



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «Московский институт
электронной техники»**

Шокина пл., д.1, г. Зеленоград, Москва, 124498
Тел.: +7(499) 731 44 41 Факс: +7(499) 710 22 33
E-mail: netadm@miet.ru <http://www.miet.ru>

ОГРН 1027739615584

15.08.2025 № 94-35-87/4-8
на №

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «Московский институт
электронной техники», к.т.н.



Дронов А.А.

2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Соломатина Максима Андреевича на тему «Высокочувствительные и высокоселективные газоаналитические однокристалльные мультисенсорные линейки на основе наноразмерных оксидных материалов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств

Диссертационная работа Соломатина Максима Андреевича посвящена изучению газоаналитических мультисенсорных линеек хеморезистивного типа, изготовленных на одном кристалле, в которых в качестве газочувствительных слоев применяются различные оксиды металлов, при их функционировании в широком диапазоне рабочих температур и УФ-облучении с целью анализа хеморезистивных характеристик – чувствительности и селективности при воздействии различных тестовых газов.

Актуальность работы

В настоящее время разработка газо-сенсорных устройств в рамках микро- и нанoeлектронного приборостроения является одним из наиболее востребованных направлений науки и техники, что обусловлено необходимостью контроля качества воздуха вследствие значительного увеличения плотности населения, стремительного индустриального роста и социально-экономического развития общества. Данные устройства востребованы на химических, нефтегазовых и горнодобывающих предприятиях во время добычи, транспортировки, переработки и хранения газов, в парфюмерно-косметической и целлюлозно-бумажной промышленности, а также в фармакологии и медицине – для неинвазивной диагностики заболеваний путем обнаружения в выдыхаемом воздухе соответствующих молекул-маркеров. Наиболее простым измерительным средством являются дискретные газовые сенсоры,

002899

поскольку они характеризуются сравнительно малыми размерами и имеют низкую себестоимость в производстве. Для разработки таких сенсоров наиболее часто применяют оксиды переходных металлов, в частности, диоксид олова и оксид цинка. При этом основными недостатками таких сенсоров являются малая избирательность (селективность) к различным газам и высокое энергопотребление, определяемое необходимостью их нагрева до 250-400 °С, что заметно ограничивает применение этих устройств при решении современных прикладных задач, в том числе связанных с разработкой автономного аналитического оборудования. Селективности к газам добиваются объединением дискретных сенсоров в мультисенсорные линейки и обработкой полученных с них отличающихся сигналов методами машинного обучения, имитируя принципы работы обонятельной системы млекопитающих. Такие линейки логично формировать на одном кристалле для миниатюризации, унификации и снижения себестоимости в рамках массового микроэлектронного производства. Снижение энергопотребления может быть достигнуто активацией хеморезистивного эффекта (изменения проводимости при взаимодействии с газами) в оксидах посредством их УФ-облучения с энергией, сопоставимой с шириной запрещенной зоны этих полупроводниковых материалов. Для эффективного взаимодействия оксидов с молекулами газов уместно применять газочувствительные слои, содержащие структуры, геометрические размеры которых сопоставимы с приповерхностной длиной Дебая, находящейся в нанометровом диапазоне.

В диссертационной работе Соломатина М.А. были решены задачи формирования однокристалльных мультисенсорных линеек на основе наноразмерных оксидных материалов, исследованы электрические характеристики этих линеек при постоянном и переменном токе, изучены особенности хеморезистивного эффекта, в том числе при активации УФ-излучением при температурах, близких к комнатной.

Таким образом, тема работы является актуальной как с фундаментальной, так и с практической точки зрения и соответствует основным тенденциям развития элементной базы микро- и наноэлектроники.

