

циональные возможности рассматриваемого метода и является важным при определении путей токов утечки контролируемой сети постоянного тока, а также повышает точность определения R_3 , так как выражение (3) не зависит от напряжения U сети и, таким образом, от его нестабильности в процессе эксплуатации. Это в свою очередь повышает надёжность измерений при непрерывном мониторинге сетей постоянного тока и позволяет проводить автоматический контроль изоляции с возможностью отыскания мест повреждения без отключения оборудования.

1. Цапенко Е.Ф. Контроль изоляции в сетях до 1000 В. М. "Энергия", 1972.
2. А.с. СССР №1074829, МПК G 01R 27/18. Способ измерения сопротивления изоляции электрических сетей и устройство для его осуществления./В.С.Осетров и Г.Е.Пикулин. - №3514492/18-21; Заявлено 24.11.82; Опубл. 23.02.84, Бюл. №7.
3. Патент РБ на полезную модель № 7122, МПК G 01R 23/16. Устройство для определения параметров переходного процесса./ И.И. Брановицкий, Г.И. Размыслович, П.Д.Мацкевич. - № u20100631; Заявлено 13.07.2010; Опубл. 15.12.2010.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИНТЕТИЧЕСКОМ АЛМАЗЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Русецкий М.С., Казючиц Н.М., Казючиц В.Н., Наумчик Е.В.

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Введение

Уникальные тепловые свойства алмаза, высокая теплопроводность и малая теплоемкость, определяют значительный интерес к созданию на его основе быстродействующих датчиков температуры – терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Основной проблемой при создании таких приборов является плохая воспроизводимость их параметров, которая обусловлена сильной неоднородностью дефектно-примесного состава исходных кристаллов. Кроме того, природные кристаллы имеют достаточно высокую стоимость. Для снижения стоимости приборов возможно использовать более дешевые синтетические алмазы, которые, как правило, содержат значительно больше примесей, чем природные. Большая концентрация технологических примесей, прежде всего азота и никеля, существенно ограничивают применимость ионной имплантации бора для создания термочувствительных слоев [1].

Целью этой работы было исследование возможности создания терморезисторов на основе синтетического алмаза с использованием радиационных дефектов ионной имплантации.

Эксперимент

В работе использовались плоскопараллельные пластины, вырезанные из кристаллов синтетического алмаза производства РУП "Адамас БГУ". Характерной их особенностью является наличие желтых и бесцветных областей. Желтая окраска кристаллов определяется повышенным содержанием азота в С-форме (изолированные атомы азота, замещающие атомы углерода в узлах кристаллической решетки). В желтых областях концентрация С-формы азота достигала $2\text{--}3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. В бесцветных областях концентрация была, как минимум, на порядок величины ниже.

На поверхности пластин с помощью ионной имплантации формировалась матрица терморезисторов. Каждый резистор состоял из двух контакт-

ных областей размером $200 \times 200 \text{ мкм}$ и расположенной между ними резистивной области того же размера. Контактные области формировались полиэнергетической имплантацией бора суммарной дозой $8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ с последующим отжигом в вакууме при температуре 1450°C . Резистивные области изготавливались имплантацией фосфора с энергией 180 кэВ в диапазоне доз от 10^{14} до $4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Изготовленные резистивные структуры подвергались изохронному отжигу в вакууме в интервале температур от 300 до 1450°C . Фиксированная геометрия структур позволяла определять удельную слоевую проводимость двухзондовым методом. На каждой пластине измерялись температурные зависимости проводимости 20 резисторов. Из анализа результатов измерений определялись среднее значение и дисперсия проводимости и энергии активации проводимости.

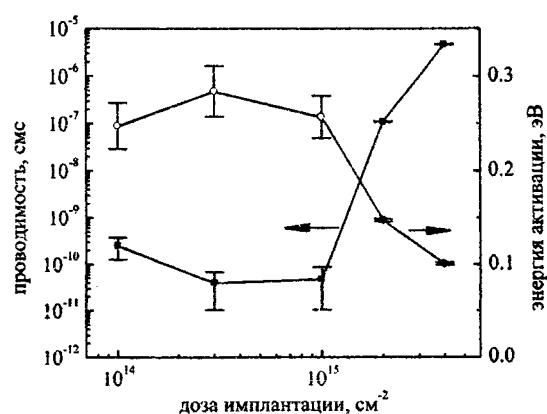


Рисунок 1 – Зависимости проводимости при 20°C и энергии активации проводимости от дозы имплантации

Результаты

Электрические характеристики облученного слоя и их изменения в ходе дальнейшего термического отжига существенно зависят от соотношения

дозы имплантации и дозы аморфизации [2]. Для определения дозы аморфизации были проведены измерения проводимости и энергии активации при различных дозах имплантации. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

Из приведенных зависимостей видно, что при дозах более 10^{15} см^{-2} наблюдается резкий рост проводимости наряду с уменьшением энергии активации, свидетельствующие о превышении дозы аморфизации.

