

**ПРОТОКОЛ**  
**совместного заседания Научного совета Отделения нанотехнологий**  
**и информационных технологий (далее – ОНИТ) РАН «Фундаментальные**  
**проблемы элементной базы информационно-вычислительных**  
**и управляющих систем и материалов для ее создания»**  
**и Научного совета РАН по материалам и наноматериалам**  
**по теме «Импортозамещение материалов для микроэлектроники»**

**ДАТА И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:** 31 мая 2023 г. с 10:00 до 15:55, г. Москва, Ленинский пр-т, 32А, здание РАН, корпус Г, Синий зал.

**ФОРМАТ ПРОВЕДЕНИЯ:** смешанный – очный и дистанционный (онлайн в SberJazz).

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВОВАЛИ:**

Председатель Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», президент РАН, академик РАН Г.Я. Красников.

Председатель Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, вице-президент РАН, академик РАН С.М. Алдошин.

Заместитель председателя Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», заместитель руководителя приоритетного технологического направления АО «НИИМЭ», член-корреспондент РАН Е.С. Горнев.

**УЧАСТВОВАЛИ:**

*От Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной  
базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для  
ее создания»*

*Члены Бюро Совета*

- |  |   |
|--|---|
| 1. Красников Геннадий Яковлевич,<br>академик РАН       | председатель Совета, президент РАН,<br>руководитель приоритетного<br>технологического направления<br>по электронным технологиям,<br>генеральный директор АО «НИИМЭ»<br>(очно) |
| 2. Горнев Евгений Сергеевич,<br>член-корреспондент РАН | заместитель председателя Совета,<br>заместитель руководителя<br>приоритетного технологического<br>направления АО «НИИМЭ» (очно)   |
| 3. Никитов Сергей Аполлонович,<br>академик РАН         | директор ИРЭ им. В.А. Котельникова<br>РАН (очно)  |

- |  |  |
|--|--|
| 4. Чаплыгин Юрий Александрович, академик РАН               | президент НИУ МИЭТ (онлайн)  |
| 5. Бородин Владимир Алексеевич, член-корреспондент РАН     | заместитель генерального директора по развитию ФГУП ЭЗАН, заведующий лабораторией управляемого роста кристаллов ИФТТ РАН (очно)              |
| 6. Левченко Александр Алексеевич, член-корреспондент РАН   | директор ИФТТ РАН (онлайн)   |
| 7. Рощупкин Дмитрий Валентинович, член-корреспондент РАН   | и.о. директора ИПТМ РАН (очно)   |
| 8. Гамкрелидзе Сергей Анатольевич, доктор технических наук | директор ИСВЧПЭ РАН (онлайн)   |
| 9. Тельминов Олег Александрович, кандидат технических наук | ученый секретарь Совета, начальник отдела перспективных исследований АО «НИИМЭ», доцент базовой кафедры микро- и нанoeлектроники МФТИ (очно) |

*Члены Совета*

- |   |  |
|---|--|
| 10. Асеев Александр Леонидович, академик РАН                                | главный научный сотрудник ИФП СО РАН (очно)  |
| 11. Горбачевич Александр Алексеевич, академик РАН                           | заведующий лабораторией ФИАН, заведующий кафедрой квантовой физики и нанoeлектроники НИУ МИЭТ, заведующий лабораторией АО «НИИМЭ» (очно) |
| 12. Латышев Александр Васильевич, академик РАН                              | директор ИФП СО РАН (онлайн)   |
| 13. Сауров Александр Николаевич, академик РАН                               | директор ИНМЭ РАН (онлайн)   |
| 14. Егоров Антон Юрьевич, член-корреспондент РАН                            | технический директор ООО «Коннектор Оптикс», профессор Университета ИТМО, проректор по науке СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова (онлайн)        |
| 15. Иванов Виктор Владимирович, член-корреспондент РАН                      | директор Института квантовых технологий МФТИ (очно)  |
| 16. Рыжий Виктор Иванович, член-корреспондент РАН                           | главный научный сотрудник ИСВЧПЭ РАН (онлайн)  |
| 17. Оганов Артем Ромаевич, профессор РАН, доктор физико-математических наук | профессор Сколтеха, заведующий кафедрой материаловедения полупроводников и диэлектриков НИТУ «МИСиС» (очно)                              |
| 18. Ронжин Андрей Леонидович, профессор РАН, доктор технических наук        | директор СПб ФИЦ РАН (онлайн)  |

- |   |  |
|---|--|
| 19. Абгарян Каринэ Карленовна,<br>доктор физико-математических<br>наук      | главный научный сотрудник,<br>руководитель отдела ФИЦ ИУ РАН,<br>профессор факультета вычислительной<br>математики и кибернетики МГУ имени<br>М.В. Ломоносова (очно) |
| 20. Аветисов Игорь Христофорович,<br>доктор химических наук                 | заведующий кафедрой РХТУ им.<br>Д.И. Менделеева (онлайн)   |
| 21. Акчурин Рауф Хамзинович,<br>доктор технических наук                     | пенсионер (онлайн)   |
| 22. Бадамшина Эльмира Рашатовна,<br>доктор химических наук                  | заместитель директора ФИЦ ПХФ<br>и МХ РАН (очно)   |
| 23. Воротилов Константин<br>Анатольевич,<br>доктор технических наук         | директор НОЦ «Технологический<br>центр» РТУ МИРЭА, профессор РТУ<br>МИРЭА (онлайн)   |
| 24. Воротынцев Владимир<br>Михайлович,<br>доктор химических наук            | профессор ФГБОУ<br>ВО «Нижегородский государственный<br>технический университет им.<br>Р.Е. Алексеева» (очно)  |
| 25. Киселёва Надежда Николаевна,<br>доктор химических наук                  | заведующая лабораторией<br>полупроводниковых материалов ИМЕТ<br>РАН (онлайн)   |
| 26. Мальцев Петр Павлович,<br>доктор технических наук                       | главный научный сотрудник ИСВЧПЭ<br>РАН (очно)   |
| 27. Попов Владимир Павлович,<br>доктор физико-математических<br>наук        | заведующий лабораторией физических<br>основ материаловедения кремния ИФП<br>СО РАН (онлайн)  |
| 28. Соболев Николай Алексеевич,<br>доктор физико-математических<br>наук     | ведущий научный сотрудник ФТИ им.<br>А.Ф. Иоффе (онлайн)   |
| 29. Тормасов Александр Геннадьевич,<br>доктор физико-математических<br>наук | ректор АНО ВО «Университет<br>Иннополис» (онлайн)  |
| 30. Кобелева Светлана Петровна,<br>кандидат физико-математических<br>наук   | доцент кафедры полупроводниковой<br>электроники и физики<br>полупроводников НИТУ «МИСиС»<br>(очно)   |

*От Научного совета РАН по материалам и наноматериалам*

*Члены Бюро Совета*

- |   |   |
|---|---|
| 31. Алдошин Сергей Михайлович,<br>академик РАН  | председатель Совета, вице-президент<br>РАН, научный руководитель ФИЦ<br>ПХФ и МХ РАН (очно) |
| 32. Бражкин Вадим Вениаминович,<br>академик РАН | директор ИФВД РАН (очно)  |

33. Леонтьев Леопольд Игоревич,  
академик РАН профессор кафедры  
энергоэффективных  
и ресурсосберегающих промышленных  
технологий НИТУ «МИСиС» (очно)
34. Ляхов Николай Захарович,  
академик РАН главный научный сотрудник ИХТТМ  
СО РАН (очно)
35. Алымов Михаил Иванович,  
член-корреспондент РАН директор ИСМАН (очно)
36. Гветадзе Рамаз Шалвович,  
член-корреспондент РАН директор НИИ стоматологии ФГБОУ  
ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова  
Минздрава России (очно)
37. Карпов Михаил Иванович,  
член-корреспондент РАН заместитель председателя Совета,  
заведующий лабораторией  
материаловедения ИФТТ РАН (очно)
38. Бадамшина Эльмира Рашатовна,  
доктор химических наук ученый секретарь Совета, заместитель  
директора ФИЦ ПХФ и МХ РАН  
(очно)

*Члены Совета*

39. Бойнович Людмила Борисовна,  
академик РАН главный научный сотрудник  
лаборатории поверхностных сил ИФХЭ  
РАН (онлайн)
40. Бузник Вячеслав Михайлович,  
академик РАН главный научный сотрудник ИОНХ  
РАН (онлайн)
41. Дорохов Алексей Семенович,  
академик РАН профессор кафедры инженерной  
и компьютерной графики ФГБОУ  
ВО РГАУ-МСХА имени  
К.А. Тимирязева (очно)
42. Шевченко Владимир Ярославович,  
академик РАН заведующий лабораторией ИХС РАН  
(онлайн)
43. Буланов Андрей Дмитриевич,  
член-корреспондент РАН директор ИХВВ РАН (онлайн)
44. Иванов Виктор Владимирович,  
член-корреспондент РАН директор Института квантовых  
технологий МФТИ (очно)
45. Иванов Владимир Константинович,  
член-корреспондент РАН директор ИОНХ РАН (очно)
46. Куличихин Валерий Григорьевич,  
член-корреспондент РАН заведующий лабораторией ИНХС РАН  
(очно)
47. Максимов Антон Львович,  
член-корреспондент РАН директор ИНХС РАН (очно)
48. Мулюков Радик Рафикович,  
член-корреспондент РАН научный руководитель ИПСМ РАН  
(очно)
49. Якобовский Михаил Владимирович,  
член-корреспондент РАН заместитель директора по научной  
работе ИПМ им. М.В. Келдыша РАН  
(очно)

