

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Терашкевича Дмитрия Игоревича на тему:

«РАЗРАБОТКА ПОЛИРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРУРЕТАНОВ ДЛЯ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЛАНАРИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН»

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и
композитов

Актуальность работы

Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года (от 17 января 2020 г. № 20-р) предполагает межотраслевой характер включения в научные консорциумы не только разработчиков электроники, но и производителей расходных материалов, технологического оборудования и других составляющих. Такой симбиоз в части полупроводникового производства продиктован многоэтапным процессом его реализации, включающим такие основные стадии как: химико-механическое полирование (CMP — chemical mechanical polishing), литография, нарезка полупроводниковых пластин на чипы (кристаллы) и т.д.

Работа Терашкевича Дмитрия Игоревича посвящена разработке полировальных материалов для процесса химико-механической планаризации (ХМП), который, как следует из Главы 1 диссертанта, стал активно применяться при производстве интегральных микросхем начиная с двухтысячных годов.

Технология ХМП предполагает использование расходных материалов, среди которых особое место занимают полимерные полировальные диски (polishing pads). В зависимости от целей полировки и производимого изделия, такие полировальные системы можно разделить на мягкие, включающие микропористое покрытие и волокнистую основу, и жесткие – пластины или листы с основой или без нее. Большинство полировальных материалов производят в США, Японии и Китае из полиуретанов и для них характерно наличие пористой структуры. В России нет собственного производства полировальных материалов, а их приобретение, в свете введенных санкций, затруднено или вовсе невозможно. В связи с вышесказанным задача по разработке полировальных материалов для процессов изготовления интегральных схем отечественного производства является актуальной.

Безусловным плюсом выполненной работы является то, что первая ее часть посвящена детальному структурному и химическому анализу широкого круга материалов зарубежных производителей, что позволило автору сформулировать основные теоретические подходы и предложить

технологические решения по разработке отечественных аналогов полировальных материалов для процесса ХМП.

Вышесказанное отражено в формулировке **цели работы**, которая заключается в разработке научно обоснованных подходов и технологических решений к проектированию и получению полировальных материалов на основе полиэфируретана для процесса химико-механической планаризации кремниевых пластин.

Учитывая высокие требования, предъявляемые к полупроводниковым изделиям, а также с учетом особенностей реализации процесса ХМП как совокупности химического и механического воздействия на кремниевые пластины, полировальные материалы представляют собой достаточно сложные объекты, как для проектирования их составов, так и для производства.

Автор рассматриваемой диссертации, Терашкевич Дмитрий Игоревич, на хорошем квалификационном уровне справился с обеими задачами, применив при их постановке и решении методологию направленного структурообразования, в основе которой: научно обоснованный выбор исходного полимерного связующего, в качестве которого применен полиэфируретан; использование практически всех потенциально возможных способов формирования из него пористых материалов и покрытий; модификация полимерного связующего с целью достижения определенных характеристик пористости (конфигурация, размер пор) полировальных материалов; разработка технологических решений получения мягких и жестких полировальных материалов с заранее прогнозируемой морфологией и комплексом эксплуатационных свойств, необходимых для процесса ХМП.

Практически все перечисленные подходы привели к получению новых результатов, которые нашли отражение в пунктах **научной новизны** соискателя, наиболее значимыми из которых, на мой взгляд, являются:

- предложенная классификация полировальных материалов для процесса химико-механической планаризации, учитывающая их химический состав, метод переработки полиэфируретана, способ порообразования, конфигурацию пор, а также твердость.

- разработанные условия дополнительной обработки нетканых материалов, пропитанных растворами полиэфируретанов, смесью растворитель (ДМФА) – осадитель (вода), приводящей к равномерному пленочному распределению связующего на волокне, прочной связи волокон поверхностного и объемных слоев для получения высокоэффективных мягких полировальных материалов;

- разработанный способ получения мягкого полировального материала из раствора полиэфируретана, модифицированного глицерином, представляющего собой пористую пленку с «каплевидными» порами абразивно обработанную со стороны наибольшего диаметра пор;

- установленная закономерность влияния размера пор полировального материала на показатели эффективности процесса ХМП – скорость

планаризации и равномерность съема слоя диэлектрика с полируемой пластины;

– предложенная модификация полиуретанов полыми полимерными микросферами и абразивным наполнителем для получения жестких полировальных сферопластов методом полимеризационного наполнения, позволяющих решить компромиссную задачу одновременного обеспечения качества (отсутствие дефектов на полируемой пластине) и эффективности (высокая скорость и плоскостность пластин) процесса ХМП без перехода с жесткого материала на мягкий.

Практическая значимость работы не вызывает сомнений и заключается в разработке и получении мягких и жестких полировальных материалов для химико-механической планаризации и их апробации в условиях производственной обработки полупроводниковых кремниевых пластин в ООО «НМ-ТЕХ», которая согласно полученному Акту показала высокую эффективность разработанных материалов: скорость съема 3500-3750 Å/мин; рабочий ресурс – 400 пластин; высокую плоскостность полируемой пластины с топологической нормой 250 нм; практическое отсутствие дефектов.

