

связи электрона, находящегося в синглетном спиновом состоянии на нейтральном примесном центре, мала и поэтому электроны относительно легко перемещаются по таким состояниям.

В области 2-4 К проводимость также подчиняется простому активационному закону, характеризуемому относительно малым потенциальным барьером, $\epsilon_a/kT \approx 4$. При росте электрического поля до 1 В/см на вольтамперной характеристике (ВАХ) возникает область отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) S-типа, характеризующаяся скачком тока при достижении порогового значения внешнего смещения. Так как характерная величина напряженности электрического поля при этом не превышает 1 В/см, то можно говорить о том, что механизм ОДС не связан с электрическим пробоем и лавинным умножением электронов, а определяется электронными кулоновскими корреляциями на D- состояниях. При достижении критической концентрации происходит уменьшение энергии связи электронов на D- состояниях, что ведет к невозможности захвата инжектированных электронов на эти состояния и соответствующему скачку тока.

Таким образом, для осуществления эффективной автоэлектронной эмиссии, обусловленной ϵ_2 – проводимостью, необходимо обеспечить совпадение энергетического уровня электронов D- состояний с подходящими уровнями поверхностных состояний кремния, т.е. создать на поверхности кремния высокую плотность состояний, энергия которых совпадает с энергией D- состояний, находящихся в его запрещенной зоне. В этом случае автоэлектронной эмиссии будет способствовать эффект резонансного туннелирования. Также можно обеспечить рост эффективности автоэлектронной эмиссии данного кремния путем осаждения 2-D кристаллов на его поверхность с подходящими эмиссионными свойствами, например, графена.

В области 2-4 К при наличии ОДС, этот эффект можно использовать для создания кремниевого автоэлектронного катода, функционирующего в импульсном режиме. Генерация импульсов тока может осуществляться путем использования области нелинейной ВАХ S-типа, содержащей три значения тока при одном и той же величине потенциала внешнего смещения. Возникающая в этом случае нестабильность ведет к генерации импульсов тока. В этом случае также необходимо обеспечить или снижение потенциального барьера на поверхности кремния, или совпадение энергетических уровней на поверхности с большой плотностью состояний с энергией D- состояний кремния.

Список использованных источников:

1. Han J.-W., Oh J.S., Meyyappan M. Vacuum nanoelectronics: Back to future? – Gate insulated nanoscale vacuum channel transistor // Appl. Phys. Letters – 2012. – Vol.100, No.21. – P. 213505.
2. Danilyuk A.L., Trafimenko A.G., Fedotov A.K., Svito I.A., Prischepa S.L. Negative Differential Resistance in n-Type Noncompensated Silicon at Low Temperature // Appl. Phys. Letters. – 2016. – Vol. 109, No. 22. – P.222104.
3. Danilyuk A.L., Trafimenko A.G., Fedotov A.K., Svito I.A., Prischepa S.L. Low Temperature Conductivity in n-Type Noncompensated Silicon Below Insulator-Metal Transition // Advances in Condensed Matter Physics. – 2017. – Vol. 2017. – Article ID 5038462.

ОСОБЕННОСТИ АНОДИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ Al/V/Cu

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Щадинская Д.А.

Лозовенко А.А. – м. н. с. НИЛ 4.10

Разработана методика формирования проницаемых структур с металлическим подслоем, основанная на двухстадийном анодировании тонкопленочной системы Al/V/Cu.

В мире становится актуальными исследования нитевидных проводящих наноструктур [1, 2]. Разрабатываются методики и технологии формирования темплейтов. Одним из вариантов создания нанопроводов является синтез массивов нанопроводов в темплейтах матриц пористого анодного оксида алюминия (АОА).

Ранее проведённые исследования показали, что массивы нанопроводов наиболее воспроизводимо формируются на металлическом подслое [3]. Однако при непосредственном анодировании плёнок на медном подслое происходит плохо контролируемый процесс растворения барьерного оксидного слоя. Так как у плёнки АОА плохая адгезия к меди, было предложено использовать буферный подслои ванадия, поскольку он обладает хорошими адгезионными свойствами и широко используется в микроэлектронике [4].

