

Статья опубликована в журнале *Applied Physics Letters*. Ученым и инженерам алмазы интересны прежде всего своими уникальными прочностными, оптическими, тепловыми и электрическими свойствами, используемыми в различных научноемких приложениях, помимо алмазного инструмента. Это, например, мощные рентгеновские лазеры на свободных электронах, мощные источники СВЧ-излучения (гиротроны) и детекторы высокоэнергетических частиц на ускорителях различного типа.

Алмаз относится к классу широкозонных полупроводников. На основе алмазов, легированных бором и фосфором, разрабатываются компоненты высокопрочной (экстремальной) электроники с дырочным и электронным типом проводимости соответственно. В последние десятилетия значительно возрос интерес к алмазам, легированным азотом, поскольку азот-вакансационные центры в алмазе обладают уникальными квантовыми характеристиками, необходимыми в том числе для квантовой магнитометрии с беспрецедентно высокой чувствительностью.

Однако электронные свойства алмазов, легированных азотом, недостаточно полно изучены, главным образом ввиду высокой технической сложности изготовления экспериментальных образцов «электронного» качества. Они должны быть однородны по концентрации примесного азота и с минимальными концентрациями других примесей. Кроме того, алмазы должны быть достаточно крупных размеров. Это необходимо для проведения прецизионных исследований с помощью эффекта Холла — возникновения так называемого холловского напряжения (и тока) при приложении магнитного поля перпендикулярно основному направлению электрического тока в образце.

«Сложности в проведении подобных экспериментов на алмазах, легированных азотом, сопряжены еще и с высокими требованиями, предъявляемыми к качеству электрических контактов, изготавляемых на поверхности образцов. Кроме того, мы проводили измерения при достаточно высоких температурах (300–700 градусов) в защитной атмосфере высокочистого аргона. В целом подготовка и исследование серии уникальных крупных (пять карат) синтетических монокристаллов алмаза легированных азотом представляет собой достаточно сложный эксперимент мирового уровня. Данная работа потребовала применения современного высокоточного и высокочувствительного научного оборудования. У нас в ТИСНУМе и на базовой кафедре физики и химии наноструктур МФТИ все необходимое для этого есть», — рассказывает Сергей Буга, доцент кафедры физики и химии наноструктур МФТИ, главный научный сотрудник ГНЦ ТИСНУМ.

Исследователи из ТИСНУМ и МФТИ провели уникальные эксперименты и впервые

измерили зависимости удельного сопротивления, концентрации и подвижности свободных электронов от температуры в алмазах, легированных азотом, в виде одиночных атомов замещения, которые обеспечивают электронный тип проводимости. Основную группу синтетических алмазов, производимых в мире, составляют именно такие алмазы. И хотя доля такого типа алмазов среди всех природных кристаллов относительно невелика, порядка 0,1 процента, но при современных объемах добычи алмазов это очень большие количества. Поэтому полученные новые фундаментальные зависимости существенно пополняют знания о полупроводниковых свойствах как синтетических, так и природных алмазов.

«Алмаз — уникальный материал, который известен тысячи лет. Любые исследования в этой области, которые раскрывают какие-то новые сведения о таком классическом материале, будут полезны при создании новых электронных, оптоэлектронных, квантовых устройств, — комментирует Сергей Буга. — Например, коллеги из Японии уже создают диоды, транзисторы и микросхемы с использованием легированных азотом алмазов, а в России разрабатываются светодиоды и фемтосекундные лазеры на основе азот-вакансационных оптических центров в легированных азотом алмазах».