50. Оганов Артем Ромаевич, профессор РАН, доктор физико-математических наук профессор Сколтеха, заведующий кафедрой материаловедения полупроводников и диэлектриков НИТУ «МИСиС» (очно)
51. Хаширова Светлана Юрьевна, профессор РАН, доктор химических наук и.о. проректора по научно-исследовательской работе Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова (онлайн)
52. Валиев Руслан Зуфарович, доктор физико-математических наук директор НИИ Физики перспективных материалов, заведующий кафедрой нанотехнологий УГАТУ (онлайн)
53. Волова Татьяна Григорьевна, доктор биологических наук заведующая лабораторией ИБФ СО РАН (онлайн)
54. Колобов Юрий Романович, доктор физико-математических наук заведующий лабораторией физико-химической инженерии композиционных материалов ФИЦ ПХФ и МХ РАН (очно)
55. Краснянский Михаил Николаевич, доктор технических наук ректор ФГБОУ ВО «ТГТУ» (очно)
56. Мерзликин Александр Михайлович, доктор физико-математических наук заместитель директора по научной работе ИТПЭ РАН (очно)
57. Нелюб Владимир Александрович, доктор технических наук проректор по научной работе Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (онлайн) заместитель директора ИСМАН (очно)
58. Санин Владимир Николаевич, доктор технических наук
59. Ткачев Алексей Григорьевич, доктор технических наук заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «ТГТУ» (очно)
60. Шайтан Константин Вольдемарович, доктор физико-математических наук руководитель группы молекулярного моделирования МГУ имени М.В. Ломоносова (очно)
61. Шикин Александр Михайлович, доктор физико-математических наук профессор, заведующий кафедрой электроники твердого тела кафедры физики СПбГУ (онлайн)

*От Министерства промышленности и торговли Российской Федерации,  
г. Москва*

62. Гапонов Александр Алексеевич начальник отдела развития ЭКБ Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России (онлайн)

63. Юлгушев Шамиль Рюстямович                      начальник департамента химико-технологического комплекса и биоинженерных технологий Минпромторга России (очно)

*От Автономной некоммерческой организации «РТ-Национальные инициативы», г. Москва*

64. Тихомирова Анастасия Викторовна            аналитик направления аналитики и методологии национальных проектов АНО «РТ-НИ» (очно)

*От InnoMark LLC (США)*

65. Ерохин Юрий Николаевич                      сотрудник InnoMark LLC (очно)

*От Института программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук, Ярославская обл.*

66. Непейвода Николай Николаевич,            главный научный сотрудник ИПС им. доктор физико-математических наук                      А.К. Айламазяна РАН (онлайн)

*От Института физики микроструктур РАН — филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», г. Нижний Новгород*

67. Красильник Захарий Фишелевич,            руководитель научного направления член-корреспондент РАН                      «Физика микро- и наноструктур» ИФМ РАН – филиала ИПФ РАН (онлайн)
68. Новиков Алексей Витальевич,            директор ИФМ РАН – филиала ИПФ доктор физико-математических наук                      РАН (онлайн)

*От Объединенного ученого совета Сибирского отделения Российской академии наук по химическим наукам, г. Новосибирск*

69. Лаврова Галина Валентиновна,            ученый секретарь ОУС СО РАН кандидат химических наук                      по химическим наукам, начальник отдела химии и наук о материалах ИХТТМ СО РАН (онлайн)

*От Отделения химии и наук о материалах Федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук», г. Москва*

70. Егоров Михаил Петрович,                      академик-секретарь ОХНМ РАН, академик РАН                      директор ИОХ РАН (онлайн)

*От Президиума Российской академии наук, г. Москва*

71. Панченко Владислав Яковлевич, академик РАН  
вице-президент РАН, научный руководитель ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (очно)

*От Федерального государственного автономного научного учреждения  
Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники имени  
В.Г. Мокерова Российской академии наук, г. Москва*

72. Редькин Сергей Викторович, кандидат технических наук  
ведущий научный сотрудник ИСВЧПЭ РАН (очно)

*От Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
«Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения  
Российской академии наук», г. Новосибирск*

73. Исмагилов Зинфер Ришатович, академик РАН  
научный руководитель ФИЦ УУХ СО РАН (онлайн)

*От Федерального государственного бюджетного учреждения «Российская  
академия наук», г. Москва*

74. Истомина Наталья Леонидовна, доктор физико-математических наук  
заместитель академика-секретаря ОФН РАН по научно-организационной работе РАН (очно)

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
«Институт проблем машиноведения Российской академии наук», г. Санкт-  
Петербург*

75. Кукушкин Сергей Арсеньевич, доктор физико-математических наук  
руководитель лаборатории структурных и фазовых превращений в конденсированных средах, главный научный сотрудник ИПМаш РАН (онлайн)

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр  
Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск*

76. Шабанов Василий Филиппович  
научный руководитель ФИЦ КНЦ СО РАН (онлайн)

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт  
нанотехнологий микроэлектроники Российской академии наук, г. Москва*

77. Орешков Максим Викторович, кандидат технических наук  
научный сотрудник ИНМЭ РАН (очно)

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск*

78. Викулова Евгения Сергеевна, кандидат химических наук      заведующий лабораторией металлорганических соединений для осаждения диэлектрических материалов ИХХ СО РАН (очно)

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук*

79. Кецо Валерий Александрович, доктор химических наук      главный научный сотрудник ИОНХ РАН (онлайн)

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г. Москва*

80. Гочелашвили Константин Семенович, кандидат физико-математических наук      старший научный сотрудник лаборатории нелинейной оптики ИОФ РАН (очно)
81. Бушуев Егор Владимирович      научный сотрудник ИОФ РАН (очно)

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук, г. Москва, г. Зеленоград*

82. Русаков Сергей Григорьевич, член-корреспондент РАН      главный научный сотрудник ИППМ РАН (онлайн)

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук, г. Черноголовка Московской обл.*

83. Николайчик Владимир Иванович, доктор физико-математических наук      заместитель директора по науке ИПТМ РАН (онлайн)
84. Гуртовой Владимир Леонидович, кандидат физико-математических наук      старший научный сотрудник ИПТМ РАН (онлайн)
85. Карандашев Василий Константинович, кандидат химических наук      ведущий научный сотрудник ИПТМ РАН (онлайн)
86. Князев Максим Александрович, кандидат физико-математических наук      научный сотрудник ИПТМ РАН (очно)
87. Шабельникова Яна Леонидовна, кандидат физико-математических наук      научный сотрудник ИПТМ РАН (онлайн)



*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Москва*

- |  |   |
|--|---|
| 88. Кошелец Валерий Павлович,<br>доктор физико-математических наук | главный научный сотрудник,<br>заведующий лабораторией ИРЭ им.<br>В.А. Котельникова РАН (онлайн) |
| 89. Горбачев Илья Андреевич,<br>кандидат химических наук           | ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН<br>(очно)   |

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург*

- |   |   |
|---|---|
| 90. Миляев Михаил Анатольевич,<br>кандидат физико-математических наук | руководитель сектора нанотехнологий<br>отдела наноспинтроники ИФМ УрО<br>РАН (онлайн) |
|---|---|

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск*

- |   |  |
|---|--|
| 91. Тысченко Ида Евгеньевна,<br>доктор физико-математических наук | ведущий научный сотрудник ИФП<br>СО РАН (онлайн) |
|---|--|

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, г. Москва*

- |  |  |
|--|--|
| 92. Спицын Борис Владимирович,<br>доктор химических наук | главный научный сотрудник ИФХЭ<br>РАН (очно) |
|--|--|

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук, г. Москва*

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 93. Булатов Марат Фатыхович,<br>доктор физико-математических наук | директор НТЦ УП РАН (очно) |
|---|----------------------------|

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки ордена трудового красного знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева российской академии наук*

- |  |  |
|--|--|
| 94. Антонов Сергей Вячеславович,<br>кандидат химических наук | старший научный сотрудник ИНХС<br>РАН (онлайн) |
|--|--|

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федеральный исследовательский центр проблем химической физики  
и медицинской химии Российской академии наук, г. Черноголовка Московской  
обл., г. Черноголовка Московской обл.*

- |  |  |
|--|--|
| 95. Ломоносов Игорь Владимирович,<br>член-корреспондент РАН        | ио директора ФИЦ ПХФ и МХ РАН<br>(онлайн)  |
| 96. Аккуратов Александр Витальевич,<br>кандидат химических наук    | заведующий лабораторией ФИЦ ПХФ<br>и МХ РАН (онлайн)                                   |
| 97. Березин Михаил Петрович,<br>кандидат химических наук           | старший научный сотрудник ФИЦ<br>ПХФ и МХ РАН (онлайн)                                 |
| 98. Бубнова Мария Львовна,<br>кандидат химических наук             | старший научный сотрудник ФИЦ<br>ПХФ и МХ РАН (онлайн)                                 |
| 99. Грачев Вячеслав Петрович,<br>кандидат химических наук          | ведущий научный сотрудник ФИЦ<br>ПХФ и МХ РАН (онлайн)                                 |
| 100. Курбатов Владимир<br>Геннадьевич,<br>кандидат химических наук | старший научный сотрудник ФИЦ<br>ПХФ и МХ РАН, доцент ЯГТУ<br>(онлайн)                 |
| 101. Курочкин Сергей<br>Александрович,<br>кандидат химических наук | заведующий лабораторией ФИЦ ПХФ<br>и МХ РАН (онлайн)                                   |
| 102. Малков Георгий Васильевич,<br>кандидат химических наук        | заведующий отделом полимеров<br>и композиционных материалов ФИЦ<br>ПХФ и МХ РАН (очно) |
| 103. Тарасов Александр Евгеньевич,<br>кандидат химических наук     | старший научный сотрудник ФИЦ<br>ПХФ и МХ РАН (онлайн)                                 |

*От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-  
технологический институт имени К.А. Валиева Российской академии наук,  
г. Москва*

- |  |  |
|--|--|
| 104. Махвиладзе Тариэль<br>Михайлович,<br>доктор физико-математических<br>наук | заведующий лабораторией<br>моделирования физико-<br>технологических процессов микро-<br>и наноэлектроники, главный научный<br>сотрудник ФТИАН им. К.А. Валиева<br>РАН (онлайн) |
| 105. Сарычев Михаил Евгеньевич,<br>доктор физико-математических<br>наук        | главный научный сотрудник ФТИАН<br>им. К.А. Валиева РАН (онлайн)   |
| 106. Кудря Владимир Петрович,<br>кандидат физико-математических<br>наук        | ведущий научный сотрудник ФТИАН<br>им. К.А. Валиева РАН (очно)   |
| 107. Рогожин Александр Евгеньевич,<br>кандидат физико-математических<br>наук   | старший научный сотрудник ФТИАН<br>им. К.А. Валиева РАН (очно)   |

