

ВЫВОДЫ

В процессе плазменного напыления порошкового титанового покрытия на дентальные имплантаты происходит сильное окисление частиц титанового порошка в концевой части аргоно-плазменной струи, где содержание аргона составляет величину всего лишь порядка 10 об. %. Поэтому вследствие пассивации титанового покрытия оксидной пленкой величина его E_c становится примерно на 250 мВ положительнее E_c системы покрытий «титан-гидроксиапатит». Это объясняется тем, что напыление ГА поверх титанового подслоя приводит к частичному удалению оксидной пленки с его поверхности и резкому смещению потенциала в отрицательную область. По указанной причине пассивированное титановое покрытие обладает большей коррозионной устойчивостью в жидких биологических средах, чем покрытие «титан-гидроксиапатит». Выяснено, что одной из возможных причин отторжения дентальных имплантатов является отрицательный E_c плазмонапыленного покрытия, обусловленный наличием контаминационных примесей ряда электроотрицательных металлов. Согласно результатам исследований, следует минимизировать долю контаминационных загрязнений

поверхности имплантатов путем совершенствования применяемых технологических операций механических и электрофизических видов обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лясников В.Н., Верещагина Л.А. Биологически активные плазмонапыленные покрытия для имплантатов // Перспективные материалы. 1996. № 6.
2. Хасуй А. Техника напыления / Пер. с яп. М.: Машиностроение, 1975.
3. Салимжанова Е.В., Большаков Л.А., Лясникова А.В. и др. Резорбтивно-коррозионные характеристики биоактивных гидроксиапатитовых плазмонапыленных покрытий дентальных имплантатов // Современные проблемы имплантологии: Сб. науч. статей по матер. 6-й Междунар. конф. Саратов: Изд-во Саратов. техн. ун-та, 2002.
4. Салимжанова Е.В., Фоменко Л.А., Большаков Л.А., Серянов Ю.В. Механизм и кинетика химического растворения гидроксиапатита в модельном физиологическом растворе // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2002. Т. 45. № 4.
5. Родионов И.В. Влияние окисления титана на свойства плазмонапыленных титан-гидроксиапатитовых и оксидных биосовместимых покрытий дентальных имплантатов. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Саратов, 2004.

А.Ю. РОМАНОВ

Институт рентгеновской оптики (Москва)

ВОЗДЕЙСТВИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КНС-СТРУКТУРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛИНЗЫ КУМАХОВА

Исследовалось воздействие рентгеновского излучения на характеристики датчиков давления на основе КНС-структуры в лабораторных условиях. В качестве источника использовалась рентгеновская трубка, а также данная трубка, снабженная поликапиллярным рентгенооптическим элементом – среднефокусной линзой Кумахова.

Исследования влияния ионизирующих излучений на полупроводниковые материалы и структуры на сегодняшний день имеют значительную важность, как для диагностики этих структур, так и для модификации [1...4]. В ряде случаев для этих целей целесообразней применять рентгеновское и γ -излучение (РИ) [5...12]. Воздействие этим излучением применяется для выяснения механизмов радиационной нестабильности, прогнозирования радиационной стойкости, исследования дефектности материала и как метод оценки надежности готовых приборов. Например, в [13] показано, что для радиационных испытаний МДП-структур – изменения зарядового состояния диэлектрика [14...16], плотности поверхностных состояний [17], по сравнению с источниками α - и β -частиц, удобнее, при сохранении эффективности воздействия, использовать рентгеновские источники. Кроме того, облучение РИ может применяться в технологии создания современных электронных структур в целях стимулирования тех или иных свойств, например, в работе [8] достигнуто повышение магниточувствительности планарно-диффузионных структур. Облучение рентгеновским излучением КНС-структур приводит к изменению микрорельефа поверх-

ности, показателей преломления и коэффициентов экстинкции кремния и сапфира [11, 12].

Применение соответствующей рентгеновской оптики (РО), очевидно, позволяет повысить преимущества использования РИ. Одним из наиболее эффективных направлений РО на сегодняшний день является поликапиллярная оптика Кумахова [18], применение которой в задачах диагностики широчайшее (см. например, работы [19, 20]). Полезными свойствами РО Кумахова для микроэлектронной технологии, в плане модификации материалов посредством РИ, являются возможность реализации рентгеновского волновода и фокусирующего устройства [21, 22]. Оптика Кумахова дает возможность получения локальных плотностей РИ на уровне синхротронных источников в лабораторных условиях (так называемый, «лабораторный синхротрон») [23]. Такое свойство ОК, как передача интенсивности РИ на значительные расстояния от источника, позволяет упростить задачу оптимального размещения оборудования, избежать негативных факторов воздействия источника.