Новизна исследования и полученных результатов, сформулированных в диссертации

В ходе выполнения работы соискателем получены важные результаты, обладающие научной новизной, а именно:

1) показано, что облучение ИК-лазером ведет к сухому травлению поликристаллического слоя диоксида олова, что уменьшает толщину исходного слоя, способствует появлению фазы монооксида олова и сопровождается уменьшением удельной площади поверхности, что в совокупности влияет на величину хеморезистивного отклика;

2) выявлено, что на характерные времена хеморезистивного отклика/восстановления поликристаллического слоя диоксида олова при воздействии спиртов и кетонов, которые рассчитаны путем аппроксимации экспериментальной кривой зависимости величины сопротивления слоя от времени,

существенно влияет температура нагрева слоя диоксида олова независимо от его обработки ИК-лазером;

3) обнаружено, что при увеличении времени электрохимического осаждения наноструктурированного слоя оксида цинка в диапазоне 250–1150 с хеморезистивный отклик слоя к парам спиртов при активации хеморезистивного эффекта путем нагрева до 300 °С возрастает;

4) отмечено, что применение УФ-излучения с длиной волны 380 нм является эффективной методикой активации хеморезистивного эффекта в мезо-наноструктурированных слоях оксида цинка, синтезированных методом электрохимического осаждения, в диапазоне температур от комнатной до 150 °С, что является ключевым фактором для разработки газо-сенсорных элементов с низким энергопотреблением;

5) установлено, что в случае электрохимического осаждения оксидов Co, Mn, Ni и Zn на единый кристалл с целью получения мульти-оксидной мультисенсорной линейки затруднено получение моно-оксидных слоев Co и Mn из-за рассредоточения остатков оксидов Ni и Zn малой концентрации по всем элементам мультисенсорной линейки, что приводит к возникновению гетеропереходов в них.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

1. Разработаны физико-технологические основы создания газоаналитической однокристалльной мультисенсорной линейки на основе слоя поликристаллического диоксида олова, обработанного ИК-лазером, хеморезистивные свойства которого эффективно активируются либо нагревом до температур 260–350 °С, либо облучением УФ-диодом с длиной волны 366 нм, и могут быть контролируемо варьированы путем вариации мощности ИК-лазера.

2. Предложена методика снижения температуры функционирования и энергопотребления газоаналитической однокристалльной мультисенсорной линейки на основе мезо-наноструктурированных слоев оксида цинка, синтезированных методом электрохимического осаждения при варьировании плотности заряда, путем применения УФ-диодов с длиной волны 380 нм.

3. Разработаны физико-технологические основы создания мульти-оксидной однокристалльной мультисенсорной линейки на основе мезо-наноструктурированных слоев оксидов Co, Mn, Ni и Zn, имеющих различный характер температурных зависимостей хеморезистивных откликов и оптимальную рабочую температуру нагрева около 250 °С, 300 °С, 300 °С и 350 °С, соответственно, что позволяет благодаря градиентному нагреву добиться максимального отклика и селективности к парам различных спиртов в диапазоне концентраций от 0,1 ppm до 10 ppm.

4. Предложены и обоснованы при помощи просвечивающей электронной микроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии эквивалентные схемы для моделирования импеданса сенсорных элементов на основе Co, Mn, Ni и Zn, сформированных электрохимическим методом как в виде моно-оксидных, так и в виде мульти-оксидных мультисенсорных линеек, что позволяет проводить анализ

электрических и хеморезистивных характеристик оксидных сенсоров, измеренных на переменном токе.

5. Полученные соискателем результаты могут быть использованы специалистами в таких областях, как микросенсорика и микроэлектромеханические системы, системы мониторинга окружающей среды, интернет вещей и материаловедение, работающими на предприятиях соответствующего профиля как, например, ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск), НПЦ «Газотрон-С» (АО «НПП «Алмаз») (г. Саратов), ООО «Геофизмаш» (г. Саратов), ООО Завод «Газпроммаш» (г. Саратов), АО «Микрон» (г. Зеленоград), АО «Ангстрем» (г. Зеленоград), ООО «НМ-Тех» (г. Зеленоград). Результаты работы могут быть внедрены в учебный процесс в высших учебных заведениях, ведущих подготовку в области микро- и нанoeлектроники: Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. и др.