При проведении измерений было отмечено существенное изменение проводимости со временем уже при температуре образца 300°C . Авторы работы [2] связывают эти изменения с отжигом радиационных дефектов междоузельного типа. Поскольку максимальная рабочая температура алмазных терморезисторов составляет $300\text{--}400^\circ\text{C}$, для изготовления терморезистора имплантированные слои требуют, как минимум, стабилизационного отжига при температуре выше максимальной рабочей температуры.

На рисунке 2 представлены зависимости проводимости и энергии активации проводимости от температуры отжига для двух доз имплантации - 10^{14} и 10^{15} см^{-2} .

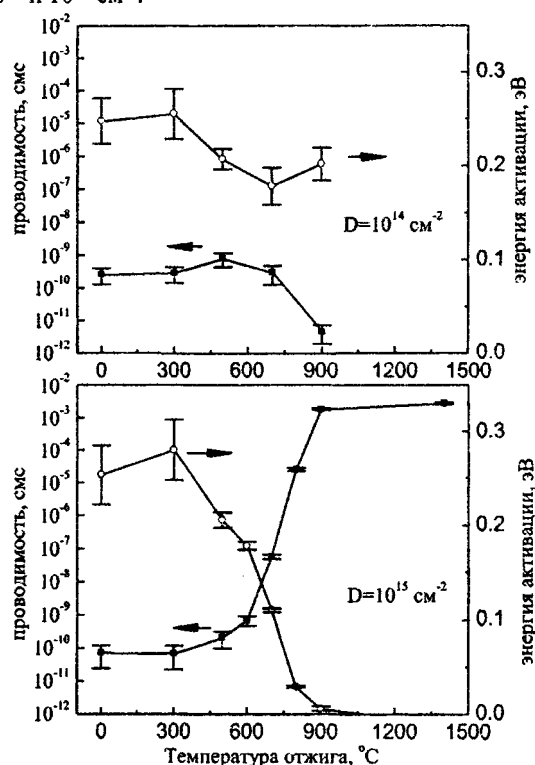


Рисунок 2 – Зависимости проводимости при 20°C и энергии активации проводимости от температуры отжига для доз имплантации 10^{14} и 10^{15} см^{-2}

Из рисунка видно, что непосредственно после имплантации как проводимость, так и энергия активации для обеих доз достаточно близки. Существенным является то, что разброс как одного, так и дру-

го параметра в пределах одной пластины очень велик, что свидетельствует о существенной роли примесного состава пластин на электрические свойства имплантированных слоев. Так, проводимость резисторов на каждой пластине при комнатной температуре может отличаться на порядок.

При проведении термического отжига поведение структур существенно различается. Повышение температуры отжига для дозы облучения 10^{14} см^{-2} сопровождается уменьшением проводимости вплоть до уровня шумов уже при температуре 900°C . Для дозы имплантации 10^{15} см^{-2} , наоборот, наблюдается резкий рост проводимости с одновременным уменьшением энергии активации при температурах отжига выше 600°C . Различный характер поведения зависимостей объясняется тем, что доза имплантации 10^{15} см^{-2} превышает, а доза 10^{14} см^{-2} лежит ниже порога аморфизации.

Необходимо отметить, что величина проводимости исходных структур является недостаточно высокой для практического использования. Поскольку в случае малых доз имплантации проводимость резисторов уменьшается при отжиге, этот режим, по-видимому, не представляет практического интереса. В случае больших доз имплантации термическая обработка позволяет получить высокую проводимость, но при этом снижается энергия активации проводимости. Тем не менее, в этом случае выбор режимов отжига позволяет получить приборы, пригодные для практического использования. Необходимо отметить, что для дозы имплантации 10^{15} см^{-2} при увеличении температуры отжига наблюдается существенное уменьшение относительной погрешности параметров терморезисторов. Так отжиг при 700°C позволяет получить сопротивление при комнатной температуре $\sim 15 \text{ МОм} \pm 15\%$ при энергии активации $\sim 0.12 \text{ эВ}$ (ТКС $\sim 1.5\%/K$).

Заключение

Проведенные исследования показали, что использование доз имплантации, превышающих дозу аморфизации, и последующий термический отжиг позволяют сформировать в синтетическом алмазе терморезисторы с параметрами, пригодными для практического применения. Сопротивление структур на основе таких слоев может быть уменьшено оптимизацией геометрии этих структур.

1. Алмаз в электронной технике. Сб. статей под ред. В.Б. Кваскова, М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. The nature of damage in ion-implanted and annealed diamond/ R. Kalish, A. Reznik, K.W. Nugent, S. Prawer // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B -1999.-Vol.148, - P.626-633