Одними из главных причин, определяющих специфику радиационных эффектов в системе диэлектрик –

полупроводник, являются наличие механических напряжений в системе до облучения и их трансформация в процессе радиационного воздействия [13]. Имеется возможность применения рентгеновского облучения в технологическом процессе с целью уменьшения поверхностных межслоевых напряжений, что, возможно, даст улучшение эксплуатационных характеристик приборов. На сегодняшний момент данная процедура осуществляется термоциклированием. Применение же высокоинтенсивных пучков ядерных излучений затруднено как по причине труднодоступности ускорителей и реакторов, дороговизны времени работы, и неудобности использования радионуклидных источников, так и по причине возможности возникновения наведенной радиоактивности в готовых приборах. Таким образом, целесообразны и перспективны исследования влияния РИ на механические напряжения, что может быть полезно для технологии создания тензочувствительных элементов на основе КНС, применяемых для создания датчиков и преобразователей давления [21, 22].

В данной работе проведено экспериментальное исследование воздействия РИ, сфокусированного линзой Кумахова, на тензорезисторный чувствительный элемент на основе структуры «кремний на сапфире» (КНС) в составе датчиков давления МИДА (микроэлектронные датчики) [24]. Преследовались следующие цели. Оценить устойчивость рабочих характеристик датчиков к ионизирующему излучению; диапазон экспозиций и плотностей потока излучения, при которых возможно проведение безмодификационной диагностики структур рентгеновскими методами [19, 20]. А также, оценить возможность применения сфокусированных пучков РИ для модификации данных микроэлектронных структур [21, 22]. Все исследования проводились на специализированном автоматизированном стенде для исследования оптики Кумахова [25...27].

Использовалась среднефокусная линза Кумахова, изготовленная в институте рентгеновской оптики (ИРО) основные рентгенооптические параметры которой исследованы в [28]. Входной диаметр линзы – 3 мм, длина – 265 мм, переднее и заднее фокусные расстояния – 180 и 95 мм, соответственно. Зависимость коэффициента усиления плотности потока в фокусном пятне данной линзы от энергии представлена на рис. 1. Диаметр фокусного пятна – минимального сечения пучка на выходе линзы, находится в пределах 100...500 мкм в диапазоне применяемых энергий РИ (5...50 кэВ). Характеристики

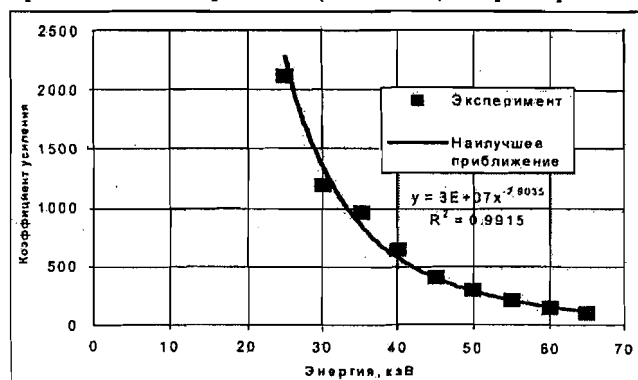


Рис. 1. Зависимость коэффициента усиления линзы от энергии используемого РИ

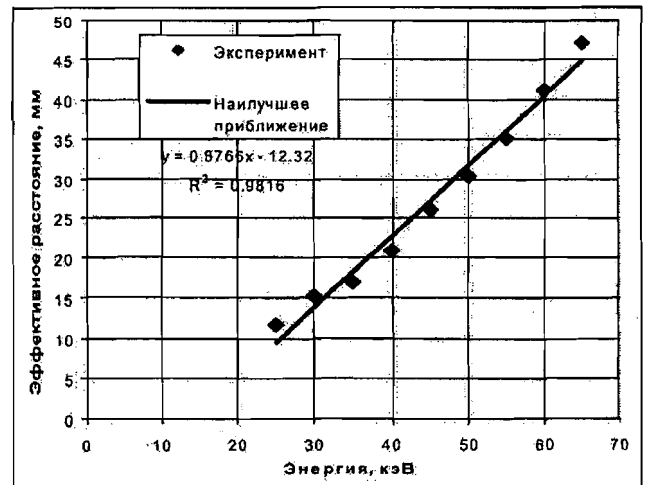


Рис. 2. Зависимость эффективного расстояния линзы от энергии используемого РИ

усиления позволяют получать на расстоянии ~50 см от источника плотность эквивалентную приближению на несколько сантиметров к фокусному пятну рентгеновской трубки, что полезно в технологическом цикле с точки зрения, как организации пространственного размещения устройств, так и избежания негативных воздействий рентгеновского источника. На рис. 2 представлена зависимость эффективного расстояния – приближения к фокусному пятну трубки, эквивалентного по получаемой плотности потока использованию линзы, – от энергии РИ.