Обоснованность и достоверность полученных результатов, сформулированных положений, выводов и заключения

Обоснованность и достоверность полученных результатов, сформулированных положений, выводов и заключения подтверждаются:

- соответствием современным представлениям о физических процессах работы полупроводниковой сенсорной электроники;
- комплексным и корректным применением в экспериментах общепризнанных аналитических методик и численных методов;
- использованием сертифицированного измерительного оборудования для проведения экспериментальных исследований;
- согласованностью с результатами других исследователей;
- соответствием экспериментальных данных расчетам;
- практической реализацией результатов, имеющих научную новизну, в действующих образцах газоаналитических устройств;
- публикациями в ведущих российских и международных рецензируемых периодических научных изданиях;
- выступлениями на профильных всероссийских конференциях, в том числе с международным участием.

Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав с выводами и заключения. Материал диссертационной работы изложен на 186 страницах машинописного текста, включая 94 рисунка, 9 таблиц и список литературы из 211 наименований, включающий работы автора. Текст диссертации изложен стилистически грамотно, в соответствии с требованиями, предъявляемыми к кандидатским диссертациям.

Во Введении отражена актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи, описаны научная новизна, практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится краткий обзор литературы по тематике работы. Показано, что в настоящее время имеется необходимость в газоаналитических устройствах для решения широкого спектра прикладных задач. Отмечено, что наиболее перспективными для анализа газовой среды являются газовые сенсоры хеморезистивного типа. В частности, наиболее широкое применение в таких сенсорах получили оксиды переходных металлов n-типа – диоксид олова и оксид цинка. В то же время, указано на множество других материалов с целью их применения в газовой сенсорике. Анализ научных работ показывает, что оксиды металлов p-типа, такие как, оксиды кобальта, никеля и марганца, обладают газочувствительностью к различным классам летучих органических соединений, что представляет интерес для разработки на их основе сенсорных устройств. Указаны недостатки газочувствительных металло-оксидных материалов и сенсоров на их основе, а также пути их исправления. Приводится информация о перспективной и сравнительно малоизученной технологии электрохимического осаждения, которая позволяет значительно упростить технологический процесс и снизить себестоимость производства сенсорных устройств. Данная технология послужила основой для проведения исследований, описанных в третьей и четвертой главах диссертационной работы.

Во второй главе описана реализация однокристалльной мультисенсорной линейки на основе поликристаллического слоя SnO_2 , а также исследование её физических и хеморезистивных характеристик. Слой SnO_2 был сегментирован на шесть участков и обработан твердотельным неодимовым ИК-лазером (1,064 мкм). Описаны результаты исследования поликристаллического слоя SnO_2 с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Было установлено, что увеличение тока лазера при обработке слоя SnO_2 ведет к устойчивому уменьшению толщины слоя до единиц микрометров. Результаты исследования показали, что лазерная обработка не только вела к травлению поликристаллического слоя SnO_2 , но также приводила к модифицированию его кристаллической структуры с появлением фазы SnO , что также было подтверждено данными рентгеновской дифракции, спеканию частиц в более крупные агломераты и легированию Pt из области электродов. В главе приводится описание лабораторной установки, на которой проводились исследования электрических и хеморезистивных характеристик однокристалльной мультисенсорной линейки на основе поликристаллического слоя SnO_2 . Приведены зависимости величины и времени хеморезистивного отклика к этанолу и ацетону в смеси с осушенным воздухом в концентрациях 9,5 ppm и 9,8 ppm, соответственно, от температуры нагрева в диапазоне 68–350 °C для сенсорных элементов на основе обработанного лазером SnO_2 при 26,7 А и исходного SnO_2 , а также при активации УФ-облучением различной мощности (2,2–346,8 мВт). Установленным эффектам