*От Федерального государственного унитарного предприятия  
Экспериментальный завод научного приборостроения со Специальным  
конструкторским бюро Российской академии наук, г. Черноголовка Московской  
обл.*

108. Веретенников Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук  
заместитель генерального директора по научно-технической работе и проектам ФГУП ЭЗАН (онлайн)

*От Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва*

109. Флёров Юрий Арсеньевич, член-корреспондент РАН  
главный научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН (онлайн)
110. Корепанов Эдуард Рудольфович, кандидат технических наук  
заведующий отделением ФИЦ ИУ РАН (очно)
111. Журавлев Андрей Андреевич  
младший научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН (онлайн)

*От Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук», г. Москва*

112. Ахманов Александр Сергеевич, кандидат физико-математических наук  
ведущий научный сотрудник ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (очно)

*От Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», г. Москва*

113. Власов Сергей Евгеньевич, доктор технических наук  
директор ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (онлайн)
114. Масальский Николай Валерьевич, кандидат физико-математических наук  
заведующий сектором ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (очно)
115. Цимбалов Андрей Сергеевич, кандидат технических наук  
заместитель директора ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (онлайн)

*От Фрязинского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Фрязино Московской обл.*

116. Чучева Галина Викторовна, профессор РАН, доктор физико-математических наук  
заместитель директора по научной работе ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (очно)

117. Гольдман Евгений Иосифович, кандидат физико-математических наук ведущий научный сотрудник ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (онлайн)
118. Киселев Дмитрий Александрович, кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (онлайн)

*От Акционерного общества «Научно-исследовательский институт органических полупродуктов и красителей», г. Москва*

119. Конарев Александр Андреевич, доктор технических наук главный научный сотрудник, руководитель отдела инновационных мембранных электрохимических технологий АО «НИОПИК» (очно)
120. Кузнецова Нина Александровна, доктор химических наук главный научный сотрудник АО «НИОПИК» (очно)

*От Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт - республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы», г. Москва*

121. Беневоленский Сергей Борисович, доктор технических наук главный научный сотрудник ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ (онлайн)

*От Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-производственный комплекс «Технологический центр», г. Москва, г. Зеленоград*

122. Веселов Владимир Федорович начальник отдела НПК «Технологический центр» (очно)

*От Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва*

123. Толоконников Георгий Константинович, кандидат физико-математических наук научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (очно)

*От Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва*

124. Чвалун Сергей Николаевич, член-корреспондент РАН заведующий лабораторией НИЦ «Курчатовский институт» (онлайн)
125. Гудков Александр Львович, кандидат физико-математических наук заместитель руководителя ОМТ ККСНИ НИЦ «Курчатовский институт» (онлайн)

*От Автономной организации образования «Назарбаев Университет»  
(Казахстан), г. Нур-Султан*

126. Тыныштыкбаев Курбангали Байназарович,  
доктор технических наук
- ведущий научный сотрудник Якорного проекта по программе «Ученые мирового уровня» Автономной организации образования «Назарбаев Университет» (онлайн)

*От Московского института электроники и математики национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва*

127. Петросянц Константин Орестович,  
доктор технических наук
- ординарный профессор МИЭМ НИУ ВШЭ (очно)
128. Исмаил-Заде Мамед Рашидович,  
кандидат технических наук
- старший преподаватель МИЭМ НИУ ВШЭ (очно)
129. Силкин Денис Сергеевич,  
кандидат технических наук
- научный сотрудник МИЭМ НИУ ВШЭ (очно)
130. Звягинцев Дмитрий Евгеньевич
- студент МИЭМ НИУ ВШЭ (очно)
131. Попов Дмитрий Александрович
- старший преподаватель департамента компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ (очно)

*От Научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Южного федерального университета, г. Таганрог*

132. Агеев Олег Алексеевич,  
член-корреспондент РАН
- директор НОЦ «Нанотехнологии» ЮФУ (онлайн)

*От Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева,  
г. Москва*

133. Воротынцев Илья Владимирович,  
доктор технических наук
- и.о. ректора, профессор кафедры физической химии РХТУ им. Д.И. Менделеева (очно)

*От РУТ (МИИТ)*

134. Гусев Борис Владимирович,  
член-корреспондент РАН
- заведующий кафедрой РУТ (МИИТ) (онлайн)

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», г. Москва*

135. Скворцов Аркадий Алексеевич,  
доктор физико-математических наук
- заведующий кафедрой «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов» Московского Политеха, начальник управления научно-исследовательских работ Московского Политеха (очно)

136. Николаев Владимир Константинович, кандидат экономических наук старший научный сотрудник Московского Политеха (очно)

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», г. Долгопрудный Московской обл.*

137. Митин Александр Васильевич, доктор физико-математических наук руководитель департамента химии МФТИ (очно)
138. Исаев Александр Геннадьевич аспирант МФТИ, младший научный сотрудник ФТИАН им. К.А. Валиева РАН (онлайн)
139. Литаврин Михаил Владимирович аспирант базовой кафедры микро- и нанoeлектроники МФТИ, научный сотрудник лаборатории исследования и испытания материалов АО «НИИМЭ» (онлайн)
140. Пермякова Ольга Олеговна аспирант МФТИ, младший научный сотрудник лаборатории микроструктурирования и субмикронных приборов ФТИАН им. К.А. Валиева РАН (онлайн)
141. Шарапов Андрей Анатольевич аспирант базовой кафедры «Микро- и нанoeлектроника» МФТИ, научный сотрудник АО «НИИМЭ» (очно)

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Н. Новгород*

142. Гришин Дмитрий Федорович, член-корреспондент РАН заведующий, главный научный сотрудник кафедрой химии нефти (нефтехимического синтеза) Химического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского (онлайн)
143. Мочалов Леонид Александрович, кандидат химических наук старший научный сотрудник кафедры аналитической и медицинской химии химического факультета, старший научный сотрудник кафедры аналитической и медицинской химии химического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского (очно)

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва*

144. Капуткина Наталия Ефимовна, профессор НИТУ «МИСиС» (очно)  
доктор физико-математических наук
145. Щемеров Иван Васильевич, доцент НИТУ «МИСиС» (онлайн)  
кандидат физико-математических наук

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск*

146. Больбасов Евгений Николаевич, старший научный сотрудник Томского  
кандидат технических наук политехнического университета (очно)

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», г. Москва, г. Зеленоград*

147. Путря Михаил Георгиевич, профессор НИУ МИЭТ (онлайн)  
доктор технических наук
148. Гаврилова Александра Константиновна студентка 3 курса бакалавриата  
кафедры квантовой физики  
и наноэлектроники НИУ МИЭТ,  
техник отдела перспективных  
исследований АО «НИИМЭ» (очно)
149. Гончарова Александра студент магистратуры НИУ МИЭТ,  
Владимировна младший научный сотрудник  
АО «НИИМЭ» (очно)

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

150. Вайнштейн Илья Александрович, директор НОЦ «Наноматериалы  
и нанотехнологии» УРФУ (онлайн)  
профессор РАН, доктор физико-  
математических наук

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону*

151. Солдатов Александр научный руководитель направления  
Владимирович, ЮФУ (онлайн)  
доктор физико-математических наук

152. Муханова Елизавета Андреевна, кандидат химических наук      заведующий лабораторией ЮФУ (онлайн)

*От Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва*

153. Ковалева Анна Николаевна, кандидат химических наук      начальник Управления по организации научно-исследовательской деятельности студентов, доцент РТУ МИРЭА (онлайн)
154. Романенко Пётр Михайлович      бакалавр кафедры нанoeлектроники РТУ МИРЭА (онлайн)
155. Федулов Федор Александрович      аспирант РТУ МИРЭА (онлайн)

*От Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет», г. Петрозаводск*

156. Корзун Дмитрий Жоржевич, кандидат физико-математических наук      заместитель директора по науке Центра искусственного интеллекта, доцент Кафедры информатики и математического обеспечения Института математики и информационных технологий Петрозаводского государственного университета (онлайн)

*От Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург*

157. Столярова Валентина Леонидовна, академик РАН      заведующая лабораторией СПбГУ, заведующая лабораторией ИХС РАН (онлайн)
158. Рыбкин Артем Геннадиевич, кандидат физико-математических наук      ведущий научный сотрудник СПбГУ (онлайн)

*От Центра коллективного пользования «Микросистемная техника и электронная компонентная база» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», г. Москва, г. Зеленоград*

159. Филиппов Николай Александрович      инженер ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ (онлайн)



*От Акционерного общества «Наука и инновации» (Госкорпорация «Росатом»), г. Москва*

160. Юрков Глеб Юрьевич, доктор технических наук директор по научному развитию — научный руководитель химико-технологического направления АО «Наука и инновации» (Госкорпорация «Росатом») (очно)
161. Кудряшов Владимир Евгеньевич, кандидат физико-математических наук руководитель направления АО «Наука и инновации» (Госкорпорация «Росатом») (онлайн)
162. Мазилин Иван Владимирович, кандидат технических наук руководитель проектного офиса АО «Наука и инновации» (Госкорпорация «Росатом») (онлайн)

*От Акционерного общества «Научно-исследовательский институт «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», г. Москва*

163. Сабитов Дамир Равильевич, кандидат технических наук начальник отдела АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха» (очно)

*От Акционерного общества «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», г. Москва, г. Зеленоград*

164. Бокарев Валерий Павлович, доктор технических наук начальник отдела службы главного конструктора АО «НИИМЭ», доцент базовой кафедры «Микро- и наноэлектроника» МФТИ (очно)
165. Панасюк Виталий Николаевич, доктор технических наук главный контролер-директор по УК и ТП АО «НИИМЭ» (онлайн)
166. Исляйкин Андрей Михайлович, кандидат химических наук начальник отдела разработки технологических процессов АО «НИИМЭ» (онлайн)
167. Колдаев Игорь Михайлович, кандидат физико-математических наук ведущий специалист аппарата генерального директора АО «НИИМЭ» (онлайн)
168. Королева Анна Николаевна, кандидат технических наук начальник отдела АО «НИИМЭ» (онлайн)
169. Патюков Сергей Иванович, кандидат технических наук начальник лаборатории отдела разработки технологических процессов АО «НИИМЭ» (онлайн)
170. Резванов Аскар Анварович, кандидат физико-математических наук начальник лаборатории отдела разработки технологических процессов АО «НИИМЭ» (онлайн)
171. Теплов Георгий Сергеевич, кандидат физико-математических наук начальник лаборатории АО «НИИМЭ» (очно)

