

Завершенных проектов умных городов практически нет. Создание Smart City, трудоемкий и наукоемкий процесс, требующий больших денежных вложений. Обработка больших потоков информации требует больших энергетических затрат, а для хранения данных нужны мощные сервера. Все это не является непреодолимым препятствием внедрения IT- технологий в повседневную жизнь.

С одной стороны, надо понимать, что в системе умных городов, человек, как дитя природы, станет совершенно незащищенным перед ней. У человека перестанет нормально работать иммунная система, вырабатываться инстинкт самосохранения. Поэтому очень важно, чтобы человечество нашло разумный баланс между законами природы и научно-техническим прогрессом.

УДК 538.97

РАСЧЁТ НАПРЯЖЕНИЙ В АЛМАЗЕ, ИМПЛАНТИРОВАННОМ ИОНАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Хорунжий И.А., Мартинович В.А.,
Русецкий М.С., Казючиц В.Н., Казючиц Н.М.
(*Белорусский национальный технический университет,
Белорусский государственный университет*).

Одним из основных технологических инструментов при создании приборных структур на основе алмаза является ионная имплантация [1]. Неизбежный недостаток этой технологии – образование в имплантированном кристалле большого числа вакансий и смещенных атомов. Известно, что радиационные повреждения кристаллической решетки приводят к её разбуханию [2]. Таким образом, на границе между облученным и неповрежденным слоями кристалла возникают механические напряжения. При внедрении ионов с низкими энергиями (десятки, сотни кэВ) имплантированный слой локализован близко (менее 1 мкм) к поверхности и напряжения в значительной степени уменьшаются за счет этого. При имплантации высокоэнергетических ионов (десятки, сотни МэВ) облученный

слой составляет десятки микрометров, что позволяет накапливать в имплантированном слое алмаза гигантские напряжения. Напряжения в этом случае распространяются на большую глубину и распределены неравномерно [2].

Цель работы – численное моделирование распределения напряжений в имплантированном ионами Хе с энергией 167 МэВ алмазе.

В работе [2] с использованием метода комбинационного рассеяния света (КРС) исследовано распределение напряжений в алмазе, имплантированном ионами Хе с энергией 167 МэВ. Величина напряжений определялась по сдвигу Рамановской линии 1332 см⁻². Значения среднего пробега ионов Хе и значения разброса пробега, рассчитанные с помощью программы TRIM, составили 10.67 мкм и 0.44 мкм, соответственно. Распределение напряжений зависело от дозы имплантации. Для низких доз имплантации за пробегом ионов напряжения, приводящие к расширению решетки, уменьшались с глубиной. Для высоких доз имплантации распределение напряжений за пробегом имело более сложный характер: за областью расширения решетки следовала область сжатия, которая монотонно релаксировала с глубиной.

Для моделирования использовалась имплантация ионов с флюенсом $3.55 \cdot 10^{14}$ см⁻². Облученная область пластины алмаза реального размера разбивалась на две части, одна из которых (до глубины залегания примеси) содержит вакансии, другая (глубина залегания примеси) – вакансии и ионы примеси. Вводились численные значения концентраций вакансий и примеси, полученные из TRIM. В использованной компьютерной программе есть возможность моделирования термонапряжений. В связи с этим подобраны соответствующие коэффициенты объемного температурного расширения, соответствующие определенным концентрациям вакансий и примеси, для разных слоев пластины, которые позволили получить значения давлений, эквивалентные напряжениям, возникающим вследствие имплантации.

На рисунке 1 представлена модель алмазной пластины после имплантации. Видно, что имплантация приводит к изгибу всей пластины, как наблюдалось в экспериментах [2].

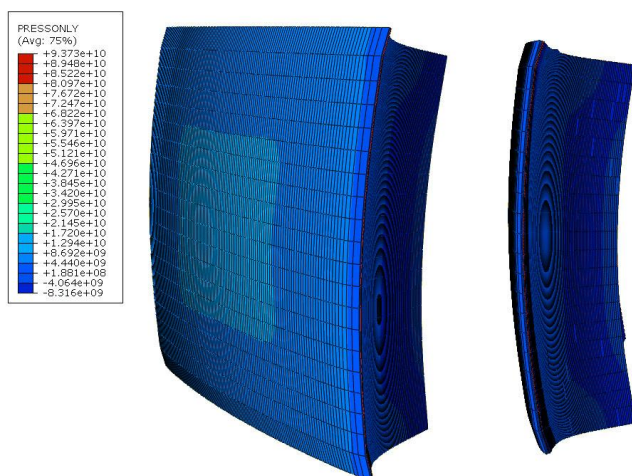


Рис.1. Модель алмазной пластины, имплантированной ионами Хе с энергией 167 МэВ флюенсом $3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$

В приповерхностном облученном слое рассчитанное значение давления совпадает с экспериментальным и составляет $2,9 \times 10^9 \text{ Па}$. На глубине залегания примеси получены завышенные значения, что может быть связано с тем, что в этой области надо учитывать механизмы, приводящие к значительному уменьшению концентрации вакансий.

