

Отзыв
официального оппонента на диссертационную работу
Терашкевича Дмитрия Игоревича

«Разработка полировальных материалов на основе полиэфируретанов для химико–механической планаризации диэлектрических слоев полупроводниковых пластин», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.6.11 Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

Актуальность работы. Существует широкий ассортимент полировальных материалов для производства интегральных схем из кремния, которые производятся в США и Японии, однако, их приобретение для нужд отечественной микроэлектроники в условиях санкций невозможно. Это обуславливает актуальность разработки собственной технологии полировальных композитов из полимерных материалов, произведенных в России, проведения исследований их химического состава, фазовой структуры и самого технологического процесса планаризации диэлектрических слоев пластин кремния с помощью отечественных материалов.

Цель работы. Разработка технологических решений в области производства и применения пористых композитов на основе полиэфируретана для процесса химико-механической планаризации кремниевых пластин.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения и четырех глав. Обзор литературы занимает 34 страницы. Экспериментальная часть и обсуждение результатов 86 страниц. Список цитируемой литературы включает 147 ссылок. Общий объем работы – 108 страниц печатного текста, содержит 127 таблиц и 65 рисунков.

Во введении автор обосновывает актуальность темы, формулирует цель и основные задачи теоретических и экспериментальных исследований, научную новизну и практическую значимость результатов работы.

В первой главе представлен обзор научно-технической литературы и патентной документации, который логично построен, написан хорошим языком и дает

достаточно полное представления о состоянии изучаемой проблемы, составу и свойствах полировальных материалов для производства интегральных схем из кремния. В заключении обзора обоснован выбор полиэфируретанов (ПЭУ) в качестве полимерного связующего для производства отечественных марок мягких и жестких полировальных материалов.

Во второй главе приведен марочный состав полировальных материалов производства США, Японии и КНР, перечислены основные компоненты использованные соискателем для изготовления объектов исследования – лабораторных образцов мягких и жестких полировальных материалов. Описаны методы химического анализа и методики визуализации пористой структуры известных полировальных материалов и разрабатываемых полимерных композиций. Подробно описаны методики, расходные материалы, лабораторные стенды и приборы, используемые для определения эксплуатационных свойств полировальных материалов и подтверждения эффективности их применения в процессе химико-механической планаризации диэлектрических слоев кремниевых пластин.

В третьей главе на основании исследования пористой структуры композитов с использованием оптической, атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии и измерения механических свойств полировальных материалов производства США, Японии и КНР предложена классификация торговых марок полировальных материалов. Методами ИК спектроскопии, термогравиметрии и сканирующей дифференциальной калориметрии идентифицирован химический и фазовый состав импортных образцов, исследованы их теплофизические свойства и термостабильность.

Для каждого типа полировальных материалов разработан «план импортозамещения», определен состав полимерного связующего и наполнителей, предложен и реализован вариант переработки композиции в пористые материалы различной структуры.

В четвертой главе содержатся результаты получения и экспериментального исследования фазовой структуры и функциональных свойств мягких полировальных композитов с армирующими слоями из нетканых волокнистых полотен, листовых и пленочных пенополиуретанов, а также композиций, наполненных полимерными

микросферами. В этой части диссертации содержится основной творческий вклад соискателя в технологию переработки синтетических полимеров и композитов. Терашкевичем Д.И. найдены оригинальные технические решения, приводящие к неочевидным положительным результатам по эффективности планаризации диэлектрических слоев пластин кремния, которые вполне могут быть признаны изобретением. Несомненным достижением соискателя является решение компромиссной задачи одновременного обеспечения качества и эффективности химико–механической планаризации без остановки процесса для перехода с жесткого материала на мягкий.

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

- научном обосновании нескольких новых альтернативных и/или взаимодополняющих технологических решений в получении армированных неткаными полотнами, пористых и наполненных микросферами полировальных материалов на основе полиэфируретанов;

- в разработке способа дополнительной обработки нетканых материалов, пропитанных растворами полиэфируретанов водным раствором диметилформамида, обеспечивающего равномерное пленочное распределения связующего на волокне и повышение межслойной адгезии;

- в разработке способа и получении лабораторных образцов градиентной полиэфируретановой пленки с «каплевидными» порами, вскрытие которых абразивным шлифованием со стороны наибольшего сечения позволяет изготовить материал с повышенной емкостью, необходимой для накопления в порах абразивной суспензии;

Практическая значимость результатов диссертации заключается в том, что разработаны и предложены составы полимерных композиций на основе полиэфируретанов отечественных марок для полировальных материалов, используемых в производстве отечественной микроэлектроники при химико-механической обработке кремниевых пластин. Получены и испытаны в производстве лабораторные образцы новых полировальных материалов. Установлен повышенный рабочий ресурс полировальных пластин при высокой скорости съема диэлектрических слоев достигающей 3500-3750 Å/мин.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений так как они получены с применением необходимых современных методов спектрального анализа полимеров, оптической и сканирующей электронной микроскопии композитов. Структура материалов подтверждена СЭМ изображениями и достаточным количеством фотографий, а ингредиенты и полимерное связующее использованное для получения композитов произведены в России в промышленном масштабе.

Апробация работы. Результаты работы докладывались автором на 10-и международных и российских конференциях различного уровня в течение 3 лет, включая год защиты диссертации. 11 публикаций по теме диссертации включают 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России и одну статью, включенную в международную базу цитирования SCOPUS, содержание и название которой полностью совпадает с темой диссертации.

