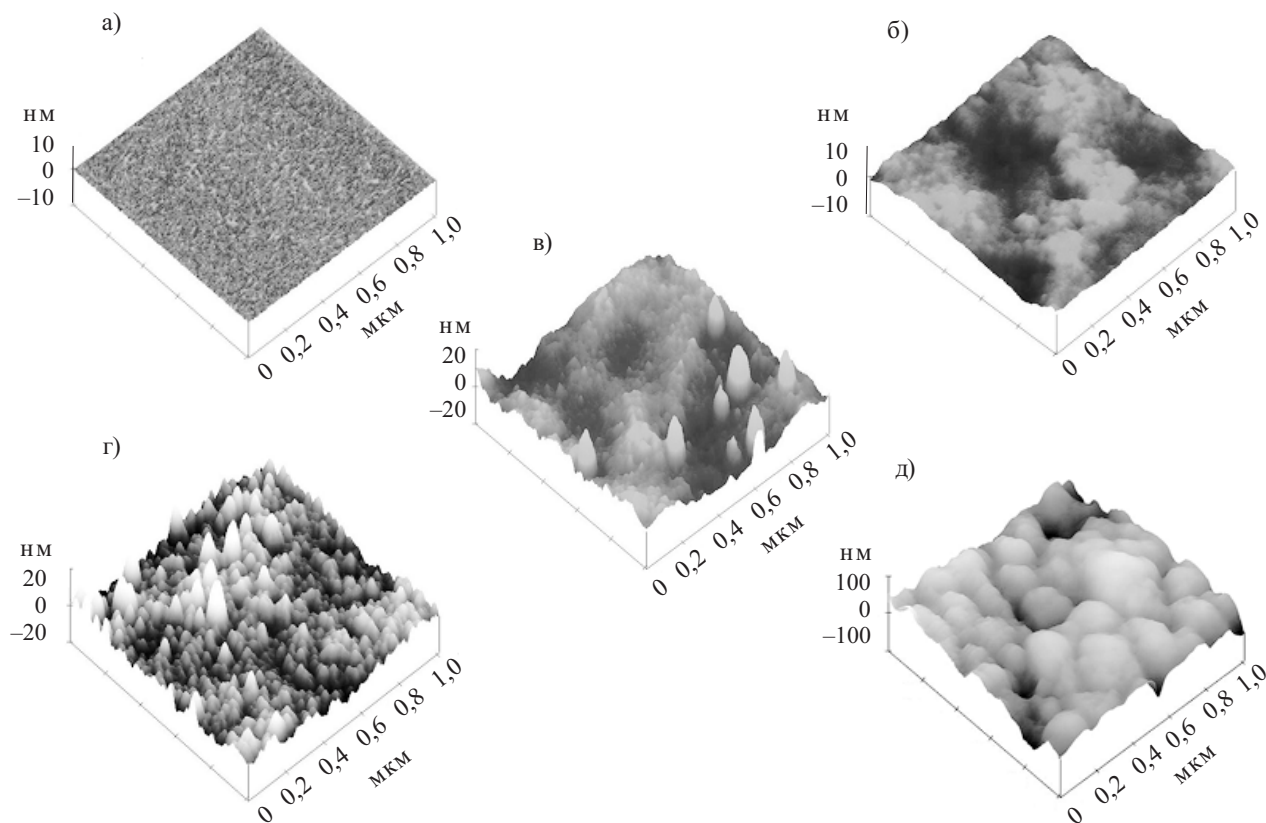


Рис. 2. Изображения, полученные с помощью атомно-силовой микроскопии, фрагментов неокисленной (а) поверхности кристаллов InSe (0001) и окисленной при температуре 450°C в течение различного времени окисления: б — 15 мин; в — 1 ч; г — 5 ч; д — 20 ч

Из результатов измерений, представленных на рис. 1, видно, что значение R_s существенно изменяется лишь в начальный период окисления, который длится не более 5 минут, причем чем выше температура окисления, тем сильнее убывание R_s и тем ниже его величина в начальный период окисления. Дальнейшее окисление подложки не приводит к существенному изменению сопротивления, которое стабилизируется на уровне 100 Ом/квадрат. Характер изменений R_s для подложек с $N||c$ практически ничем не отличается для случая, когда плоскость окисления перпендикулярна c , однако зависимость $R_s(t)$ здесь более резкая, что свидетельствует о более быстром процессе окисления соответствующей грани кристалла и о меньшем поверхностном сопротивлении оксида на этой грани.

Полученные зависимости R_s предполагают следующую качественную схему процесса окисления подложки. На поверхности InSe равновероятно образуются как оксиды индия, так и оксиды селена, поскольку данное соединение бинарное. Однако оксиды селена при температуре выше 100°C разлагаются, а компоненты разложения легко испаряются. Температура окисления подложек в нашем эксперименте составляла 350–450°C и поэтому можно считать, что происходило образование пленки

только оксида индия In_2O_3 . С увеличением ее толщины происходит ограничение доступа кислорода к гетерогранице «оксид — полупроводник» и обратный процесс — улетучивание оксидов селена. Поэтому наибольшие изменения поверхностного сопротивления пленки оксида наблюдаются в течение первых минут окисления.

