

УТВЕРЖДАЮ:
Первый проректор
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования "МИРЭА - Российский
технологический университет"
(РТУ МИРЭА)

д. х. н., проф. Прокопов Н. И.

Отзыв

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет"» (РТУ МИРЭА) на диссертационную работу Терашкевича Дмитрия Игоревича на тему «Разработка полировальных материалов на основе полиэфируретанов для химико-механической планаризации диэлектрических слоев полупроводниковых пластин», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

Актуальность работы. Одним из критериев оценки конкурентоспособности промышленных отраслей и фактором экономического роста является уровень современного производства и эффективность использования передовых технологий и инновационных материалов. Одной из таких отраслей является микроэлектроника, которая в настоящее время переживает период стремительного развития.

Создание продукции высокого уровня для микроэлектроники на основе полупроводниковых кремниевых пластин требует обработки их поверхности современными методами химико-механической планаризации (ХМП).

В условиях санкций отсутствие отечественных полировальных материалов для изготовления кремниевых пластин с заданными параметрами структуры поверхности выдвигают данную проблему в число значимых и своевременных.

Развитие полимерной химии и технологии получения новых полимерных композиционных материалов и изделий позволяют в настоящее время решать многие научно-технические задачи в области микроэлектроники.

В связи с этим рассмотрение в представленной работе комплекса научно-технических и технологических решений, направленных на создание новых отечественных полировальных полимерных композиционных материалов для

микроэлектроники, практически не уступающих зарубежным аналогам, является актуальной задачей.

Анализ содержания работы и ее завершенности. Диссертационная работа Терашкевича Д.И. имеет традиционную структуру и состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе, списка литературы и приложения. Работа изложена на 155 страницах печатного текста, содержит 86 рисунков, 19 таблиц и включает список литературы из 216 библиографических и электронных источников, а также приложение (Акт) на 2-х страницах.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость, представлен личный вклад автора, апробация результатов исследований, приведено количество публикаций, структура и объем работы.

В главе 1 дан обзор научной и патентной литературы, в котором описан процесс ХМП и рассмотрены основные материалы для его реализации. Проведен анализ широко применяемых зарубежных полирующих материалов, их физико-механических и эксплуатационных характеристик. Обоснован выбор в качестве основного полимерного связующего для производства полировальных материалов полиэфируретанов (ПЭУ), описаны способы его структурообразования для получения как мягких, так и жестких пористых систем.

В главе 2 представлены объекты исследования, а также описаны методы исследования, включая специфические, характерные для оценки эффективности процесса ХМП (скорость планаризации, равномерность съема, дефектность полируемой пластины).

В качестве объектов исследования автор использовал полировальные материалы ведущих мировых производителей: IC 1000TM, IC 1010 TM, Politex TM, TWI-817 TM (США), Аналог IC 1000, Политан (Китай), Fujibo 804 CZM (Япония), широко используемые для обработки полупроводниковых кремниевых пластин.

На основе изучения основных технологических и эксплуатационных характеристик импортных материалов, анализа и обобщения результатов диссертант целенаправленно выбрал стратегию на разработку отечественных композиционных материалов разной структуры на основе полиуретанов с разной твердостью (мягкие и твердые).

Выбор в качестве основного пленкообразующего компонента полиуретана обоснован, многовариантными технологическими возможностями его переработки, способностью к формированию пористых структур, как основного элемента полировальных материалов для процесса ХМП, а также регулирования

их жесткости, как в процессе синтеза, так и в процессе направленной модификации композиционных материалов.

В работе использовали полиэфируретан марки Витур Р 0112 (НПО «Полимерсинтез» г. Владимир) с $MM = 30000$, линейный полимер, продукт взаимодействия 4,4' - дифенилметандиизоцианата и полиэтиленбутиленгликольадипината ($NCO:OH - 3:1$), полученный двухстадийным синтезом и пластины на основе термопластичных полиуретанов марки Витур ТМ-0533-90 (ООО НПФ «Витур», г. Владимир).

Для модификации структуры материалов на основе ПЭУ в качестве объектов исследования были выбраны нетканый материал (ОАО «Монтем») из полиэфирных волокон, растворители *N,N*-диметилформамид и глицерин, полые полимерные микросферы марки Expancel 461 DE 40 (d60) (АкзоНобель (AkzoNobel), Швеция) и оксид кремния марки Е 551.

В качестве объекта для полирования применяли пластины монокристаллического кремния диаметром 200 мм с оксидным слоем толщиной 5000Å.