172. Шишлянников Антон Валерьевич, кандидат физико-математических наук  
начальник лаборатории исследования и испытания материалов АО «НИИМЭ» (очно)
173. Астахов Евгений Алексеевич  
инженер-технолог отдела разработки технологических процессов АО «НИИМЭ» (онлайн)
174. Бобовников Павел Геннадьевич  
главный специалист отдела энергонезависимой памяти АО «НИИМЭ» (онлайн)
175. Варламов Денис Александрович  
начальник отдела специальных материалов АО «НИИМЭ» (очно)
176. Еремчук Анатолий Иванович  
заместитель начальника отдела спецматериалов АО «НИИМЭ» (очно)
177. Маркин Александр Викторович  
заместитель начальника отдела инфраструктуры нано- и микроэлектронных производств АО «НИИМЭ» (онлайн)
178. Плаксин Валерий Геннадьевич  
ведущий инженер-технолог отдела разработки технологических процессов АО «НИИМЭ» (очно)
179. Прилипко Константин Владимирович  
начальник лаборатории АО «НИИМЭ» (очно)
180. Просий Антон Дмитриевич  
начальник отдела инфраструктуры нано- и микроэлектронных производств АО «НИИМЭ» (онлайн)
181. Репина Татьяна Васильевна  
специалист отдела специальных материалов АО «НИИМЭ» (очно)
182. Сеньченко Никита Сергеевич  
главный специалист АО «НИИМЭ» (онлайн)
183. Синюков Дмитрий Владимирович  
начальник лаборатории отдела разработки технологических процессов АО «НИИМЭ» (онлайн)
184. Фатов Андрей Сергеевич  
специалист по высокочистым веществам лаборатории новых материалов АО «НИИМЭ» (очно)
185. Червонный Дмитрий Владимирович  
инженер-технолог АО «НИИМЭ» (очно)
186. Щербаков Николай Александрович  
заместитель генерального директора по модернизации и внедрению микросхем - главный инженер АО «НИИМЭ» (очно)

*От Акционерного общества «Научно-исследовательский институт точного машиностроения», г. Москва, г. Зеленоград*

187. Одинокоев Вадим Васильевич, доктор технических наук  
заместитель генерального директора по науке АО НИИТМ (очно)

*От Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Салют»,  
г. Москва*

188. Котков Анатолий Павлович, кандидат химических наук      начальник научно-производственного отделения материалов электронной техники АО «НПП Салют» (очно)

*От Акционерного общества «Производственный комплекс «ФИД-техника»,  
г. Санкт-Петербург*

189. Козлов Владимир Алексеевич, кандидат физико-математических наук, PhD      ведущий научный сотрудник АО «ПК «ФИД-техника», заместитель руководителя комплекса УНУ «Циклотрон ФТИ им. А.Ф. Иоффе» ФТИ им. А.Ф. Иоффе (онлайн)

*От Акционерного общества «Российская электроника», г. Москва*

190. Ежлов Вадим Сергеевич, кандидат физико-математических наук      руководитель направления АО «Росэлектроника» (онлайн)

*От Акционерного общества «Экспериментальное научно-производственное объединение специализированные электронные системы», г. Москва*

191. Котов Владислав Николаевич      инженер 2 кат. АО «ЭНПО СПЭЛС», инженер 2 кат. НИЯУ МИФИ (онлайн)

*От Открытого акционерного общества «Авангард», г. Санкт-Петербург*

192. Макаров Валерий Григорьевич, кандидат технических наук      заместитель генерального директора ОАО «Авангард» (онлайн)

*От Открытого акционерного общества «Межведомственный аналитический центр», г. Москва*

193. Тарасенко Валерий Владимирович, кандидат физико-математических наук      руководитель проекта ОАО «МАЦ», советник декана физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (очно)

*От Общества с ограниченной ответственностью «НИИМЭ - микродизайн»,  
г. Москва, г. Зеленоград*

194. Шелепин Николай Алексеевич, доктор технических наук      генеральный директор ООО «НИИМЭ МД», руководитель научного направления «Микроэлектроника» ИНМЭ РАН (онлайн)

*От Общества с ограниченной ответственностью «Поликетон», г. Нижний Новгород*

- |   |  |
|---|--|
| 195. Джонс Михаил Михайлович,<br>кандидат химических наук | технический директор ООО<br>«Поликетон» (очно)   |
| 196. Слияков Альберт Юрьевич                              | генеральный директор ООО<br>«Поликетон» (онлайн) |

*От Общества с ограниченной ответственностью «Сигм Плюс», г. Москва*

- |   |  |
|---|--|
| 197. Яроцкая Ирина Валентиновна,<br>кандидат технических наук | главный технолог ООО «Сигм Плюс»<br>(очно) |
|---|--|

### **ПОВЕСТКА ДНЯ:**

Академик РАН Красников Геннадий Яковлевич (Президиум РАН, АО «НИИМЭ»), академик РАН Алдошин Сергей Михайлович (Президиум РАН, ФИЦ ПХФ и МХ РАН). Открытие заседания.

(1) член-корр. РАН Горнев Евгений Сергеевич (АО «НИИМЭ»). Импортзамещение материалов для микроэлектроники: состояние и задачи.

(2) член-корр. РАН Егоров Антон Юрьевич (ООО «Коннектор Оптикс», СПБАУ РАН им. Ж.И. Алферова), д.т.н. Панасенко Пётр Васильевич (АО «НИИМЭ»). Импортзамещение материалов и оборудования для производства приборов микро- и оптоэлектроники на основе соединений АЗВ5.

(3) член-корр. РАН Рощупкин Дмитрий Валентинович, д.ф.-м.н. Зайцев Сергей Иванович, к.ф.-м.н. Князев Максим Александрович, к.ф.-м.н. Ильин Александр Иванович, к.х.н. Карандашев Василий Константинович (ИПТМ РАН), к.х.н. Малков Георгий Васильевич, к.х.н. Грачев Вячеслав Петрович (ФИЦ ПХФ и МХ РАН). Материалы для электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии, современные методы диагностики материалов для микро- и нанoeлектроники.

(4) д.ф.-м.н. Кукушкин Сергей Арсеньевич, д.ф.-м.н. Осипов Андрей Викторович (ИПМаш РАН). Рост эпитаксиального карбида кремния на кремнии методом согласованного замещения атомов.

(5) к.х.н. Викулова Евгения Сергеевна (ИНХ СО РАН). Высокочистые металлорганические соединения для осаждения материалов микроэлектроники: проблематика и перспективы.

(6) д.т.н. Воротынцев Илья Владимирович (РХТУ им. Д.И. Менделеева). Национальная аналитическая сертификационная лаборатория. Проблемы и перспективы.

(7) профессор РАН, д.ф.-м.н. Оганов Артем Ромаевич (Сколтех, НИТУ «МИСиС»). Предсказание новых материалов и необычных химических соединений.

(8) к.х.н. Мочалов Леонид Александрович (ННГУ им. Н.И. Лобачевского). Современные технологии глубокой очистки и синтеза базовых материалов микроэлектроники и ИК-оптики. Состояние и перспективы.

(9) к.х.н. Джонс Михаил Михайлович, к.х.н. Синенков Михаил Александрович, Пронина Анастасия Львовна, Продаевич Вероника Владимировна (ООО «Поликетон»). Разработка резиста для рентгеновской литографии.

(10) к.х.н. Малков Георгий Васильевич, д.х.н. Бадамшина Эльмира Рашатовна (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), д.х.н. Кузнецова Нина Александровна (АО «НИОПИК»), Варламов Денис Александрович (АО «НИИМЭ»), к.х.н. Джонс Михаил Михайлович (ООО «Поликетон»). Результаты работ по антиотражающему покрытию АОП-193, ФР-193 и ПАВ для безметалльного проявителя.

(11) д.т.н. Конарев Александр Андреевич (АО «НИОПИК»), Варламов Денис Александрович (АО «НИИМЭ»). Разработка и освоение промышленной мембранной электрохимической технологии производства концентрата тетраметиламмония гидроксида.

(12) академик РАН Бузник Вячеслав Михайлович (ИОНХ РАН), к.т.н. Больбасов Евгений Николаевич (Томский политехнический университет). Отечественные фильтровальные материалы и изделия из поливинилиденфторида и политетрафторэтилена, получаемые методами электроформованием и 3D-печати.

(13) к.ф.-м.н. Волков Иван Александрович, к.т.н. Арсенов Павел Владимирович, к.т.н. Ефимов Алексей Анатольевич, член-корр. РАН Иванов Виктор Владимирович (МФТИ). Формирование функциональных микроструктур из металлических и полупроводниковых нанообъектов с применением методов печатной электроники.

Общая дискуссия. Подведение итогов заседания Научного совета.