дано исчерпывающее объяснение. Анализ полученных результатов позволил выявить оптимальные параметры работы однокристалльной мультисенсорной линейки на основе поликристаллического слоя SnO_2 : в режиме нагрева – при температуре 310 °С, в режиме УФ-облучения – при мощности 181,3 мВт. При этих режимах был изучен хеморезистивный отклик мультисенсорной линейки к парам различных спиртов и кетонов в диапазоне концентраций от 100 ppb до 9,8 ppm. Было установлено, что величина отклика выше в режиме нагрева, а отношение сигнала к шуму – выше в режиме УФ-облучения. При этом в обоих случаях отношение сигнала к шуму превышает величину, равную 3, установленную как порог детектирования. Селективность однокристалльной мультисенсорной линейки на основе слоя SnO_2 была изучена через использование линейного дискриминантного анализа (ЛДА) к совокупности полученных откликов. Кластеры, соответствующие всем анализам, хорошо разделены и не пересекаются между собой, ярко выражены две большие группы кластеров, соответствующие спиртам и кетонам. Для исследования механизма электронного транспорта в поликристаллическом слое SnO_2 была проведена спектроскопия импеданса в диапазоне частот 10^{-2} – 10^6 Гц. Измерения были выполнены в диапазоне температур 27–310 °С при воздействии этанола и ацетона в концентрациях 9,5 и 9,8 ppm, соответственно, и осушенного воздуха. По результатам моделирования зависимостей импеданса от частоты переменного тока эквивалентной схемой можно отметить, что при наличии молекул целевых аналитов проводимость поликристаллического слоя SnO_2 увеличивается, а емкость незначительно уменьшается. Было экспериментально установлено, что механизм переноса заряда для обработанного лазером слоя SnO_2 соответствует механизму корреляционных барьерных прыжков (СВН), поскольку присутствие молекул целевых аналитов снижает величину потенциальных барьеров. Температура стеклования также уменьшается при адсорбции аналитов, а время релаксации, наоборот, увеличивается, что объясняется автором через появление дополнительных метастабильных энергетических уровней в запрещенной зоне кристалла.

В третьей главе описано изготовление и исследование электрических и хеморезистивных характеристик однокристалльной мультисенсорной линейки на основе слоев ZnO , полученных методом электрохимического осаждения при различных временах процесса синтеза, который включал восстановление нитратов с образованием анионов гидроксильных групп, приводящее к увеличению pH вблизи приэлектродного слоя и дальнейшему выпадению осадка оксида, в результате чего на поверхности мультиэлектродного чипа формировался пространственно-неоднородный оксидный слой. С помощью СЭМ было обнаружено, что морфология наноструктур ZnO в ходе синтеза определяется плотностью заряда, задаваемой временем осаждения. Хеморезистивный отклик сенсорных элементов однокристалльной мультисенсорной линейки на основе слоев ZnO исследован в диапазоне температур 20–350 °С при дополнительном облучении УФ-светодиодом с длиной волны 380 нм. Было установлено, что УФ-излучение наиболее эффективно при температурах 20–150 °С и гораздо сильнее воздействует на слои ZnO ,

синтезированные в течение малых времен (400–700 с). Селективность однокристалльной мультисенсорной линейки на основе слоев ZnO была изучена методом ЛДА. Было обнаружено, что кластеры мультисенсорных сигналов существенно разделяются, что позволяет рассматривать данную линейку как пригодную для анализа газового состава.