В работе исследованы процессы анодирования в тонкоплёночной системе Al/V/Cu и представлена методика формирования проницаемых слоёв АОА с металлическим подслоем.

Исследование процесса анодирования Al/V/Cu проводили по кинетике, снятой при анодировании напыленной на Si подложку трёхслойной системы Al/V/Cu толщиной 1,5 мкм, 0,05 мкм и 1 мкм соответственно. Анодирование осуществлялось в гальваностатическом режиме при плотности анодного тока 4 мА/см² в водном 0,4 М растворе щавелевой кислоты во фторопластовой ячейке.

На рисунке 1 представлена кинетика анодирования, на которой можно выделить 6 стадий:

- 1) быстрый рост напряжения, обусловленный нарастанием на поверхности металла плотного барьерного слоя, стадия завершается достижением максимально возможной при данных условиях толщины барьерного слоя при одновременном зарождении пор, соответствующей максимуму напряжения на временной диаграмме;
- 2) спад напряжения, происходящий вследствие завершения формирования ячеисто-пористой структуры АОА;
- 3) практически постоянное во времени значение напряжения, рост пористой части плёнки, тогда как толщина барьерного слоя остаётся практически постоянной;
- 4) резкий спад напряжения (растворение барьерного слоя, начало анодного растворения ванадия);
- 5) установление стационарного уровня напряжения (растворение ванадия);
- 6) рост напряжения (анодное окисление меди).

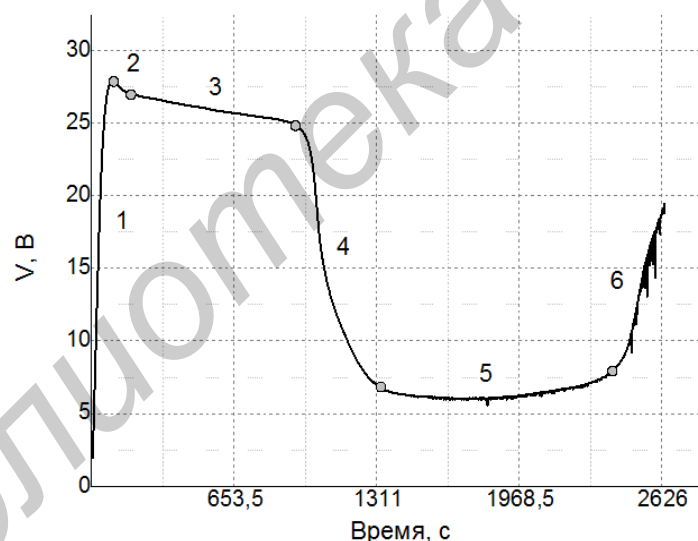


Рисунок 1 – Кинетика анодирования тонкоплёночной системы Al/V/Cu

Анодирование экспериментальных образцов проводилось в два этапа. На первом этапе анодировался слой алюминия; на втором этапе растворялся барьерный слой, анодировался ванадий. Во время анодирования визуально было обнаружено, что в местах некачественного напыления и/или дефектов пленки алюминия возможно локальное анодирование быстрее, чем в других участках образца. В этих дефектных местах происходит шунтирование тока. Чтобы избежать данного эффекта и равномерно окислять пленку алюминия, было решено уменьшить ток анодирования в 10 раз в момент резкого спада напряжения (начало стадии 4).

На втором этапе анодирования начинает утоняться барьерный слой АОА, далее идёт локальное растворение слоя ванадия под каждой порой и формирование проницаемого канала к медному подслою (рисунок 2, а). Процесс растворения ванадия контролировали визуально, наблюдая за изменением цвета образца с серебристого (пористый оксид алюминия толщиной 1,5 мкм полностью прозрачный, плёнка ванадия серебристого цвета) на чёрный (нанопорошок меди с размером частиц менее 50 нм может быть чёрного цвета). При дальнейшем выдерживании

образца при минимальном токе, происходит постепенное расширение канала в подслое ванадия, образец изменяет цвет с чёрного на тёмно-бурый, рыжий. На этом этапе подслоем ванадия полностью растворяется, и плёнка оксида алюминия отслаивается (рисунок 2, б).