В главе 3 предложена классификация полировальных материалов по их функциональному назначению и структуре, согласно которой полировальные материалы разделены на 4 основных типа: нетканые материалы, обработанные полимерным связующим; пористые пленки на несущей основе; пористые листы; пористые эластичные пленки.

Глава 4 посвящена разработке мягких полировальных материалов на основе нетканой матрицы и полимерного связующего и мягких пленочных полировальных материалов. В основу их получения положен метод фазового разделения растворов ПЭУ в среде осадителя, а также их направленная модификация с целью получения материалов с определённой конфигурацией (каплевидная) и размером пор (более 40 мкм).

В главе 5 автор представил технологию получения жестких полировальных материалов с абразивными наполнителями и полыми полимерными сферами, а также была установлена эффективность применения разработанных полировальных материалов в процессе ХМП.

Предложен механизм работы полировальных материалов, согласно которому поры большого диаметра в его поверхностном слое усиливают способность удерживать суспензию, увеличивают площадь ее контакта с неровностями на полируемой пластине, формируют более шероховатую поверхность полировального материала, позволяют кондиционеру эффективно обновлять поверхность полировального диска.

Научная новизна исследований, достоверность и обоснованность основных положений, выводов и рекомендаций. Автором выстроена научно-обоснованная логистика построения различных типов структур полимерных композиционных материалов на основе полиэфируретана с целью обеспечения высокоэффективного технологического процесса химико-механической планаризации кремниевых пластин.

Диссертантом установлены основные закономерности модификации нетканых материалов, пропитанных растворами полиэфируретанов, путем их дополнительной обработки смесью ДМФА с водой для обеспечения равномерного пленочного распределения связующего на волокне, адгезионной связи волокон поверхностного и объемных слоев, позволяющие получать мягкие полировальные материалы с высокими эксплуатационными характеристиками.

Разработан способ получения мягкого полировального материала из раствора полиэфируретана, модифицированного глицерином, представляющего собой пористую градиентную пленку с «каплевидными» порами абразивно обработанную со стороны наибольшего диаметра пор, что создало условия для накопления в них большего количества суспензии в зоне контакта между полировальным материалом и полируемой кремниевой пластиной.

Особый интерес вызывает применение автором критической технологии CO_2 для формирования равномерной пористой структуры термопластичного полиуретана и получения жестких полировальных материалов с порами менее 50 мкм.

Оригинальным можно считать создание композиционных сферопластов на основе полиуретанов с полыми полимерными микросферами и абразивным наполнителем для получения жестких полировальных сферопластов методом реакционного формования, позволяющих решить компромиссную задачу одновременного обеспечения качества и эффективности процесса ХМП без перехода с жесткого на мягкий материал.

Научная новизна диссертационной работы заключается в установлении основных закономерностей формирования заданных типов и параметров пористых структур полимерных композиционных материалов на основе полиэфируретана различными технологическими методами и установление связи с эффективностью обработки полупроводниковых кремниевых пластин в процессе ХМП.

Достоверность результатов. Научные положения выводы и рекомендации, рассматриваемой диссертации Терашкевича Д.И., логично и корректно представлены с позиций технологии создания и переработки полимерных композиционных материалов в изделия.

Использование в работе набора современных физико-химических методов исследования: атомно-силовая микроскопия, сканирующая электронная

микроскопия, ИК и КР спектроскопия, методы ДСК и ТГА, рентгеноспектроскопия, оптическая интерферометрия и лазерная дефектоскопия, позволили автору получить надежные и достоверные результаты.

Достоверность полученных результатов, сделанных на их основе выводов и практических рекомендаций не вызывает сомнений, поскольку основывается на большом объеме и статистической обработке экспериментальных данных.

Практическая значимость работы в целом не вызывает сомнений, так как в результате комплексных исследований разработаны технологии создания новых мягких и жестких полировальных полимерных композиционных материалов различной структуры на основе полиуретанов, которые практически по всем параметрам не уступают лучшим зарубежным аналогам и обеспечивают получение высококачественных кремниевых пластин для микроэлектроники.

Полученные образцы полировальных полимерных композиционных материалов различной структуры прошли апробацию в ООО «НМ-ТЕХ» и показали высокую эффективность применения для шлифования кремниевых пластин.

Рекомендации по практическому применению результатов работ и выводов. Результаты проведенных исследований могут быть использованы в организациях, специализирующихся на изготовлении изделий для микроэлектроники (ООО «НМ-Тех», АО «Гиредмет», АО «Микрон», ОАО «ИНТЕГРАЛ», ООО «Крокус Наноэлектроника», ФГУ ФНЦ «НИИСИ РАН»), а также для получения высокоточных поверхностей различных изделий специального назначения, например, ПАО «РКК «Энегррия», АО «ИСС», АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», АО «ЦНИИСМ» и федеральных государственных бюджетных учреждений высшего образования РТУ МИРЭА, РХТУ им. Д.И. Менделеева, КНИТУ, ВГТУ и др.), осуществляющих подготовку специалистов в области синтеза и технологии переработки полимерных материалов.

