

АВТОФОТОКАТОДЫ НА ОСНОВЕ МИКРОСТРУКТУР ИЗ КРЕМНИЯ

В.А. СТОЛЕР

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
stoler@bsuir.by*

Полупроводники в виде многоострийной системы, имеющие высокую стабильность автоэмиссии в условиях технического вакуума, активно используются в микроэлектронике. Интерес представляет пористый кремний, полученный при электрохимическом анодировании монокристаллического кремния. Ультразвуковая обработка электролита с появлением кавитационных эффектов существенно влияет на гидродинамику в приповерхностной зоне микроструктур из кремния, что позволяет получать качественные автофотокатоды.

Ключевые слова: автокатоды, кремний, электрохимическое анодирование, микроструктуры, ультразвук, кавитация, гидродинамика, приемники излучения.

Необходимость создания интегральных схем, функционирующих в широком интервале температур, имеющих высокую радиационную стойкость, низкую потребляемую мощность, стимулировала в свое время развитие новой ветви микроэлектроники – вакуумных интегральных схем, активным элементом которых являлся ненакаливаемый катод, реализующий принципиальные возможности автоэлектронной эмиссии, такие как большие плотности тока при точечности источника [1]. В настоящее время особое внимание уделяется ненакаливаемым катодам в виде многоострийной системы на основе полупроводников, имеющих высокую стабильность автоэмиссии при давлении 10^{-4} - 10^{-2} Па, тогда как для металлических систем эта величина составляет 10^{-7} Па. Например, микроструктуры из вольфрама при давлении 10^{-5} - 10^{-4} Па и токе 1-2 мкА работают всего несколько минут.

С целью создания многоострийных автокатодов на основе полупроводников с плотностью упаковки микроострий 10^5 мм⁻², устойчиво работающих в вакууме 10^{-4} Па, был использован процесс электрохимического анодирования подложки из монокристаллического кремния для формирования пористого кремния, с последующим травлением его вдоль образованных пор до получения системы микровыступов в виде острий, статистически расположенных на подложке и составляющих единое целое с ней [2]. Образование острий происходило за счёт разной скорости травления по толщине слоя пористого кремния. Получение необходимого профиля микроструктур в ряде случаев, стало возможно благодаря использованию методов ультразвуковой (УЗ) обработки технологических жидкостей с появлением кавитационных эффектов. При этом основной акцент ставился на существенное изменение гидродинамики раствора в приповерхностной зоне обрабатываемой структуры, учет которой дал возможность целенаправленно влиять на геометрические характеристики изделия.

При стандартном электрохимическом процессе формирования поверхностей возникают проблемы связанные с малоподвижностью раствора в зонах сложного рельефа и наличием концентрационно-диффузионных ограничений, появляющихся в связи с соизмеримостью размеров объекта обработки с толщиной диффузионного слоя. Учет граничных условий протекания технологического процесса при УЗ обработке электролита позволяет рассматривать гидродинамическую ситуацию в приповерхностной зоне в зависимости от сложности рельефа обрабатываемой поверхности, идеализировав ко-

тору, в общем случае можно представить в виде каналов капиллярного типа, мысленно изолированных от остальной поверхности, и рассматривать движение раствора в них. Область раствора, выделенную в слой заданной толщины, рассматривали в виде четырехслойной структуры. Расчеты и анализ ситуации в отмеченных слоях с позиций ламинарности и турбулентности потока показали, что в них при обычных условиях реализуется ламинарный режим течения пуазейлевского профиля. Рассматривая зависимость течения от коэффициента молекулярной диффузии, и оценивая толщину диффузионного и вязкого пограничных слоев, приходим к выводу, что в случае УЗ воздействия на поверхность сложного рельефа при размерах меньше 1 мкм в определенных условиях может инициироваться кавитационный процесс с появлением турбулентных течений с признаками кумулятивности, характеризующихся отчетливой границей.

Результаты исследований позволили установить несколько механизмов УЗ воздействия на объект обработки в зависимости от размеров и сложности рельефа его поверхности и параметров ультразвука, среди которых определяющим является кавитационный [3]. Использование выявленных механизмов и их комбинаций, позволило получить острийные структуры с необходимыми характеристиками. Проведённые испытания автоэмиссионных свойств показали, что микроструктуры с плотностью острий 10^5 мм^{-2} в диодном включении обеспечивали ток 5-8 мА в непрерывном режиме и 5 А в импульсном. Стабильный уровень тока фиксировался при прохождении 10^{11} импульсов. Флуктуация тока эмиссии в первые два часа работы составляла 15 %, а через 12 часов работы – 28 % с повышением давления на порядок за счет локального газоотделения анода, связанного с его перегрузкой. Для устранения анодных эффектов использовались импульсы длительностью 50 нс. Сравнительно высокий показатель стабильности свидетельствует об участии большинства микроострий в автоэлектронной эмиссии. Тренировка экспериментальных образцов осуществлялась формовкой катода за счет ступенчатого увеличения отбираемого с него эмиссионного тока с выдержкой по времени. Вольт-амперные характеристики образцов снимались в координатах Фаулера-Нордгейма $\lg(i/u^2)=(1/u)$ и были линейны, что говорит об автоэмиссионном механизме работы катода. Эмитирующая площадь вычислялась из вольт-амперной характеристики по методу Оострома [4].

В заключение необходимо отметить, что острийные автокатоды на основе полупроводников представляют значительный интерес в качестве приёмников излучения в видимой и близкой инфракрасной области, что позволяет создать новый тип электронно-оптических преобразователей [5]. При этом в режиме автофотоэлектронной эмиссии, когда используется область насыщения вольт-амперной характеристики, влияние разброса геометрии микроострий не сказывается на стабильности тока, что важно при эксплуатации приборов на основе острийных автокатодов.

Список литературы

1. Ненакаливаемые катоды / Под ред. М.И. Елинсона. М., 1974.
2. Лыньков Л.М., Столер В.А., Зильберман М.М. Способ изготовления многоострийного автокатаода из кремния / Авторское свидетельство №1342330.
3. Дежкунов Н.В., Котухов А.В., Столер В.А. и др. // Докл. БГУИР. №2(64). 2012. С.92-98.
4. Oostrom A. // J. Appl. Phys. 1962. Vol. 33. N 10. P. 2917.
5. Столер В.А., Столер Д.В. // Тез. докл. XI Белорусско-российской НТК «Технические средства защиты информации». Минск, 5-6 июня 2013. С. 75-76.