На рисунке 2 показано распределение давления вдоль торца алмазной пластины от проективного пробега ионов Хе до противоположной неимплантированной поверхности. Распределения приведены для боковой поверхности пластины (кривая 0 мкм) и для поперечного сечения пластины на расстоянии 25 мкм от боковой поверхности (кривая 25 мкм). Расстояние 25 мкм соответствует максимальной глубине возбуждения КРС при поперечном сканировании в экспериментах [2].

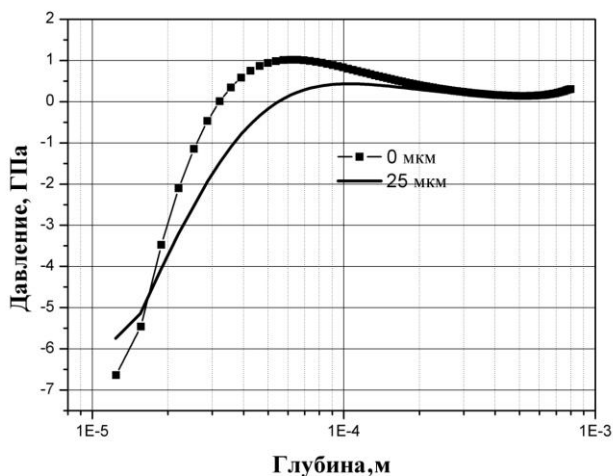


Рис.2. Распределение давления вдоль торца алмаза по середине боковой поверхности (■) и на глубине 25 мкм от поверхности (--). Отрицательные значения соответствуют расширению решетки, положительные – сжатию.

Как видно из рисунка 2, вид поперечного распределения возникающих давлений зависит от расстояния до периметра пластины. Так, на боковой поверхности расширение решетки, соответствующее отрицательным значениям давления, на глубине 30 мкм меняется на сжатие, что соответствует положительным значениям давления. Сжатие усиливается до 70 мкм и не исчезает вплоть до противоположной грани. Кривая, снятая на расстоянии 25 мкм от боковой поверхности, показывает, что смена расширения решетки на сжатие происходит на глубине 70 мкм.

Анализ рассчитанных и экспериментальных результатов показал, что наблюдается хорошее качественное и количественное соответствие между данными [2], полученными на основе анализа спектров комбинационного рассеяния алмаза, облученного ионами Хе с энергией 167 МэВ флюенсом $3.55 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, и результатами численного моделирования. Обнаружено, что расширение решетки в облученном слое приводит к изгибу всей алмазной пластины, где

необлученная часть алмаза находится под действием сжимающих напряжений, распределение которых носит сложный характер.

Литература

1. Вавилов В. С. Возможности и ограничения ионной имплантации в алмаз и их сопоставление с другими методами введения электрически активных примесей // Успехи физических наук. 1994. Т. 164. № 4. С. 429 – 433.

2. 3. Raman scattering in diamond irradiated with high-energy xenon ions / N.M.Kazuchits, O.V.Korolik, M.S.Rusetsky, V.N.Kazuchits, N.S.Kirilkinb, V.A.Skuratov // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2020. Т. 472. С. 19 – 23.

УДК 539.16.08+004.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

Качан С.М.¹, Мингалеев С.Ф.²

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

²VPI Development Center, Минск, Беларусь

Счетчик Гейгера-Мюллера (ГМ) является одним из самых распространенных типов детекторов ионизирующего излучения благодаря простоте конструкционного исполнения и невысокой стоимости. Однако к числу недостатков такого типа детекторов следует в первую очередь отнести большое разрешающее время τ , т.е. минимальный промежуток времени, которым должны быть разделены пролёты частиц через счетчик для того, чтобы они были зарегистрированы отдельно.

Этот интервал времени для счетчика ГМ составляет от нескольких микросекунд до нескольких миллисекунд, и формируется из двух составляющих: (I) мертвое время самого детектора, известное как собственное мертвое время, и (II)