---

(академик РАН Г.Я. Красников; академик РАН С.М. Алдошин;  
академик РАН А.Л. Асеев; академик РАН А.А. Горбацевич;  
академик РАН Н.З. Ляхов; член-корр. РАН В.А. Бородин;  
член-корр. РАН Е.С. Горнев; член-корр. РАН А.Ю. Егоров;  
член-корр. РАН Д.В. Рощупкин; профессор РАН, д.ф.-м.н. А.Р. Оганов;  
профессор РАН, д.х.н. С.Ю. Хаширова; д.т.н. В.П. Бокарев; д.т.н. И.В. Воротынцев;  
д.ф.-м.н. Ю.Р. Колобов; д.т.н. А.А. Конарев; д.ф.-м.н. С.А. Кукушкин;  
д.ф.-м.н. А.М. Мерзликин; д.х.н. Б.В. Спицын; к.х.н. А.В. Аккуратов;  
к.т.н. Е.Н. Больбасов; к.х.н. Е.С. Викулова; к.х.н. И.А. Горбачев;  
к.х.н. М.М. Джонс; к.х.н. Г.В. Малков; к.х.н. Л.А. Мочалов; Ш.Р. Юлгушев)

1. В заседании приняли участие члены Бюро и члены Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания» и Научного совета РАН по материалам и наноматериалам в количестве 61 человека, а также приглашенные ученые и специалисты – всего уникальных 194 человека из 101 организаций и их подразделений. В обсуждении повестки дня участвовало 26 человек.
2. Во вступительном слове при открытии совместного заседания Председатель Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», президент РАН, академик РАН Г.Я. Красников отметил, что в нашей стране финансируются и реализуются программы по разработке особо чистых материалов и развитию электронного машиностроения для роста отечественной микроэлектроники.
3. Председатель Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, вице-президент РАН, академик РАН С.М. Алдошин предложил участникам

совместного заседания сформулировать задачи в области материаловедения и понять возможности материаловедов РАН, институтов, вузов по решению задач микроэлектроники. Опыт проведения совместных заседаний Научного совета РАН по материалам и наноматериалам с научными советами РАН как в области медицины, так и в области квантовых технологий показывает их высокую эффективность.

4. член-корр. РАН Горнев Евгений Сергеевич (АО «НИИМЭ») сообщил об отличительных особенностях материалов, применяемых в производстве микроэлектроники. Их разработка напрямую связана со смежными направлениями – разработкой и аттестацией методик измерений параметров, разработкой материалов для специальной технологической тары и оснастки, созданием соответствующей инфраструктуры. Рассмотрена ситуация с обеспечением материалами для микроэлектроники в разрезе существующих производств, выполнения НИОКР, формирования научно-технического задела и проблемных аспектов, а также деятельности предприятий; проанализированы сдерживающие факторы. Предложены варианты решения вопросов, связанных с изменением зарубежных поставщиков и аттестации их материалов путем проведения различных технологических проб и испытаний; с организацией производства материалов к длительным, так и кратковременным сроком хранения; с созданием и работой координационно-аналитических центров высокочистых материалов; с проработкой механизмов приоритетного формирования технологических цепочек из академических научно-исследовательских институтов, отраслевых институтов, производственных предприятий, ориентированных на выпуск конкретных материалов; с квалифицированным кадровым обеспечением; с организацией экспертной оценки заявок на государственное финансирование проектов по разработке и производству материалов.

В ходе обсуждения доклада Юлгушев Шамиль Рюстямович (Минпромторг России) выступил с сообщением о проводимой Министерством организационной работе «Импортозамещение химических материалов для радиоэлектроники». В качестве замечаний к сообщению отмечено, что РАН проводит независимую экспертизу по 10 высокотехнологичным направлениям с привлечением Научных советов при президиуме и при отделениях (Постановление президиума РАН от 16.05.2023 г. № 104 «Об организации и порядке проведения Российской академией наук независимой научно-технической экспертизы результатов реализации соглашений о развитии высокотехнологических направлений»). В частности, целью данного совместного заседания является выработка решения по импортозамещению материалов для микроэлектроники двумя Научными советами РАН. Дополнительно, в соответствии с утвержденным Указом Президента Российской Федерации от 20.07.2016 г. № 347 Положением о руководителе приоритетного технологического направления такой руководитель согласовывает проекты технических заданий, что означает необходимость согласования таких проектов с руководителем приоритетного технологического направления «Электронные технологии» академиком Г.Я. Красниковым в области электроники и микроэлектроники.

5. член-корр. РАН Егоров Антон Юрьевич (ООО «Коннектор Оптикс», СПбАУ РАН им. Ж.И. Алфёрова) сообщил, что импортозамещение широкой

номенклатуры пластин полупроводниковых гетероструктур на основе материалов группы АЗВ5 и технологии их серийного производства с целью формирования технологического суверенитета Российской Федерации в области современных систем радиолокации и систем оптической связи является важной и актуальной задачей. В настоящее время имеются несомненные успехи в этой области.

В частности, успешно реализуется проект по разработке конструкций и технологии серийного изготовления пластин полупроводниковых гетероструктур АЗВ5 на подложках большой площади, диаметром 100 мм и более. Проект реализуется АО «НИИМЭ» в партнерстве с ООО «Коннектор Оптикс» (г. Санкт-Петербург). Работы по разработке новых типов полупроводниковых гетероструктур АЗВ5 также ведутся в СПБАУ РАН им. Ж.И. Алферова при взаимодействии с индустриальным партнером АО «ОКБ-Планета» в рамках проекта Минобрнауки России по созданию молодежных лабораторий в области микроэлектроники.

Обсуждены достигнутые на сегодняшний день результаты и актуальные проблемы импортозамещения материалов и оборудования для производства приборов микро- и оптоэлектроники на основе гетероструктур полупроводниковых соединений АЗВ5 (гетероструктур СВЧ МИС, фотоприемников, лазеров). В том числе будут рассмотрены проблемы с доступностью особо чистых материалов и подложек для молекулярно-пучковой эпитаксии, глобальные проблемы с оборудованием для молекулярно-пучковой эпитаксии, проблемы с комплектующими для оборудования молекулярно-пучковой эпитаксии (в том числе тигли из PBN), проблемы с оборудованием для диагностики гетероструктур полупроводниковых соединений АЗВ5.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: В группе материалов АЗВ5 происходит замена соединений на нитриды из этой же группы для мощных приборов; как соотносятся эти два направления? Планируете ли создание гетероструктур АЗВ5 на кремниевых подложках; при положительном ответе – сможете ли создать такую структуру локально на кремниевых пластинах диаметром 100 мм для размещения вокруг нее КМОП-обвязки?

6. член-корр. РАН Рощупкин Дмитрий Валентинович сообщил (ИПТМ РАН), что в настоящий момент в инициативном порядке ИПТМ РАН и ФИЦ ПХФ и МХ РАН проводят исследования по созданию резистов для высокотехнологичных процессов электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии. В настоящий время на основе ПММА создан набор резистов, который позволяют методами электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии формировать критические элементы процессоров и микросхем с размерами 10-20 нм. Резисты имеют высокую чувствительность и контрастность. На базе созданных резистов были разработаны и многослойные резисты. Параллельно ведутся исследования по оптимизации растворителей и проявителей резистов. Созданы пилотные образцы для рентгеновской литографии, но здесь необходимо расширение поисковых исследований, так как процесс рентгеновской литографии может быть реализован в диапазоне длин волн рентгеновского излучения от 0,1 нм до 10-20 нм.

Также была продемонстрирована возможность решения задачи получения чистых металлов (Cu, Al, V, Mo, Pb, ...) для создания мишеней, применяемых в микро- и нанoeлектронике. Для получения чистых металлов были использованы методы выращивания монокристаллов из расплава методом Чохральского и метод зонной плавки и зонной чистки. В настоящий момент сохраняется возможность восстановления производства чистых металлов.

Отдельно был затронут вопрос диагностики материалов для микроэлектроники. Здесь важную роль играет применение рентгеновских дифракционных методов, микрофлуоресцентного анализа и рентгеновской микроскопии. Данные методы позволяют исследовать совершенство кристаллической структуры, фазовый состав, наличие дефектов в планарных структурах микросхем и процессоров. Были продемонстрированы возможности исследования чистоты материалов, применяемых в микроэлектронике, методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Продемонстрировано создание специализированного оборудования для пробоподготовки и создание современного двухкристального рентгеновского дифрактометра.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: О каких диаметрах ионной литографии и каких площадях идет речь?

7. д.ф.-м.н. Кукушкин Сергей Арсеньевич (ИПМаш РАН) сообщил, что сообщил о разработке принципиально нового метода синтеза эпитаксиальных плёнок карбида кремния на кремнии. Метод заключается в согласованной замене части атомов Si на C прямо внутри матрицы кремния, а не при помощи нанесения атомов на поверхность подложки. Метод позволяет решить одну из основных проблем гетероэпитаксии, а именно, осуществить синтез низкодефектных и ненапряженных эпитаксиальных пленок при большом различии между параметрами решетки пленки и подложки. По сути дела, впервые в мировой практике реализован метод согласованной замены атомов одного сорта другими прямо внутри исходного кристалла без разрушения его кристаллической структуры. Метод напоминает «генетический синтез» белковых структур в биологии. Качество структуры слоев, полученных данным методом, значительно превосходит качество пленок карбида кремния, выращенных на кремниевых подложках ведущими мировыми компаниями. Метод дешев и технологичен. Приведено сравнение нового метода роста с классическими методами роста тонких пленок. Изложен термодинамический и кинетический анализ процесса замещения атомов в твердой фазе. На основе данного фундаментального подхода ИПМаш РАН совместно с ООО «Научно-технический центр Новые технологии» создан новый полупроводник — нанокарбид кремния на кремнии, выращенный методом согласованного замещения атомов. Данный полупроводник представляет собой новую гибридную структуру, сочетающую в себе свойства полупроводника, полуметалла и обладающую магнитными свойствами. Новый полупроводник может иметь широкое применение как, в качестве буферного слоя для получения гетероструктур соединений группы A3B5, соединений группы A2B6 и ряда других веществ, также может быть и использован в качестве самостоятельной гетероструктуры для генерации и приема терагерцового излучения, изготовления чувствительных магнетометров, различного рода датчиков. Совместно с АО «Эпизэл» и НТЦ микроэлектроники РАН на подложке



кремния с буферным слоем карбида кремния, созданы первые НЕМТ гетероструктуры, подвижность носителей заряда в некоторых из которых, достигала значений порядка  $1610\text{-}1730\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ , что соответствует лучшим мировым достижениям. Таким образом, данный материал полностью обеспечивает замену импортного карбида кремния на кремнии, новым отечественным материалом.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: Каким образом появляются магнитные свойства в углеродсодержащих соединениях? Имеется ли возможность использования полученных Вами кристаллов для силовой электроники?