Проведено дополнительно определение выходного поля излучения из линзы методом сканирования выходного пучка ножом [25...27]. Трехмерная визуализация поля излучения приведена на рис. 3. Как видим, имеется возможность использования, в зависимости от необходимой площади облучения, пучка в различных сечениях. Ограничение по максимальной площади – выходные размеры линзы.

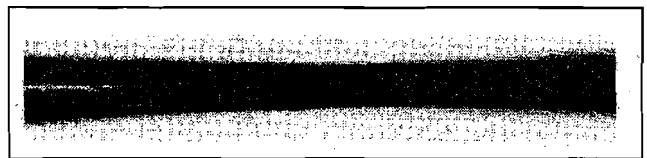


Рис. 3. Результаты визуализации сканирования пространства после линзы целью размером 50 мкм на дистанции 4000 мкм

Повышение локальной плотности посредством линзы Кумахова позволяет сократить время воздействия для получения требуемой дозовой нагрузки, что весьма полезно для ускорения технологического цикла. Подобные характеристики фокусного пятна позволяют использовать линзу Кумахова как в экспериментальных исследованиях в области полупроводниковых технологий, так и в технологическом процессе.

Для облучения использовались датчики давления на основе КНС, подробные характеристики которых можно найти в работе [24]. Облучалась непосредственно сама полупроводниковая структура, доступная для обозрения, находящаяся на торце датчика.

Первоначально в работе производилось облучение рентгеновской трубкой Oxford Instruments XTF 5011, с

зеркальным вольфрамовым анодом, без РО. Во время облучения структура располагалась на расстоянии 1 см от бериллиевого окна рентгеновской трубки (в ≈ 3 см от фокусного пятна). Мощность трубки 50 Вт. Верхняя граница установленного на трубке высокого напряжения – 50 кВ. Трубка работала в режиме максимальной мощности (ток 1 мА), при этом поток рентгеновских фотонов с трубки в полный телесный угол составлял $\sim 10^{13}$ с $^{-1}$.

Одновременно производился контроль изменения сопротивления мостовой схемы тензочувствительного элемента датчика. Происходили незначительные изменения, вызванные в основном тепловыми воздействиями от металлического корпуса рентгеновской трубки. Это выяснялось отключением источника РИ – изменения сохранялись. При отдалении же структуры от корпуса трубки – происходила релаксация сопротивления к прежней величине. Таким образом, для проведения мониторинга воздействия рентгена на структуру была обнаружена необходимость применения дополнительного средства для отсека тепловых воздействий.

Необходимо было, либо удалить объект на достаточное расстояние от трубки, чтобы исключить чувствительность к теплу датчика, либо поставить тепловой экран, но и в том и в другом случае плотность потока излучения уменьшится. Нами же проблема была решена применением среднефокусной линзы Кумахова. Здесь используются передаточные свойства поликапиллярной оптики Кумахова. К тому же применение линзы Кумахова дает локальность в облучении и повышение плотности потока на объекте. На расстоянии около 0,5 м от фокусного пятна рентгеновской трубки на облучаемой структуре была получена такая же плотность излучения, как и на расстоянии несколько сантиметров. Необходимо отметить, что приближение в нашем случае ограничено особенностью конструкции трубки – удаленностью фокусного пятна от выходного бериллиевого окна на 2 см, что является типичным для рентгеновских трубок.

Применялись различные варианты воздействия с применением оптики – пучок в различных сечениях: от максимального до минимального; причем осуществлялось последовательное воздействие фокусированным излучением (сканирование) на всю поверхность микроэлектронной структуры. Максимальная длительность воздействия достигала 3 ч. Таким образом, максимальная плотность потока на структуре составляла $\sim 10^{10}$ фотонов / (с мм 2), максимальный интегральный флюенс – $\sim 10^{14}$ фотонов / мм 2 в энергетическом диапазоне РИ 5...50 кэВ.

Применение фокусирующей до микронных размеров пучка оптики совместно с последовательным перебиранием точек воздействия с целью модификации можно рассматривать как новый вариант сканирующей рентгеновской микроскопии – модификационной сканирующей рентгеновской микроскопией полупроводниковых структур с использованием оптики Кумахова, что реализовано в данной работе впервые.

