Письма в ЭЧАЯ. 2025. Т. 22, № 5(262). С. 1076–1077

ASSESSING THE SENSITIVITY OF A SINGLE CRYSTAL CVD DIAMOND DETECTOR WITH SYNCHROTRON MICRO-BEAM TECHNIQUES

M. A. E. Abdel-Rahman [a, b, 1], *W. R. Alharbi* [c], *M. Y. M. Mohsen* [a], *A. Abdelghafar Galahom* [d], *A. El-Taher* [e], *J. Smedley* [f], *A. Lohstroh* [b]

[a] Nuclear Engineering Department, Military Technical College, Kobry El-Kobba, Cairo, Egypt
[b] Department of Physics, University of Surrey, Guildford, Surrey GU2 7XH, United Kingdom
[c] Physics Department, College of Science, University of Jeddah, Jeddah, 23890, Saudi Arabia
[d] Higher Technological Institute, 10th of Ramadan City, Egypt
[e] Physics Department, Faculty of Science, Al-Azhar University, Assiut Branch, Assiut, 71524, Egypt
[f] SLAC National Accelerator Laboratory, Stanford University, California 94025, USA

In this study, X-ray sensitivity mapping was performed using a synchrotron micro-beam at the National Synchrotron Light Source (NSLS, USA) on a low-purity single crystal CVD diamond sample labeled VS-Pt. This CVD-grown sample was chosen for its unique characteristics, including thin nitrogen lines and substrate areas, which can be identified and observed through synchrotron micro-beam mapping.

The objective of the study was to investigate the effects of varying pulsed bias voltage, beam size, beam step displacement, and device annealing on the homogeneity of the current response in the maps. Additionally, the impact of DC bias voltage, bias polarity, and bias pulse width was explored to determine the optimal conditions for synchrotron measurements. Theoretical relationships between the averaged normalized response and the applied bias voltage under synchrotron irradiation were also examined.

The results showed that, compared to the annealed sample, the average normalized response of the detector reached saturation at a shorter pulse width for the bias voltage. Bias polarity did not significantly affect the device sensitivity, which contrasted with the annealed sample that exhibited noticeable variations in the images. Sensitivity saturation in the un-annealed sample occurred at 200 V or less. After annealing, the normalized response at −20 V increased linearly with pulse width, while the response at +20 V showed a slight tendency toward saturation, indicating that bias polarity influenced sensitivity. Following annealing, the sensitivity increased, possibly due to photoconductive gain resulting from a sensitizing effect. Moreover, the sensitivity was influenced by the sign of the DC bias, which differed from the pre-annealing response, where minimal differences were observed between images at positive and negative biases. Points near the nitrogen line exhibited slower current rise and decay times, likely due to shallow trap levels, while the substrate region showed lower photocurrent. Bias polarity affected the current amplitude, potentially due to polarization effects.

When comparing the theoretical and experimental results for the VS-Pt sample, the theoretical values consistently fell below the experimental data. The sensitizing effect may contribute to this higher-than-expected response. Finally, as the beam size and/or step size decreased, the device

[1]Corresponding author, e-mail: marahmanea@gmail.com; marahman_e@yahoo.com; mabdelrahman@mtc.edu.eg

sensitivity increased. This phenomenon is likely associated with the priming effect (pre-irradiation), whereby the sample accumulates a larger pre-irradiation dose as the beam or step size decreases.

These insights could guide the development of detectors with improved spatial resolution, fast time response and dose-rate dependence, which are crucial for applications in dosimetry for X-ray radiotherapy and radiobiology applications as well as in beam monitors for accelerators and synchrotron radiation measurements.

В данном исследовании мэппинг рентгеновской чувствительности проводился с использованием синхротронного микропучка в Национальном источнике синхротронного излучения (НИСИ, США) на образце монокристаллического ХОГ-алмаза низкой чистоты, маркированном VS-Pt. Этот образец, выращенный методом химического осаждения из газовой фазы, был выбран из-за его уникальных характеристик, включая тонкие линии азота и области подложки, которые можно идентифицировать и наблюдать с помощью мэппинга синхротронным микропучком.

Целью исследования было изучение влияния изменения импульсного напряжения смещения, размера пучка, смещения шага пучка и отжига устройства на однородность отклика тока на картах. Кроме того, было изучено влияние напряжения смещения постоянного тока, полярности смещения и ширины импульса смещения для определения оптимальных условий для синхротронных измерений. Также были исследованы теоретические соотношения между усредненным нормализованным откликом и приложенным напряжением смещения при синхротронном облучении.

Результаты показали, что по сравнению с отожженным образцом средний нормализованный отклик детектора достиг насыщения при более короткой длительности импульса напряжения смещения. Полярность смещения не оказала существенного влияния на чувствительность устройства, в отличие от отожженного образца, который продемонстрировал заметные изменения в образцах. Насыщение чувствительности в неотожженном образце наступало при напряжении 200 В и менее. После отжига нормализованный отклик при -20 В линейно увеличивался с шириной импульса, в то время как отклик при $+20$ В демонстрировал небольшую тенденцию к насыщению, что указывает на то, что полярность смещения влияет на чувствительность. После отжига чувствительность увеличилась, возможно, из-за усиления фотопроводимости в результате сенсибилизирующего эффекта. Более того, на чувствительность влиял знак смещения постоянного тока, который отличался от отклика до отжига, где наблюдались минимальные различия между визуализациями при положительном и отрицательном смещениях. В точках вблизи линии азота наблюдалось более медленное нарастание и затухание тока, вероятно, из-за неглубоких уровней ловушек, в то время как в области подложки наблюдался более низкий фототок. Полярность смещения повлияла на амплитуду тока, возможно, из-за эффектов поляризации.

При сравнении теоретических и экспериментальных результатов для образца VS-Pt теоретические значения неизменно оказывались ниже экспериментальных данных. Сенсибилизирующий эффект может способствовать более сильной, чем ожидалось, реакции. Наконец, по мере уменьшения размера пучка и/или размера шага чувствительность устройства возрастала. Это явление, вероятно, связано с эффектом предоблучения (предварительным облучением), при котором образец накапливает большую дозу предварительного облучения по мере уменьшения размера пучка или шага.

Эти идеи могут послужить руководством для разработки детекторов с улучшенным пространственным разрешением, быстрым временем отклика и зависимостью от мощности дозы, которые имеют решающее значение для применения в дозиметрии для рентгеновской радиотерапии и радиобиологии, а также при мониторировании пучка для ускорителей и для измерений синхротронного излучения.

PACS: 81.05.ug; 29.40.Wk; 29.30.Kv; 73.22.Dj

Received on January 10, 2025.