В четвертой главе изложено изготовление мульти-оксидной мультисенсорной линейки методом электрохимического осаждения оксидов Co, Ni, Mn и Zn на одном кристалле. По результатам ПЭМ и энергодисперсионного анализа было отмечено, что для оксидов Ni, Mn и Co характерна контаминация оксидом Zn, отличающегося высокой реакционной способностью, дополнительно увеличенной нагревом электролита при осаждении до 80 °C, и его синтезом после этапов формирования других оксидов. Исследование зависимости сопротивления сенсорных элементов от концентрации паров изопропанола показало, что для сенсорного элемента на основе оксида Zn при воздействии молекул изопропанола сопротивление уменьшается, а в случае оксидов Co, Ni и Mn – увеличивается. С целью исследования хеморезистивного эффекта в мезо-наноструктурированных слоях оксидов Co, Ni, Mn и Zn была выполнена спектроскопия импеданса при температуре нагрева образцов до 300 °C. Экспериментальные данные спектроскопии импеданса были промоделированы эквивалентными электрическими схемами, содержащими R-CPE-элементы. Так, для оксидов Co, Ni и Mn были использованы два R-CPE элемента. При этом для моделирования импеданса сенсорного элемента на основе оксида Zn использовался один R-CPE элемента. Величина CPE первого элемента во всех оксидах близка к 1, что аналогично емкости с величиной $\sim 10^{-11}$ Ф, соответствующей «объему» кристаллитов, составляющих слой. При этом величина CPE второго элемента лежит в диапазоне 0,75–0,8, что указывает на возникновение диффузионных процессов, а соответствующая емкость равна $\sim 10^{-9}$ Ф, что позволяет сопоставить этот элемент эквивалентной схемы с появлением межкристаллитных границ раздела. Это указывает на формирование гетероструктур по причине контаминации оксидом Zn в сенсорных элементах на основе оксидов Co, Ni и Mn в отличие от элемента на основе оксида Zn, который не содержит примесей. Изменение импеданса в этих сенсорных элементах при экспозиции к изопропанолу соответствует проведенным исследованиям на постоянном токе – уменьшение импеданса в оксиде Zn и увеличение в трех других оксидах. Возможность распознавания аналитов с помощью мульти-оксидной линейки было оценено путем обработки методом ЛДА совокупности хеморезистивных откликов. При этом было обнаружено, что в режиме градиентного нагрева чипа 290–350 °C кластеры, соответствующие аналитам, хорошо разделяются и удалены друг от друга на большие расстояния, чем соответствующие кластеры, полученные при функционировании чипа в режиме постоянного нагрева до 300 °C. Автором делается заключение, что эффективное приложение градиентного нагрева к мульти-оксидной мультисенсорной линейке, при котором хеморезистивный эффект в мезо-наноструктурированных слоях оксидов Zn, Mn, Ni и Co активируется при различных

температурах, можно рассматривать предпочтительным для разработки газоаналитического устройства на основе мульти-оксидной мультисенсорной линейки.

В **Заключении** сформулированы основные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе.

Все основные результаты диссертации широко представлены в опубликованных 23 печатных работах, из которых 4 статьи в рецензируемых зарубежных научных журналах, включенных в международные базы цитирования (Scopus, Web of Science), 1 статья в рецензируемом российском научном журнале «Нелинейный мир», включенном в перечень ВАК, а также 7 тезисов и материалов докладов на научно-технических конференциях. Новизна прикладных результатов защищена 6 патентами Российской Федерации и 5 патентами Евразийской патентной организации (ЕАПО) на изобретения. Автореферат и опубликованные работы достаточно полно и точно отражают содержание диссертации.

К диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Отсутствует обоснование выбора в качестве функциональной платформы кремниевого чипа на основе 38 сенсорных элементов как мультисенсорной линейки. Является ли оптимальным выбор такого количества сенсорных элементов с точки зрения повышения селективности, уменьшения энергопотребления и снижения габаритных размеров мультисенсорной линейки?

2. В Главе 3 газочувствительные характеристики газоаналитической однокристалльной мультисенсорной линейки на основе наноструктурированных слоев оксида цинка исследуются при воздействии УФ-облучения с длиной волны 380 нм, в то время как в Главе 2, посвященной газоаналитической однокристалльной мультисенсорной линейке на основе поликристаллического слоя диоксида олова, использовано УФ-облучение с длиной волны, равной 365 нм. Автор не поясняет в работе данное различие. Можно предположить, что более целесообразным являлось бы применение УФ-диодов с меньшей длиной волны.