Несмотря на проведенные воздействия рентгеновским излучением, никаких значительных изменений в технологических и эксплуатационных характеристиках приборов, проверенных впоследствии, не произошло.

Таким образом, опробована методика применения линзы Кумахова для радиационных испытаний, показавшая себя удобной и перспективной. Обнаружена высокая радиационная стойкость исследованных структур. Для возможного применения рентгеновского излучения в технологии данных и других подобных структур в целях модификации целесообразно опробовать более высокие плотности излучения. В лабораторных условиях это можно осуществить применением микрофокусного источника на основе трубки с прострельным анодом снабженной микрофокусной линзой Кумахова [18], либо цилиндрической поликапиллярной структурой [23], либо без применения оптики – с предельным приближением к аноду [29]; характеристики плотности излучения подобных систем близки к характеристикам синхротронного излучения.

Выражаю благодарность А.В. Пирогову, В.М. Стучебникову («Мидаус», Ульяновск) за предоставленные образцы и организацию измерений параметров датчиков, С.В. Никитиной и сотрудникам (ИРО, технологический отдел; Москва) за предоставленную линзу Кумахова, В.Б. Тулвинскому и Э.Т. Шипатову (УлГУ, каф. физического материаловедения; Ульяновск) за привлечение моего внимания к данному вопросу и помощь в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динс Дж., Виньярд Дж. Радиационные эффекты в твердых телах. М.: Изд. ин. лит. 1960.
2. Физические процессы в облученных полупроводниках. Отв. ред. Смирнов Л.С. - Новосибирск, Наука. 1977.
3. Агаханян Т.М., Аствацатурьян Е.Р., Скоробогатов П.К. Радиационные эффекты в интегральных микросхемах. / Под. ред. Т.М. Агаханяна. М.: Энергоатомиздат. 1989.
4. Калашников Е.Г., Шипатов Э.Т. Ядерная физика твердого тела. – Ульяновск: УлГУ. 2000.
5. Гуртов В.А., Камбалин С.А., Назаров А.И. Радиационные эффекты при воздействии рентгеновского излучения на МНОП-структуры // Поверхность. 1984. № 6.
6. Голубев В.К., Рабинович К.Г., Чернышев А.К. О характере разрушения медной фольги при интенсивном рентгеновском излучении // ЖТФ. 1998. Т. 68. № 2.
7. Куракин А.М. Влияние гамма-радиации на характеристические сопротивления нитридгаллиевых гетероструктурных транзисторов с высокой подвижностью электронов // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. № 18.
8. Воронцов С.И., Бакланов С.Б., Гуринов Н.Т., Новиков С.Г. Облучение рентгеновским излучением планарно-диффузионных симисторных структур как метод повышения магниточувствительности // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. № 19.
9. Бормонтов Е.Н., Левин М.Н., Гитлин В.Р. и др. Влияние радиационного воздействия на характеристики МДП-транзистора // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. № 9.
10. Ковалюк З.Д., Катеринчук В.Н., Политанская О.А. Влияние гамма-облучения на свойства InSe – фотодиодов // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. № 9.
11. Киселев А.Н., Перовошиков В.А., Скупов В.Д., Филатов Д.О. Изменение микроморфологии поверхности эпитаксиальных слоев кремния на сапфире при облучении рентгеновским излучением «допороговых» энергий // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. № 17.
12. Киселев А.Н., Перовошиков В.А., Скупов В.Д., Филатов Д.О. Различия в изменениях параметров компонентов