Полнота изложений материалов диссертационной работы. Результаты диссертационной работы прошли необходимую апробацию на научно-практических конференциях. По теме диссертационной работы было опубликовано 11 печатных работ, из которых 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 1 статья в изданиях SCOPUS, а также 7 тезисов докладов в сборниках материалов конференций. Автореферат диссертации и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации.

Замечание по диссертационной работе. Несмотря на общую положительную оценку диссертационной работы при рассмотрении возникает ряд вопросов и замечаний:

1. При описании объектов исследования (глава 2), автор не указывает, на основе чего делается выбор тех или иных полировальных материалов импортного производства и как выбирались данные марки ПЭУ?
2. Автор предлагает классификацию полировальных материалов, однако неясно, что лежит в основе данной классификации, тип структуры, ее параметры или что-то другое???
3. При оценке пористости полировальных материалов следует рассчитывать концентрацию пор на поверхности материала, которая отличается от значения общей пористости композиционного материала. Структура поверхности и объема пористого материала существенно различаются.
4. Остается неясным, почему материалы на основе ПЭТФ + ПЭУ после обработки раствором ДМФА + H₂O улучшают процесс полировки кремниевых пластин?
5. Остается неясным химический состав используемых полых полимерных микросфер.
6. Предлагаемый механизм обработки кремниевых пластин разработанными полировальными материалами на основе ПЭУ носит описательный, а не доказательный характер.
7. Кто является основными потребителями разработанных полировальных материалов? Каковы потребности в них в масштабах России?

Заключение

Указанные замечания не снижают научную и практическую значимость выполненной автором большой экспериментальной работы, позволившей разработать новые отечественные полировальные полимерные композиционные материалы на основе полиуретанов для обработки кремниевых пластин для микроэлектроники. Представленная работа, безусловно, заслуживает положительной оценки.

Диссертационная работа и автореферат оформлены в соответствии с действующими требованиями ВАК РФ.

Диссертационная работа и проведенные исследования с использованием различных методов структурного и химического анализа полимерных полировальных материалов, а также полученные результаты полностью удовлетворяют паспорту научной специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов, в части пунктов 1,2,3,6.

Диссертационная работа Терашкевича Дмитрия Игоревича «Разработка полировальных материалов на основе полиэфируретанов для химико-механической планаризации диэлектрических слоев полупроводниковых пластин» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных комплексных исследований разработаны и научно

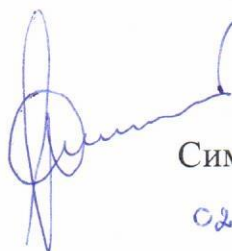
обоснованы решения по созданию технологии отечественных высокоэффективных полировальных полимерных композиционных материалов на основе полиэфируретанов для обработки полупроводниковых кремниевых пластин, которые не уступают импортным аналогам и решают важные задачи отечественной микроэлектроники.

Диссертация по своей актуальности, научной новизне и практической значимости полностью отвечает требованиям, установленным ВАК РФ к кандидатским диссертациям и соответствует требованиям пунктов 9-14 Постановления Правительства РФ «О порядке присуждения учёных степеней» № 842 от 24 сентября 2013 г. в редакции с изменениями, утвержденными Постановлением Правительства РФ от 1 октября 2018 года №1168, а её автор Терашкевич Дмитрий Игоревич заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертационную работу Терашкевича Дмитрия Игоревича были рассмотрены и единогласно одобрены на заседании от «17» октября 2023 года, протокол №3 кафедры химии и технологии переработки пластмасс и полимерных композитов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет"» (РТУ МИРЭА), институт тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова.

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой
химии и технологии переработки
пластмасс и полимерных композитов
ФГБОУ ВО "МИРЭА - Российский
технологический университет"»,
Институт тонких химических
технологий имени М.В. Ломоносова,
д-р. техн. наук, специальность 05.17.06 –
технология и переработка полимеров и
композитов, профессор
E-mail: igor.simonov1412@gmail.com
Тел. Моб. +79164926322



Симонов-Емельянов И.Д.

02.11.2023г.

Контактные данные: 119454, Москва, проспект Вернадского, 78 Телефон:
+ 7 (499) 215-65-65, rector@mirea.ru