3. Все газо-селективные характеристики исследуемых мультисенсорных линеек были изучены при приложении только одного метода распознавания образов – линейного дискриминантного анализа (ЛДА). Было бы желательным провести сравнение полученных результатов с использованием и других методов машинного обучения, включая искусственные нейронные сети.

4. В Главе 4 на Рисунке 4.14 для более корректного сравнения количественной меры газо-селективности как расстояние Махаланобиса в ЛДА-пространстве следовало бы привести результаты применения градиентного нагрева, в том числе и для моно-оксидных линеек (по аналогии с мульти-оксидной линейкой).

5. Для описания электронного транспорта в поликристаллическом слое диоксида олова в Главе 2 было бы желательным также проанализировать возможность применения модели прыжкового транспорта с переменной длиной прыжка (VRH-механизм).

6. Непонятно почему на Рисунке 2.40 (Глава 2) приведены величины потенциальных барьеров (W), рассчитанные до 3 знака после запятой, тогда как в тексте эти величины округлены до 2 знака.

7. В Главе 1 в нумерации представленных рисунков пропущен номер 1.13, и далее подписи к Рисункам 1.14 (стр. 39), 1.15 (стр. 40), 1.16 (стр. 42) указаны неверно.

Тем не менее, приведенные замечания не снижают научно-практическую значимость проведенного исследования и положительную оценку диссертационной работы. Их следует рассматривать в качестве рекомендаций по дальнейшему направлению исследований.

Заключение

Диссертация Соломатина Максима Андреевича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Высокочувствительные и высокоселективные газоаналитические однокристалльные мультисенсорные линейки на основе наноразмерных оксидных материалов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальных научно-прикладных задач, связанных с формированием газоаналитических однокристалльных мультисенсорных линеек, способных детектировать и распознавать ряд летучих органических соединений при низком энергопотреблении.

Полученные автором результаты исследования и предложенные методики формирования и функционального применения мультисенсорных газоаналитических устройств имеют существенное значение для российской науки и практики в области разработки, в частности, новых систем мониторинга окружающей среды.

Материалы, представленные в работе, соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств:

1) разработка и исследование физических основ создания новых и совершенствования существующих приборов, интегральных схем, изделий микро- и нанoeлектроники, твердотельной электроники, дискретных радиоэлектронных компонентов, микроэлектромеханических систем (МЭМС), нанoeлектромеханических систем (НЭМС), квантовых устройств, включая оптоэлектронные приборы и преобразователи физических величин (п. 1);

2) исследование, моделирование и разработка технологических процессов и маршрутов изготовления, методов измерения характеристик и совершенствования изделий по п. 1 (п. 4);

3) исследование, проектирование и моделирование изделий, исследование их функциональных и эксплуатационных характеристик по п. 1, включая вопросы качества, долговечности, надежности и стойкости к внешним воздействующим факторам, а также вопросы их эффективного применения (п. 5).

Диссертация соответствует требованиям пп. 9-11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства

Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (с изменениями и дополнениями),
предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Автор работы, Соломатин Максим Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и утвержден на заседании Научно-образовательного центра «Зондовая микроскопия и нанотехнология» (НОЦ ЗМНТ) «05» августа 2025 г. (протокол № 1) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

Директор научно-образовательного центра
«Зондовая микроскопия и нанотехнология»,
кандидат технических наук (специальность 05.27.01.
– Твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на
квантовых эффектах)

КН Царик Константин Анатольевич
05.08.2025

05.08.2025

Подпись Царика К.А. удостоверяю
Начальник ОРП


Данилова Екатерина Ивановна
05.08.2025

05.08.2025

Федеральное государственное автономное образовательное учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Адрес: 124498, Россия, Москва, Зеленоград, Площадь Шокина, дом

Контактный телефон: +7 499 731-44-41

Адрес электронной почты: netadm@miee.ru

Веб-сайт: <https://miet.ru>