8. к.х.н. Викулова Евгения Сергеевна (ИНХ СО РАН) сообщила, что технологические процессы формирования наноструктур элементов микроэлектроники требуют использования методов атомного-слоевого (ALD) или химического газофазного осаждения (CVD). Они обеспечивают прецизионный контроль состава и характеристик формируемых слоев, а также конформное покрытие объектов сложной геометрии. Получаемые таким образом материалы, в частности, high-k диэлектрики, металлические барьерные и зародышевые слои, безальтернативны при уменьшении проектных норм изготовления микропроцессоров, в основе которых лежат КМОП транзисторы, выполненные по технологии HkMG, FinFET, GAA, и востребованы при конструировании перспективных элементов энергонезависимой памяти новых типов (сегнетоэлектрическая, резистивная). Ключевую роль в процессах осаждения играют металлорганические соединения-прекурсоры, которые должны удовлетворять определенному набору требований к химическим и термическим свойствам, а также высочайшим требованиям к чистоте. Прекурсоры необходимого качества для востребованных материалов поставляют на рынок, в основном, иностранные производители. Поэтому разработка подходов к синтезу и глубокой очистке целевых металлорганических соединений является необходимым этапом для реализации отечественных производственных цепочек компонентой базы устройств и обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации. В докладе представлены перспективные классы высокочистых металлорганических соединений для осаждения ключевых материалов, подходы к получению и контролю качества, оценена возможность их реализации в РФ.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: Какие органические прекурсоры использовались при синтезе гуанидинов? Имеет ли значение молекулярная масса органического прекурсора?

9. д.т.н. Воротынцев Илья Владимирович (РХТУ им. Д.И. Менделеева) сообщил, что на сегодняшний день технологии современных и перспективных изделий микроэлектроники требуют высокочистых веществ и материалов. В России объективная оценка примесной и фазовой чистоты материалов на основе неорганических и органических веществ фактически отсутствует для большинства производимой продукции.

Требования по химической чистоте к исходным, вспомогательным веществам и функциональным материалам, обеспечивающим производство современной ЭКБ, непрерывно растут. В настоящее время востребованными являются вещества с химической чистотой  $99,99999\text{-}99,99999999\text{ мас. \%}$ , которые в зарубежных стандартах оцениваются по суммарной концентрации

примесей  $10^{-5}$ - $10^{-8}$  мас. % (7-10 N). В последнее время ситуация на отечественном рынке высокочистых веществ непрерывно ухудшается в связи с ужесточением санкций, которые перекрывают поставки высокочистых твердых, жидких, а в последнее время и газообразных веществ в Российскую Федерацию.

Важной задачей для развития отечественных технологий высокочистых веществ является сертификация продукции предпочтительно в лаборатории, имеющей международную аккредитацию. Это позволит не только исключить из оборота некондиционные вещества и материалы, но и осуществлять контроль над импортными высокочистыми веществами до тех пор, пока не будут разработаны соответствующие отечественные аналоги.

РХТУ им. Д.И. Менделеева имеет значительный опыт в данной области. Деятельность Национальной аналитической сертификационной лаборатории высокочистых веществ и материалов, создаваемой в РХТУ нацелена на устранение технологического отставания и обеспечит широкий круг задач от непосредственно анализа примесного состава и разработки аттестованных методик и выдачу сертификатов на продукцию до создания база данных высокочистых веществ и материалов, выпускаемых отечественными предприятиями.

К настоящему времени в лаборатории разработано свыше 10 современных аналитических методик контроля примесного и нестехиометрического состава высокочистых веществ и материалов для различных практических применений. Выполнен ряд НИР/НИОКР по разработке лабораторных технологий высокочистых веществ для процессов выращивания монокристаллов. В данной области лаборатория оказывает услуги более чем 50 организациям в год. При этом число ежемесячных анализов примесного состава высокочистых веществ превышает 350 анализов в месяц и их количество растет.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: Что Вы можете сказать о перспективе самообеспечения аналитическим оборудованием в условиях отказа от гарантийного обслуживания на импортное оборудование и ухода их параметров за пределы через 5-10 лет?

10. профессор РАН, д.ф.-м.н. Оганов Артем Ромаевич (Сколтех, НИТУ «МИСиС») сообщил, что до середины 2000-х гг. считалось, что кристаллические структуры невозможно предсказать. Это изменилось во многом благодаря созданию эволюционного алгоритма USPEX. Этот метод можно рассматривать как применение искусственного интеллекта, и позволяет легко предсказывать стабильные кристаллические структуры для заданного состава, предсказывать стабильные составы из заданных элементов, и предсказывать состав и структуру, соответствующие требуемым свойствам. В докладе приведены сведения:

– Об открытии новых химических явлений при высоких давлениях, включая предсказание и синтез новых электридов, а также рекордных высокотемпературных сверхпроводников, приближающихся к комнатной сверхпроводимости.

– О предсказании новых наноматериалов и полупроводников для различных применений при нормальных условиях.

Ссылки на литературу:

Oganov A.R., Saleh G., Kvashnin A.G. (Editors). *Computational Materials Discovery*. Royal Society of Chemistry. ISBN: 978-1-78262-961-0. (2018).

Oganov A.R., Pickard C.J., Zhu Q., Needs R.J. (2019). Structure prediction drives materials discovery. *Nature Reviews Materials* **4**, 331-348.

Oganov A.R., Glass C.W. (2006). Crystal structure prediction using ab initio evolutionary techniques: principles and applications. *J. Chem. Phys.* **124**, 244704.

Ma Y., Eremets M.I., Oganov A.R., Xie Y., Trojan I., Medvedev S., Lyakhov A.O., Valle M., Prakapenka V. (2009). Transparent dense sodium. *Nature* **458**, 182-185.

Zhang W.W., Oganov A.R., Goncharov A.F., Zhu Q., Bouffeffel S.E., Lyakhov A.O., Somayazulu M., Prakapenka V.B., Konopkova Z. (2013). Unexpected stoichiometries of stable sodium chlorides. *Science* **342**, 1502-1505.

Sharma, V., Wang, C., Lorenzini, R. G., Ma, R., Zhu, Q., Sinkovits, D. W., Pilia, G., Oganov, A. R., Kumar, S., Sotzing, G. A., Boggs S.A., Ramprasad R. (2014). Rational design of all organic polymer dielectrics. *Nature Communications* **5**, art. 4845.

Dong X., Oganov A.R., Goncharov A.F., Stavrou E., Lobanov S., Saleh G., Qian G.R., Zhu Q., Gatti C., Deringer V., Dronskowski R., Zhou X.-F., Prakapenka V., Konopkova Z., Popov I., Boldyrev A.I., Wang H.T. (2017). A stable compound of helium and sodium at high pressure. *Nature Chemistry* **9**, 440-445.

Semenok D.V., Troyan I.A., Ivanova A.G., Kvashnin A.G., Kruglov I.A., Hanfland M., Sadakov A.V., Sobolevskiy O.A., Pervakov K.S., Lyubutin I.S., Glazyrin K.V., Giordano N., Karimov D.N., Vasiliev A.L., Akashi R., Pudalov V.M., Oganov A.R. (2021). Superconductivity at 253 K in lanthanum–yttrium ternary hydrides. *Materials Today* **48**, 18-28.

Fan T., Oganov A.R. (2021). Discovery of high performance thermoelectric chalcogenides through first-principles high-throughput screening. *J. Mater. Chem. C* **9**, 13226-13235.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: Возможно ли предсказывать методы получения новых материалов? Возможно ли сделать алмаз прямозонным, подобно полученным Вами результатам о прямозонности кремния? Полученные результаты по высокотемпературной сверхпроводимости укладываются в электрон-фононную картину; имеются ли результаты по новым механизмам? Не стоит ли при рассмотрении вопроса о прочности анализировать и пластичность алмаза?

11. к.х.н. Мочалов Леонид Александрович (ННГУ им. Н.И. Лобачевского) сообщил, что к настоящему времени учеными Университета Лобачевского накоплен уникальный и достаточный научный задел для создания прорывных технологий в области современных оптических и полупроводниковых материалов, получены результаты, превосходящие лучшие мировые достижения в данной области. Комплексный подход к созданию современной оптической и полупроводниковой элементной базы включает в себя:

– разработку новых не имеющих аналогов плазмохимических технологий глубокой очистки исходных веществ для синтеза оптических и полупроводниковых материалов. Разработаны методы очистки серы, теллура, цинка, мышьяка, галлия, йода и др.;

– новые подходы к синтезу оптических и полупроводниковых материалов, когда в качестве исходных веществ могут использоваться непосредственно

элементы в высокочистом состоянии, а инициирование химических превращений осуществляется в плазменном разряде.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: Какие прогнозы по долговечности осаждаемых с помощью плазмы метастабильных пленок и материалов? Является ли получение пленок и монокристаллов моноизотопного кремния результатом работы Вашего университета? Анализировали ли Вы возможность применения халькогенидов в качестве неорганических материалов, например, для электронно-лучевой литографии?

12. к.х.н. Джонс Михаил Михайлович (ООО «Поликетон») сообщил краткую историю создания компании, в том числе упомянул о достижениях группы компаний на мировом рынке медицинских имплантируемых изделий. Далее был представлен анализ публикационной активности, посвященной теме создания резистов для рентгеновской литографии. Из него следует, что максимум работ приходится на 2010 – 2014 годы в связи с готовностью к этому времени первых опытных образцов литографов, на которых разработчики резистов могли бы проводить тестирование. Это позволило совершенствовать как композиции, так и аппаратную часть разрабатываемых литографов. В целом, развитие рентгенорезистов можно разделить на три основных этапа: исследование классических и модифицированных ПММА резистов; химически усиленных резистов широко используемых на то время в ArF и KrF фотолитографии; и специальные молекулярные, неорганические резисты.

Докладчиком были представлены и результаты исследования негативного резиста БМТ-433-5 при формировании изображения электронно-лучевой литографией, а также результаты исследований модифицированного резиста. Были представлены и результаты исследований позитивных резистов в электронно-лучевой литографии. Контрастность таких резистов, как и следовало ожидать, получается крайне высокой, хотя при увеличении энергии экспонирующего излучения наблюдается существенное снижение чувствительности. Эти же перспективные составы были исследованы и при экспонировании рентгеновским излучением с длиной волны 13,5 нм в сравнении с модифицированным не усиленным резистом ПММА-13. Было отмечено что, хотя чувствительность усиленных резистов заметно хуже, чем для модифицированного ПММА, тем не менее в целом значения вполне сопоставимы с имеющимися в литературе данными.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: В каком диапазоне работают Ваши фоторезисты – УФ или рентгеновском? Будут ли унифицированы Ваши фоторезисты по длинам волн? Учитывая, что имеются стандартные длины волн для известных источников излучения – 248 нм, 193 нм и 13,5 нм, будет ли работать Ваш фоторезист на длинах волн 11,2 нм или 22 нм, для которых стандартные источники отсутствуют?