Разработана методика формирования проницаемых структур с металлическим подслоем. Определены оптимальные условия равномерного анодирования плёнки алюминия и растворения барьерного оксидного слоя. Выявлены два основных этапа анодирования тонкоплёночной системы Al/V/Cu. Проведены электронно-микроскопические исследования созданных темплейтов. Полученные темплейты могут быть использованы для последующего синтеза массивов нанопроводов из различных материалов.

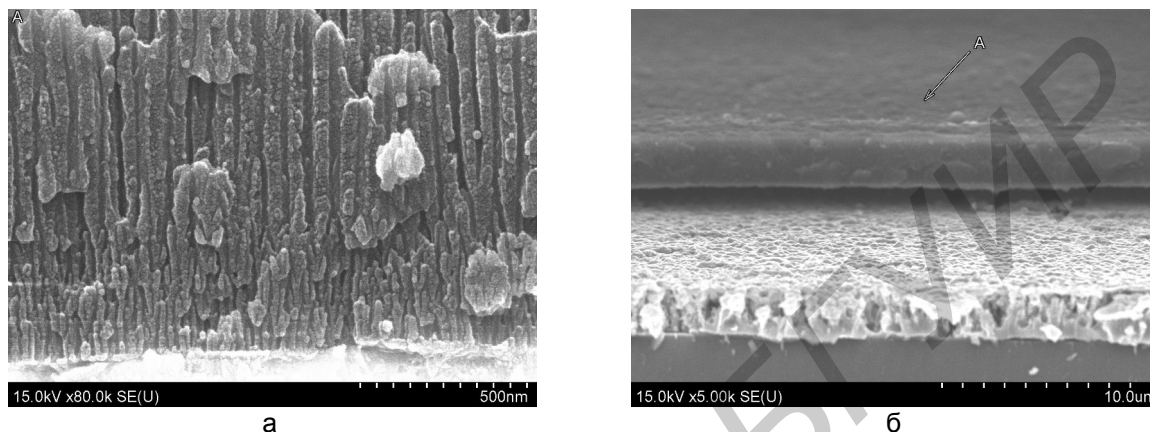


Рис. 2 – Поперечные сколы тонкоплёночной системы Al/V/Cu в различных точках кинетики анодирования

Список использованных источников:

1. Обухов И.А., Смирнова Е.А. Нанопровод как активный элемент генератора СВЧ излучения // Нано- и микросистемная техника. – 2016. – Т. 18. – № 8. – С. 509–514.
2. Kuo et al. Room temperature-synthesized vertically aligned InSb nanowires: electrical transport and field emission characteristics // Nanoscale Research Letters [Electronic resource] – 2013. – Mode of access: <http://www.nanoscalereslett.com/content/8/1/69>. – Date of access : 07.04.2017.
3. Горох Г.Г [и др.]. Синтез нанопроводов InSb в модифицированных матрицах анодного оксида алюминия // Материалы 22-й междунар. Крымской конференции «СВЧ-техника и коммуникационные технологии», 10–14 сент. 2012 г., Севастополь, Крым, Украина. Издательское предприятие «Вебер», Москва, Киев, Минск, Севастополь, 2012. – С. 655–658,
4. Величко А.А [и др.] / Плазмохимическое проявление резиста на основе аморфного оксида ванадия // Современные наукоёмкие технологии. – 2004. – № 2. – С. 50–52. – Режим доступа: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=21624>. – Дата доступа: 07.04.2017.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ РАСТВОРОВ ПО ИХ ИММИТАНСНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Дуцник А.И.

Петрович В.А. – к.ф.-м.н., доцент

Для определения значения pH растворов используют несколько методик. pH можно оценивать с помощью индикаторов, точно измерять pH-метром или путём проведением кислотно-основного титрования. [1]

Мы предлагаем другой способ измерения pH, основанный на выявленной нами зависимости иммитансных параметров от pH растворов, в частности – тангенса угла потерь ($\tan \delta$).