- структур «кремний на сапфире» после рентгеновского облучения со стороны эпитаксиального слоя и подложки // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. № 23.
13. Васин С.В. Физико-химические процессы в МОП-структурах, облученных альфа- и бета-частицами: Дис. канд. ф.-м. наук: 01.04.10, Ульяновск, УлГУ. 1999.
 14. Васин С.В., Тулвинский В.Б., Шипатов Э.Т. Аномальная деградация структур Al-SiO₂-Si в электрических полях // Изв. вузов. Электроника. 1999. № 4.
 15. Романов А.Ю., Васин С.В., Тулвинский В.Б. Исследование миграции ионов в оксидном слое Al-SiO₂-Si-структур в результате полевой обработки // Ученые записки Ульяновского гос. ун-та. Сер. Физ. 2001. № 1(10).
 16. Романов А.Ю., Тулвинский В.Б., Васин С.В. Энергетические характеристики процессов ионного переноса в МОП-структурах, полученных быстрым охлаждением // Ученые записки Ульяновского гос. ун-та. Сер. Физ. 2002. № 1(12).
 17. Васин С.В., Тулвинский В.Б., Шипатов Э.Т. Отжиг структур алюминий – диоксид кремния – кремний, облученных альфа-частицами // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. № 16.
 18. Kumakhov M.A. Status of polycapillary optics and perspectives // Proceedings of SPIE. Vol. 4765. 2002.
 19. Романов А.Ю., Черник В.Н. Получение рентгеновских теневых изображений с применением высокоразрешающей увеличивающей изображающей оптики Кумахова // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. № 22.
 20. Гелевер В.Д., Романов А.Ю. Сканирующая рентгеновская микроскопия на основе оптики Кумахова и растрового источника // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. № 5.
 21. Романов А.Ю. Преимущества применения фокусирующего эффекта линзы Кумахова в микрорелектронной технологии // «Оптика, оптоэлектроника и технологии»: тр. 5 межд. конф. Ульяновск: УлГУ. 2003.
 22. Романов А.Ю. Радиационные испытания датчиков давления на основе КНС с использованием линзы Кумахова // Мат. 6-й междунар. конф. «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы». –Ульяновск: УлГУ. 2004.
 23. Романов А.Ю., Дмитриев И.В. Получение интенсивных квазипараллельных рентгеновских микропучков с использованием цилиндрической поликапиллярной структуры // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. № 18.
 24. Бушев В.В., Николайчук О.Л., Стучебников В.М. Серия микрорелектронных датчиков давления МИДА // Датчики и системы. 2000. № 1.
 25. Романов А.Ю., Дмитриев И.В., Акулов А.Ю. Исследование рентгенооптических свойств оптики Кумахова // Инженерная физика. 2004. № 1.
 26. Романов А.Ю., Дмитриев И.В., Акулов А.Ю. Экспериментальное исследование оптических свойств поликапиллярной оптики Кумахова в энергетическом диапазоне рентгеновского излучения 5-70 кэВ // Поверхность. 2005. № 2.
 27. Романов А.Ю. Автоматизированный стенд для исследования рентгенооптических параметров среднефокусной оптики Кумахова // Известия вузов. Приборостроение. 2005. № 1.
 28. Романов А.Ю. Рентгенооптические параметры среднефокусной линзы Кумахова для жесткого рентгеновского диапазона // Письма в ЖТФ. 2005. Т.31. № 5.
 29. Mikhin O.V., Kumakhov M.A., Ibrahimov N.S., Gelever V.D. Microfocus x-ray generator for certification of Kumakhov micro-lenses // Proceedings of SPIE. 2002. Vol. 4765.



**В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ» ВЫПУЩЕН
КАТАЛОГ «ПРИБОРЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ» (9 ТОМОВ)**

Продолжение списка

ТОМ 6. «Приборы вторичные»

Цена 580 руб.

В том 6 включены приборы вторичные (мосты, потенциометры, вторичные приборы с входным сигналом переменного напряжения, с входными унифицированными сигналами постоянного тока и напряжения, узкопрофильные приборы и др.) отечественного и зарубежного производства.

ТОМ 7. «Приборы регулирующие. Сигнализаторы температуры, давления, уровня. Датчики-реле. Исполнительные механизмы»

Цена 980 руб.

В том 7 включены приборы регулирующие электрические, пневматические, специализированные по отраслевому назначению; преобразователи, механизмы исполнительные, отличающиеся по принципу действия; датчики-реле; сигнализаторы, отличающиеся по назначению; оперативные, задающие и вспомогательные устройства.

ТОМ 8. «Программно-логические контроллеры (ПЛК) и программно-технические комплексы (ПТК)

Цена 730 руб.

В том 8 включены программно-логические контроллеры (ПЛК) и программно-технические комплексы (ПТК).

ТОМ 9. «Приборы электроизмерительные»

Цена 1000 руб.

В том 9 включены приборы для измерения электрических величин: амперы, вольтметры, ваттметры, омметры, частотомеры, электроизмерительные клещи, электрические счетчики и др. Электроизмерительные приборы представлены как цифровые, так и аналоговые в различном конструктивном исполнении: щитовые и переносные.

Приобрести полный комплект каталога или его отдельные тома можно по адресу:
107258, Москва, Алымов пер. дом 17, стр. 2, ООО Издательство «Научтехлитиздат»
Тел.: (495) 231-30-01, 737-52-19, тел./факс (495) 231-78-80
E-mail: buh@tgizdat.ru