13. к.х.н. Малков Георгий Васильевич (ФИЦ ПХФ и МХ РАН) сообщил, что производство интегральных схем (ИС) включает десятки технологических операций. Одними из наиболее важных являются фотолитографический процесс формирования рельефных покрытий на функциональных поверхностях подложек для ИС.

В процессе фотолитографии на функциональный слой подложки последовательно наносят слои антиотражающего покрытия (АОП) и фоторезистивной пленки химически усиленного фоторезиста (ФР),

состоящего из полимера с кислотнo-лабильными защитными группами и фотогенератора кислоты (ФГК). При воздействии ультрафиолетового излучения через маску с рисунком ФГК в местах экспонирования разлагается, выделяя сильную кислоту, при прогреве катализирующую реакцию снятия защиты, во время которых отщепляются подвешенные группы, что делает полимер растворимым в щелочном проявителе и открывает возможность получения требуемого рельефа для проведения операций травления и металлизации. В силу объективных обстоятельств, в Российской Федерации до последнего времени в фотолитографии с актиничным излучением 193 нм использовались зарубежные материалы, попавшие в настоящее время в санкционные списки. Очевидно, что современное производство микроэлектроники остро нуждается в создании отечественных материалов подобных иностранным аналогам. Для выполнения поставленной задачи импортозамещения материалов для фотолитографии консорциумом предприятий под руководством АО «НИИМЭ» при участии ФИЦ ПХФ и МХ РАН, АО «НИОПИК», ООО «Поликетон» и АО «Микрон» проводится ряд НИОКР и инициативных работ.

*Антиотражающее покрытие (АОП-193).* При экспонировании фоторезиста монохроматическим излучением, когда топологическая норма приближается к  $\frac{1}{2}$  длины волны, могут возникать негативные эффекты, вызываемые стоячими волнами либо интерференцией в тонких плёнках, что приведет к дефектам в получаемых изображениях. Для их подавления используется антиотражающие покрытия, к которым предъявляются высокие требования по оптимальному поглощению актиничного излучения, толщине (~100 нм), высокой скорости отверждения (90 с), отсутствию набухания в компонентах фоторезиста, хорошей адгезии к подложке и к слою ФР, отсутствию микропримесей металлов, а также оптических дефектов.

Докладчиком и соавторами была проведена экспериментальная работа по изучению иностранного аналога, получению и охарактеризации методами ГПХ, ДСК, ИК- и ЯМР-спектроскопии сополимеров на основе смесей мономеров (метилметакрилат – стирол/бензиметакрилат/феноксиптилметакрилат – 2-гидроксиметилметакрилат) различного состава. Определен состав АОП оптимальный по содержанию хромофора, а также по растворимости и адгезии к подложке. Проведена работа по подбору сшивающего агента, катализатора сшивки, оптимизации их концентраций. В итоге разработаны технологии синтеза полимерной основы, изготовления и очистки от микропримесей металлов и взвешенных частиц композиции АОП-193. Разработанный материал подобен по своим технологическим характеристикам иностранному аналогу, применявшемуся ранее в производстве. Выпуск налажен.

*Фоторезист (ФР-193).* Фоторезист представляет собой светочувствительный технологический материал, который наносят на подложку с целью получения соответствующего фотошаблону расположения линий/окон для последующей обработки поверхности – для доступа травящих веществ, металлизации и других операций, необходимых при изготовлении полупроводниковых приборов и устройств.

В рамках работы по созданию отечественного фоторезиста для фотолитографии с актиничным излучением 193 нм был проведен анализ

патентной и научной литературы по составам существующих фоторезистов, по особенностям свойств отдельных компонентов и их функциональным признакам, по методам получения и очистки полимеров, входящих в состав ФР. В результате работы были экспериментально определены условия получения тройных сополимеров на основе смесей метил(этил)адамантилметакрилата, гидроксиадамантилметакрилата и гамма-бутиролактонметакрилата с оптимальной вязкостью, необходимой для формирования сплошных пленок определенной толщины, исследованы их свойства, наработаны образцы для составления композиции ФР. Коллективом сотрудников консорциума проведены работы по разработке составов композиций фоторезистов, апробации композиции фоторезиста с подбором и оптимизацией режимов ее нанесения, дозы и условий экспонирования. Результаты проведенного тестирования показали потенциальную возможность применения разработанной композиции при изготовлении интегральных микросхем.

*Поверхностно-активное вещество для безметального проявителя.* Индустрия микроэлектроники постоянно сокращает размер элементов интегральных схем. Чтобы выполнить требования по минимизации размера элемента, ширина фоторезистивных структур должна уменьшаться. Это приводит к увеличению аспектного отношения, с ростом которого механическая прочность линий фоторезиста снижается, что вызывает «схлопывание» (коллапс) структур за счет капиллярных эффектов при сушке после проявления, некачественное проявления из-за проблем со смачиваемостью и т.п. Для предотвращения этих нежелательных эффектов наиболее простым является использование в проявителе поверхностно-активных веществ (ПАВ). Известно, что в качестве такого рода ПАВ могут быть эффективно использованы неионогенные ПАВ, например, блоксополимеры окиси этилена и окиси пропилена. В результате проведенного исследования были изучены различные подходы к синтезу триблоксополимеров окиси пропилена с окисью этилена. Наиболее доступным оказался синтез катионной полимеризацией по механизму активированного мономера. Исследовано влияние концентраций гликоля, катализатора и общей концентрации иницирующей системы, температуры полимеризации на свойства триблоксополимера. В результате был получен материал, который обладает свойствами, позволяющими использовать его в качестве поверхностно-активного вещества в композиции безметального проявителя на основе тетраметиламмоний гидроксида для снижения поверхностного натяжения и уменьшения пенообразования. Результаты комплексного тестирования на производственной линии показали, что полученная композиция ПАВ в безметальном проявителе обладает необходимыми характеристиками и может быть использована в существующем технологическом процессе без существенных изменений его условий. Отработана методика очистки полученного полимера от микропримесей металлов до допустимого уровня, проводится масштабирование до уровня, позволяющего получать ПАВ в необходимых объемах.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: Когда ожидается Ваш фоторезист на 193 нм?

14. д.т.н. Конарев Александр Андреевич (АО «НИОПИК») сообщил, что тетраметиламмония гидроксид (ТМАГ) используется в различных отраслях промышленности: при производстве электролитов для энергосберегающих

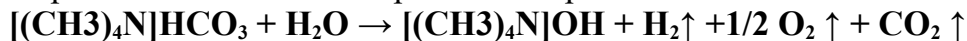
устройств; при изготовлении печатных плат, в качестве чистящей жидкости для полупроводниковых подложек; в качестве исходного сырья для получения безметалльных проявителей, применяемых в микроэлектронном производстве, а также в электрохимическом органическом синтезе.

Исходным продуктом для получения безметалльных проявителей является концентрат ТМАГ, к которому предъявляются высокие требования к содержанию примесей металлов (не более 5 ppb), зависящему от технологии получения ТМАГ и её реализации в промышленном масштабе. Концентрат ТМАГ, соответствующий требованиям современного уровня качества для микроэлектронного производства, в России не производится, поэтому возникла острая необходимость в разработке и создании промышленного производства концентрата ТМАГ. Исходя из научных и патентных данных, концентрат ТМАГ преимущественно получают мембранным электролизом водного раствора хлорида тетраметиламмония или бикарбоната тетраметиламмония.

При получении ТМАГ мембранным электролизом водного раствора хлорида тетраметиламмония протекает суммарная реакция:



а при использовании бикарбоната тетраметиламмония:



Обстоятельное экспериментальное изучение процесса синтеза ТМАГ мембранным электролизом водных растворов хлорида и бикарбоната тетраметиламмония в лабораторных условиях, направленное на оптимизацию технологических параметров (плотности тока, температуры, концентрации реагентов, типа катионообменной мембраны, выбор коррозионностойких электродных материалов и т.д.) и их уточнение в опытно-промышленном масштабе, обнаружены существенные недостатки при использовании хлорида тетраметиламмония в качестве сырья:

- содержание примесей металлов в концентрате ТМАГ превышает нормативный показатель – более 5.0 ppb, что не соответствует современному уровню качества;

- экологически опасное производство из-за образующегося газообразного продукта – хлора, что требует дополнительной технологической схемы его утилизации и герметичности используемого оборудования и коммуникаций;

- для приготовления рабочего раствора хлорида тетраметиламмония требуется дополнительная технологическая операция и соответствующее оборудование;

- использование хлорида тетраметиламмония при электролизе в анодном пространстве электролизера создаются жесткие условия для эксплуатации анодов и катионообменных мембран из-за выделяющегося хлора и продуктов его гидролиза, что требует использования дорогостоящих перфторированных катионообменных мембран Нафион 324 (США) и Флемион 811 (Япония), закупаемых за рубежом;

- трудоемкой операцией является обезвреживание отработанного анолита после электролиза из-за наличия в нем остаточных количеств хлора и щелочного раствора, полученного после утилизации хлора.

Указанные недостатки определили направление разработки промышленной технологии производства ТМАГ – это бесхлорная мембранная электрохимическая технология.

Разрабатываемая промышленная бесхлорная технология получения концентрата ТМАГ апробируется на опытно-промышленной мембранной электрохимической установке, созданной в АО «НИОПИК». Полученные результаты указывают на её технологичность, экологическую безопасность и экономическую целесообразность по сравнению с технологией получения концентрата ТМАГ из хлорида тетраметиламмония, а также на возможность достигать высокое качество материала и безметалльного проявителя на его основе, соответствующее требованиям современного уровня производства ИС, что вносит значительный вклад в технологическую независимость России от иностранных государств и обеспечивает получение новых технических и научных компетенций в области синтеза материалов для микроэлектронного производства.