Изменения поверхностной топологии пленок In_2O_3 , образующихся при термическом окислении подложек InSe при температуре 450°C в течение 20 ч, можно видеть на фото на рис. 2. На рис. 2, а изображен фрагмент поверхности неокисленной подложки — естественной грани кристалла после скола образца со слитка ($N||c$). Среднеарифметическое значение шероховатости этой поверхности составляло 0,053 нм, что указывает на высокое ее качество и позволяет считать ее атомарно ровной. После окисления образцов на протяжении 15 мин на поверхности InSe образуются скопления кристаллитов оксида индия, которые на рис. 2, б показаны светлыми. Латеральные размеры кристаллитов составляют порядка сотен нанометров, а наибольшая высота — 7–8 нм, что отвечает значению четырех периодов решетки InSe ($c = 16,7 \text{ \AA}$ [4]). Значение шероховатости при этом увеличилось до 0,422 нм.

Увеличение времени окисления подложки до 1 ч приводит к уменьшению латеральных размеров неокисленных участков (рис. 2, в). Вместе с тем, на поверхности образуется небольшое количество кристаллитов окисла в виде наноигл, и наступает упорядочивание элементов поверхности. Высота отдельных наноигл достигала 10 нм. Значение шероховатости составило 0,631 нм, а высота преобладающего числа кристаллитов окисла увеличилась до 0,8 — 2,5 нм.

Для поверхности слоя окисла, полученного при окислении подложки на протяжении 5 ч (рис. 2, з), характерно формирование достаточно однородного ансамбля наноигл, ориентированных перпендикулярно поверхности. Их плотность достигала 10^{10} — 10^{11} см⁻², а размеры отличались разбросом как по высоте, так и по радиусу оснований. При этом высота наноигл возросла почти в два раза по сравнению с представленными на рис. 2, в.

После окисления подложек в течение 20 ч топология поверхности существенно меняется — кристаллиты приобретают куполообразную форму (рис. 2, д). Это свидетельствует о том, что топология поверхности в этом случае определяется процессами рекристаллизации. В результате коалесценции кристаллитов начинает формироваться слой окисла с эффективной высотой нанобразований около 50 нм.

Обнаруженные закономерности поверхностной топологии пленок окисла, полученных в различных технологических условиях, свидетельствуют о неоднородности их наращивания, что приводит к формированию нанобразований. Причиной этому могут служить механические напряжения на гетерогранице при зарождении молекул окисла, приводящие к их слиянию в образования, имеющие наибольшую термодинамическую стойкость к разрушению. Оптимизация технологических режимов окисления может быть использована для наноразмерного упорядочивания поверхности окисла.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов.— Т. 1.— М.: Мир, 1984.
2. Barabasi A.-L. Self-assembled island formation in heteroepitaxial growth // Appl. Phys. Lett.— 1997.— Vol. 70, N 19.— P. 2565—2567.
3. Kovalyuk Z. D., Katerynychuk V. M., Savchuk A. I., Lytvyn O. S. Surface topology of GaSe oxidized crystals // Superlattices and Microstructures.— 2008.— Vol. 44, N 4—5.— P. 416—419.
4. Ikari T., Shigetomi S., Nashimoto K. Crystal structure and Raman spectra of InSe // Phys. Stat. Sol. (b).— 1982.— Vol. 111, N 2.— P. 477—481.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Наногетероструктуры в сверхвысокочастотной полупроводниковой электронике.— М.: Техносфера, 2010.— 432 с.

В сборник вошли 30 статей В. Г. Мокерова за период с 1986 по 2009 год. Эти работы посвящены вопросам создания наногетероструктур и послужили основанием для создания Института сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук в 2002 году. Чл.-кор. РАН В. Г. Мокеров был бессменным руководителем ИСВЧПЭ РАН с 2002 по 2008 год. Главной целью деятельности Института является проведение фундаментальных и поисковых научных исследований и прикладных разработок в области сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники, включая разработку гетероструктурных СВЧ монолитных интегральных схем для бортовых радаров, широкополосных систем беспроводной связи, оптоволоконных линий связи, высокочувствительных радиометров.

Сборник статей посвящен 70-летию со дня рождения В. Г. Мокерова (1940—2010 гг.).



НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Чобану М. Многомерные многоскоростные системы обработки сигналов.— М.: Техносфера, 2009.— 480 с.

В книге рассматриваются многомерные многоскоростные системы, которые используются для обработки ММ цифровых сигналов. Здесь впервые на русском языке систематически изложена теория и методы неразделимой обработки ММ сигналов, приводится все необходимое для разработки ММ многоскоростных систем, начиная с фундаментальных результатов из теории цифровой обработки ММ сигналов и заканчивая алгоритмами и программным/аппаратным обеспечением для ММ многоскоростных систем.