Личный вклад автора. Судя по публикациям и докладам на научных конференциях, подготовленных автором диссертации, соискатель ученой степени самостоятельно выполнял теоретические и экспериментальные исследования и формулировал выводы. Личный вклад автора диссертации в результаты исследований является определяющим.

Автореферат диссертации, публикации и доклады соискателя на конференциях в полной мере отражают основное содержание, защищаемые положения и выводы диссертационной работы

Замечания по работе. Рецензируемая диссертация написана технически грамотно, изложение материала логично структурировано в соответствии с поставленными задачами. Вместе с тем диссертация и реферат содержат ряд недостатков в представлении и оформлении результатов экспериментальных исследований.

В главе 1:

- на странице 16 схема процесса химико–механической планаризации (рис.1.9) не различима, детали не обозначены, а в подписи под рисунком нет их названий.

- на странице 24 эластичные материалы – резина и натуральный каучук названы «типичным телом Гука» и «материалом Гука»

В главе 3:

- на странице 55 первый абзац полностью повторяет список полировальных материалов и их производителей со страницы 43 в главе 2;

- на странице 56 на фотографиях (рис.3.1) и далее в тексте диссертации нет «реперов» или иных мерных знаков, позволяющих оценить размеры деталей изображений и сравнить их между собой.

- на странице 64 диссертации и на странице 8 автореферата 3 и 4 структурный тип полировальных материалов названы соответственно «листами» и «пленками», что указывает лишь на их различную толщину, а не на структуру как признак для классификации;

- на странице 82 диссертации и на странице 9-10 автореферата «эндо» пик термограммы в интервале температур 40-140 °С ошибочно интерпретирован как изменение физического состояния полимера, т.е. переход через температуру стеклования;

В главе 5:

- на странице 113 диссертации приведена формула для расчета «удерживающей способности» суспензии, которая, по-видимому, является мерой «способности пористого материала удерживать жидкость» и, судя по формуле 5.1, имеет метрическую размерность – [м]. При этом в таблице 5.2 указана размерность удерживающей способности суспензии в $\text{мкм}^3/\text{мкм}^3$

Сделанные замечания относятся к дефектам оформления диссертации и не носят принципиального характера, не влияют на общую положительную оценку научной квалификационной работы. Результаты и выводы, сделанные на основании большого и тщательно выполненного эксперимента, не вызывают сомнений в их правомерности и достаточной обоснованности.

Диссертация Терашкевича Д.И. содержит исследование объектов и проблемных вопросов, включенных в паспорт специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов:

Направление исследований п.1: физико-химические основы технологии синтетических и природных полимеров, разработка рецептуры; процессы синтеза (в

том числе нетрадиционные) в эмульсии, суспензии, процессы в расплаве и твердой фазе, очистка готового продукта и его характеристика.

Направление исследований п.2: полимерные материалы и изделия: пластмассы, волокна, каучуки, резины, пленки, покрытия, нетканые материалы, натуральные, искусственные и синтетические кожи, клеи, компаунды, композиты, бумага, картон, целлюлозные и прочие композиционные материалы, включая наноматериалы; свойства синтетических и природных полимеров, фазовые взаимодействия; исследования в направлении прогнозирования состав-свойства, технологии изготовления изделий и процессы, протекающие при этом; последующая обработка с целью придания специальных свойств; процессы и технологии модификации; вулканизация каучуков; сшивание пластмасс; фазовое разделение растворов; отверждение олигомеров.

Направление исследований п.3: физико-химические основы процессов, происходящих в материалах на стадии изготовления изделий, а также их последующей обработки, в процессе эксплуатации; моделирование технологических процессов переработки; экологические проблемы технологии синтетических и природных полимеров и изготовления изделий из них; разработка теоретических основ и способов переработки отходов производств материалов на основе синтетических и природных полимеров; получение сопутствующих веществ при переработке полимерного сырья.

Направление исследований п.6: полимерное материаловедение; методы прогнозирования и прототипирования; разработка принципов и условий направленного и контролируемого регулирования состава и структуры синтетических и природных полимерных материалов для обеспечения заданных технологических и эксплуатационных свойств; разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры; испытание и определение физико-механических и эксплуатационных характеристик синтетических и природных полимерных материалов и изделий; теоретические и прикладные проблемы стандартизации новых синтетических и природных полимерных материалов и технологических процессов их производства, обработки и переработки.

По актуальности, новизне, уровню выполнения, научной и практической ценности полученных результатов диссертационная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пункты 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.).

По результатам рецензирования диссертации Терашкевича Д.И. «Разработка полировальных материалов на основе полиэфируретанов для химико–механической планаризации диэлектрических слоев полупроводниковых пластин», можно сделать следующее заключение – диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения в области технологии переработки полимеров и композитов в пористые материалы для электронной промышленности, имеющие существенное значение для развития промышленности страны.

На основании изложенного, рецензируемая диссертационная работа по актуальности, новизне, профессиональному уровню выполнения исследований, научной и практической ценности полученных результатов полностью отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пункты 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., в действующей редакции), а ее автор – Терашкевич Дмитрий Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор кафедры инновационных материалов прайтмедиаиндустрии ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»

Кондратов

Александр Петрович

07.11.2023



Адрес ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»:
107023, Российская Федерация
г. Москва, ул. Большая Семеновская, д.38
тел. +7(495) 223-05-25 доб. 4089
e-mail: a.p.kondratov@mospolytech.ru