Исходя из механизма анодного процесса, протекающего в водном растворе бикарбоната тетраметиламмония, появляется принципиальная возможность использования отечественных катионообменных мембран при получении концентрата ТМАГ вместо импортных дорогостоящих перфторированных мембран Нафлон 324 и Флემион 811, что подтверждено результатами опытно-промышленных исследований.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: Кто производит в России мембрану МК-40 и какими мощностями обладает?

15. к.т.н. Большасов Евгений Николаевич (Томский политехнический университет) в своем докладе обсудил особенности разработки масштабируемых технологий получения пористых полупроницаемых полимерных мембран на основе отечественных фторполимерных материалов для применения в качестве фильтров, жидких и газообразных агрессивных сред. В процессах производства микроэлектронных компонентов требуется большое количество сервисных сред, зачастую очень агрессивных, обладающих высокой степенью чистоты: воздуха, азота, кислорода, воды, растворителей, электролитов и т.д. При этом основной тренд – чем меньше размер элемента чипа, тем выше требования к фильтрующим элементам используемых фильтров. Большасов Е.Н. представил результаты исследований по разработке методом электроформования отечественных полупроницаемых полимерных мембран из политетрафторэтилена (PTFE) и поливинилиденфторида (PVDF). Рассмотрел вопросы изготовления изделий сложной формы из PVDF методом 3D печати. Он представил также результаты практического использования полупроницаемых полимерных мембран из PVDF и PTFE для фильтрации жидких и газообразных агрессивных сред. Кроме того, докладчик сообщил результаты по получению изделий сложной формы методом 3D печати по технологии послойного нанесения расплавленного материала (FDM) из PVDF.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: Вы растворяли политетрафторэтилен или его сополимеры? Готовы ли Вы выполнить работу, в результате которой медь не будет вносить загрязнение в исходное вещество (просьба дать обоснованный письменный ответ)? Возможно ли изготовление Вами фильтров для очистки воздуха в чистых комнатах, а также фильтров для органических резистов? Изучался ли фазовый состав филамента PVDF?

16. член-корр. РАН Иванов Виктор Владимирович (МФТИ) сообщил, что печатная электроника – область электроники, в которой электронные устройства



создаются аддитивным способом, использующим печатное оборудование и чернила. Объемы рынка печатной электроники развивается с высокими темпами ежегодного прироста порядка 15%, и в 2022 г. оценивался в 11,7 млрд. \$. В ряду методов чернильной печати широкий интерес представляют безмасковые методы, позволяющие оперативно создавать новые электронные микроструктуры. В МФТИ развиваются исследования именно таких методов с использованием коммерческих установок зарубежного производства, в том числе: микроплоттерная 2D-печать, ширина линий до 5 мкм; струйная 2D-печать, ширина линий до 25 мкм; аэрозольная 3D-печать, ширина линий до 10 мкм. Причем два последние метода являются бесконтактными, а метод аэрозольной к тому же представляет собой 3D-технологию.

Методы в печатной электронике опираются на использовании наноматериалов и чернил на их основе, причем в 2021 году сегмент чернил занимал 58,5 % рынка всей печатной электроники. Характерный маршрут приготовления коллоидных чернил включает: синтез наночастиц, приготовление чернил (дисперсионной среды), ультразвуковое диспергирование дисперсионной среды и центробежное удаление крупных объектов. В докладе представляется получение и применение чернил на основе наночастиц платины, палладия, оксида олова, золота, серебра, серебряных нанопроволок и углеродных нанотрубок для формирования функциональных элементов газовых сенсоров, SERS-подложек, микроантенн и прозрачных электродов оптоэлектронных устройств. Приводятся результаты характеристики получаемых микроструктур, в том числе, методом аэрозольной печати с использованием чернил на основе наночастиц Pt, синтезируемых в газоразрядном генераторе, отработана технология формирования микронагревателей на тонкой (20 мкм) мембране из LTCC стеклокерамики для реализации газовых сенсоров хеморезистивного типа (полупроводниковые металлооксидные сенсоры) с низким энергопотреблением. Рабочая температура сенсоров составляет 200–450 °С в зависимости от состава чувствительного слоя (SnO<sub>2</sub>, ZnO, NiO и др.) и детектируемого газа (H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, VOC и др.).

Методом струйной печати с использованием чернил на основе наночастиц SnO<sub>2</sub>, синтезируемых в газоразрядном генераторе, отработана технология формирования чувствительных слоев хеморезистивных газовых сенсоров. Газовые сенсоры на основе синтезируемых наночастиц демонстрируют высокую чувствительность к водороду и могут быть использованы при разработке технологий обеспечения безопасности водородной энергетики.

Методом микроплоттерной печати с использованием чернил на основе наночастиц Pd, синтезируемых в газоразрядном генераторе, отработана технология формирования каталитических слоев (2–3 мкм) газовых сенсоров термокаталитического типа, предназначенных для обнаружения горючих газов (например, метана) в широком диапазоне концентраций (в т.ч. выше LEL). Один из вариантов реализации данных сенсоров опирается на использование сенсорных платформ российского производства, включающих тонкую мембрану из стеклокерамики (50–60 мкм) с интегрированным микронагревателем.

Разработан способ изготовления матриц хеморезистивных сенсоров на основе наноструктурированных покрытий из полупроводниковых оксидов, формируемых на одном мультиэлектродном SiO<sub>2</sub>/Si чипе методом микроплоттерной печати с использованием истинных растворов прекурсоров (алкоксоацетилацетонатов) – M(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>)<sub>x</sub>(C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>O)<sub>y</sub>, где M = Mn, Ti, Ce, Zr, Zn, Cr, Co, Sn. Реализованная на основе восьми типов оксидов мультисенсорная система обеспечивает возможность идентификации одноатомных спиртов (метанол, этанол, изопропанол, н-бутанол) при их концентрации в воздухе на уровне нескольких ppm.

Реализованы условия достижения высокой проводимости проводящих Ag элементов. В частности, получены планарные структуры, в том числе на гибких подложках, типа двойной щелевой микроантенны с высокими функциональными параметрами.

Среднесрочные планы МФТИ в области печатной электроники включают решение следующих научно-технических задач:

- разработка коллоидных чернил на основе квантовых точек для печати активных слоев оптоэлектронных устройств;
- разработка синтеза отечественных нанопроволок Ag и коллоидных чернил на их основе для печати прозрачных электродов оптоэлектронных устройств;
- разработка синтеза наночастиц полупроводниковых оксидов и коллоидных чернил на их основе для печати активных элементов микроэлектроники с проектными нормами не более 10 мкм;
- создание отечественного 3D принтера аэрозольной печати.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: имеются ли перспективы получения элементов микроэлектроники размером в нм; каково Ваше мнение о наноиmprинтной литографии, позволяющей получать такие размеры? Проводили ли Вы исследования проводящих контактов из ИТО, имеющего широкий диапазон значений проводимости и прозрачности в зависимости от режима отжига, по сравнению с применяемыми Вами наполнителями – серебром и углеродной нитью? В какой позиции можно расположить графен относительно рассмотренных Вами материалов?

17. При подведении итогов заседания председатель Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», президент РАН, академик РАН Г.Я. Красников выразил уверенность в усилении сотрудничества между организациями и предприятиями в области освоения и совершенствования производства материалов для микроэлектроники.

## **РЕШИЛИ:**

1. Принять к сведению заслушанные доклады и их обсуждение.
2. Подготовить предложения по созданию Научного совета РАН по микроэлектронике и особочистым материалам для микроэлектроники в соответствии с п. «3. Создание новых форм интеграции научно-

исследовательской и производственно-технологической деятельности» («формирование в системе федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» научных советов по приоритетным направлениям критических и сквозных технологий. Их функция — целеполагание, мониторинг и проведение экспертизы научных исследований в интересах технологического развития. Такие советы должны включать главных конструкторов и главных технологов по соответствующим технологическим направлениям») Концепции технологического развития на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р (отв. академик РАН С.М. Алдошин, член-корреспондент РАН Е.С. Горнев, срок – июнь 2023 г.).

3. Авторам докладов в адрес ученого секретаря предоставить (при наличии) конкретные предложения с указанием заказчика, технических требований и предложений со стороны исследователей и разработчиков с целью рассмотрения возможности постановки НИОКР с финансированием в рамках программы по особочистым материалам.
4. По готовности запланировать продолжение заседания с рассмотрением вопросов производства фоторезистов и антиотражающих покрытий (включая соответствующие методики измерения их характеристик), особочистого кварца, кварцевых заготовок, мишеней, прекурсоров и др. материалов для микроэлектроники.

*Приложение.* Материалы, полученные после проведения совместного заседания – на 1 стр. в 1 экз.

Ученый секретарь Научного совета  
ОНИТ РАН «Фундаментальные  
проблемы элементной базы  
информационно-вычислительных  
и управляющих систем  
и материалов для ее создания»,  
к.т.н.

Тельминов О.А.

Ученый секретарь Научного совета РАН  
по материалам и наноматериалам,  
д.х.н.

Бадамшина Э.Р.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

**Материалы, полученные после проведения совместного заседания  
Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы  
информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для  
ее создания» и Научного совета РАН по материалам и наноматериалам  
по теме «Импортозамещение материалов для микроэлектроники»  
(проведено 31 мая 2023 г., г. Москва)**

В ходе обсуждения доклада к.х.н. Мочалова Леонида Александровича (ННГУ им. Н.И. Лобачевского) «Современные технологии глубокой очистки и синтеза базовых материалов микроэлектроники и ИК-оптики. Состояние и перспективы» было сформулировано, что актуальной проблемой при создании новых прорывных технологий микро- и наноэлектроники является переход к «сухим» литографическим процессам. Переход к «сухим» литографическим процессам сдерживается отсутствием подходящих материалов, недостаточной проработкой физико-химических основ, а также изученностью химических реакций, лежащих в основе процессов. В качестве материалов для осуществления формирования элементов изделий микроэлектроники с элементами нанометрового диапазона в современной литографии могут быть использованы неорганические фото- и электронные резисты на основе литографических халькогенидных стекол.

Технологические подходы, разработанные в ННГУ им. Н.И. Лобачевского могут позволить совместно с Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук (ИПТМ РАН) разработать новые прорывные «сухие» литографические технологии.