

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Болдырева Николая Алексеевича** на тему «Ослабление отраженной СВЧ волны структурой планарного метаматериала, содержащего тонкие пленки», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Тонкие металлические слои нанометровой толщины давно используют в органической и гибридной электронике. Накопленный опыт показывает, что свойства такого слоя задаёт не собственно его толщина, а то сопротивление, которое при этой толщине получается. Работа Н.А. Болдырева доказывает, что в задаче ослабления отражённой СВЧ волны действует то же правило.

Автор установил, что поглощение алюминиевой плёнки становится наибольшим при толщине около 5–7 нм, чему отвечает поверхностное сопротивление от 300 до 400 Ом. В этот интервал попадает величина 377 Ом, то есть волновое сопротивление свободного пространства. Совпадение вряд ли случайно: плёнка поглощает лучше всего тогда, когда её сопротивление согласовано с сопротивлением среды, откуда приходит волна. К этому результату автор пришёл опытным путём, и то, что он сходится с давно известным условием согласования, говорит в пользу качества измерений.

В работе ценно также то, что плёнка изучена не сама по себе, а вместе с планарной метаструктурой, на которую она нанесена, причём вклад каждого слоя автор проследил порознь. Изложение построено от простого к сложному, читать его удобно, и по нему видно, что даёт каждый элемент конструкции.

По автореферату имеются следующие замечания.

1. Из текста не понятно, почему выбран именно алюминий. Нужное поверхностное сопротивление можно получить и на других металлах, и на проводящих оксидах, а от материала зависят и однородность слоя, и воспроизводимость его характеристик от образца к образцу. Хотелось бы знать, чем руководствовался автор.

2. В тексте ничего не сказано о том, как плёнка ведёт себя со временем. Алюминий на воздухе окисляется, и при толщине в несколько нанометров толщиной образующегося оксида пренебречь уже нельзя. Было ли измерено поверхностное сопротивление пленки спустя недели или месяцы после ее формирования, была ли защищена поверхность плёнки?

3. Нет данных о температурной зависимости характеристик пленочного покрытия. Сопротивление металлической плёнки с температурой меняется, а оптимум, судя по приведённым результатам, лежит в довольно узком интервале значений. Насколько при

нагреве или охлаждении смещается достигнутый уровень ослабления, из автореферата не видно.

Замечания эти относятся к материаловедческой стороне работы и существа полученных автором результатов не затрагивают. Диссертация Болдырева Николая Алексеевича удовлетворяет критериям, которые Положение о присуждении учёных степеней предъявляет к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор достоин присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

1 сентября 2026 г.



А.Р. Тамеев

Тамеев Алексей Раисович доктор физико-математических наук по специальности 02.00.04 – Физическая химия, главный научный сотрудник лаборатории электронных и фотонных процессов в полимерных наноматериалах ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук».

119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4.

тел. +7 (495) 955-40-32, e-mail: tameev@elchem.ac.ru

Я, Тамеев Алексей Раисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета ЮФУ801.01.19, и их дальнейшую обработку.

1 сентября 2026 г.



А.Р. Тамеев

Подпись Тамеева Алексея Раисовича заверяю:

Секретарь Ученого совета ИФХЭ РАН,
К.Х.Н.



И.Т. Варшавская