Достоверность работы подтверждена публикациями ее результатов в 11 печатных статьях, 4 из которых входят в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК, 1 – включена в международную базу цитирования SCOPUS, 7 статей опубликованы в материалах научных конференций различных уровней.

Диссертация по своей структуре традиционна и состоит из введения, обзора научно-технической литературы (глава 1), описания объектов и методов исследования (глава 2), экспериментальной части (главы 3 – 5), выводов, списка литературы из 216 источников, приложения (Акт), изложена на 155 страницах, содержит 86 рисунков и 19 таблиц.

Все главы диссертации по содержанию соответствуют своим названиям, материал хорошо структурирован и логично изложен. Экспериментальные данные наглядно представлены в виде рисунков и информативных таблиц. Все разделы диссертации содержат постановку проблемы, ее экспериментальное решение и теоретическое обоснование, а также краткие выводы.

Автореферат диссертации и печатные труды полностью отражают все положения и результаты диссертационной работы.

Вместе с тем по работе есть вопросы и замечания:

1. В диссертации при получении пленок с «каплевидными» порами к ним применен термин «градиентные». Что он под собой подразумевает? Имеет ли это отношение к градиентным (интегральным) системам, получаемым из полиуретанов и других полимеров?

2. Почему в качестве основного пленкообразующего для получения мягких полировальных материалов был использован полиэфируретан марки Витур Р 0112?

3. В работе для модификации полиуретанов при получении жестких полировальных материалов использованы полые полимерные микросферы с оболочкой из сополимера полиметилакрилата, поливинилиденхорида и полиакрилонитрила. Как был определен химический состав оболочки?

4. На мой взгляд, при получении жестких полировальных материалов из полиэфира (компонент А) и диизоцианата (компонент Б) с применением наполнителей, метод синтеза следовало бы называть методом полимеризационного наполнения, а не методом реакционного формования.

5. При исследовании структурной вязкости наполненных полиуретанов они вели себя как ньютоновские жидкости (рис. 5.11 диссертации). Чем можно объяснить отсутствие аномалии вязкости?

В целом, указанные замечания и поставленные вопросы не снижают положительного впечатления о работе Терашкевича Дмитрия Игоревича, которая по своему объему, научной новизне, практической значимости соответствует уровню и требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Заключение.

Диссертационная работа Терашкевича Дмитрия Игоревича на тему «Разработка полировальных материалов на основе полиэфируретанов для химико-механической планаризации диэлектрических слоев полупроводниковых пластин» является законченной научно-квалификационной работой, в которой с применением научно обоснованного подхода, включающего разработку полимерных композиций и их направленное структурообразование, получены полировальные материалы на основе полиэфируретанов, обеспечивающие эффективность обработки полупроводниковых кремниевых пластин в процессе химико-механической планаризации.

Диссертационная работа Терашкевича Дмитрия Игоревича по совокупности изложенных в ней результатов соответствует паспорту специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов в части п. 2 Полимерные материалы и изделия: композиционные материалы; исследования в направлении прогнозирования состава и свойств, технологии изготовления изделий и процессы, протекающие при этом; последующая обработка с целью придания специальных свойств; отверждение олигомеров. В части п.3 Физико-химические основы процессов, происходящих в материалах на стадии изготовления изделий, а также их последующей обработки, в процессе эксплуатации. В части п. 6 Полимерное материаловедение; методы прогнозирования и прототипирования; разработка принципов и условий направленного и контролируемого регулирования состава и структуры синтетических и полимерных материалов для обеспечения заданных технологических и эксплуатационных свойств; совершенствование методов исследования и контроля структуры; испытание и определение физико-

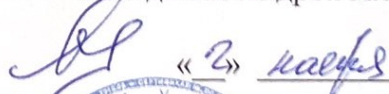
механических и эксплуатационных характеристик полимерных материалов и изделий.

По актуальности, научной новизне, практической значимости, полученным результатам и выводам диссертационная работа Терашкевича Дмитрия Игоревича на тему «Разработка полировальных материалов на основе полиэфируретанов для химико-механической планаризации диэлектрических слоев полупроводниковых пластин» соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (в редакции от 11.09.2021 г.) ВАК РФ к кандидатам диссертациям, а ее автор Терашкевич Дмитрий Игоревич заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11 Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Официальный оппонент:

Доктор химических наук (специальность
02.00.06 Высокомолекулярные соединения
(1.4.7. Высокомолекулярные соединения)),
профессор, заслуженный деятель науки РФ,
главный научный сотрудник лаборатории
полимерных материалов
ФГБУН Институт элементорганических соединений
им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук
(ИНЭОС РАН),
119334, Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1.
тел. +7 (499)135-9398
e-mail: andrey@ineos.ac.ru

Аскадский Андрей Александрович

 «2» кабря 2023г.

Подпись Аскадского А.А. заверяю

Ученый секретарь ИИЭОС РАН
к.х.н. Тулакова Е.Н.

