

УДК: 621. 383. 415

ВЛИЯНИЕ ГАММА ЛУЧЕЙ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ МОНОКРИСТАЛЛА $\text{Ge}_{0.995}\text{Sm}_{0.005}\text{S}$

А.С. Алекперов, Г.С. Сеидли, А.Э. Набиев, Ф.А. Ахундова

Азербайджанский Государственный Педагогический Университет
aydin60@inbox.ru

Резюме: Впервые, методом Бриджмена были выращены монокристаллы $\text{Ge}_{0.995}\text{Sm}_{0.005}\text{S}$, проведены микроструктурные и рентгенографические анализы. Было установлено, что после облучения гамма лучами в малых дозах (30 крад), интенсивность рефлексов слоистого монокристалла GeS увеличивается и 4 раза, а для монокристалла $\text{Ge}_{0.995}\text{Sm}_{0.005}\text{S}$ в 30 раз. Это объясняется образованием и миграцией сложных комплексов Sm_2O_3 под действием гамма лучей. При диссоциации этих комплексов ионы Sm^{3+} аннигилируют дефекты, в результате упорядоченность в кристалле сильно возрастает.

Ключевые слова: кристаллическая структура, монокристалл, гамма лучи, радиационные дефекты, редкоземельные элементы, миграция дефектов, аннигиляция дефектов.

Интерес к монокристаллам GeS, относящимся к кристаллам со слоистой кристаллической структурой, возрос после того как стало возможным воспроизведение на его поверхности голографической записи [1]. За последние десять лет наибольший интерес к слоистым монокристаллам GeS появился после получения учеными Университета Северной Каролины Соединенных Штатов Америки наноструктуры на подобию гвоздики и изготовлении полевых транзисторов работающих в диапазоне высоких частот [2,3]. Так как наноструктурные ионы лития Li^+ обладают свойством интеркаляции, то, используя их, можно изготовить суперконденсаторы большой емкости и солнечные преобразователи [4]. Проведенные исследования показали, что слоистый монокристалл GeS будучи полупроводником с прямым переходом, является фоточувствительным полупроводниковым соединением в ближней инфракрасной и видимой областях спектра [5-8].

Традиционный подход по расширению области практического применения полупроводниковых материалов основан на использовании процессов легирования их примесями. При этом задача состоит в правильном выборе легирующей примеси. В отличие от других примесей, редкоземельные элементы (РЗЭ) характеризуются низким пределом растворимости кристаллической решетки и химической активностью. В результате кулоновского и химического взаимодействий с атомами матрицы РЗЭ образуют различного рода комплексы. Образованные комплексы обладают достаточно высокой устойчивостью и оказывают существенное влияние на свойства полупроводника, являясь эффективными центрами рассеяния ионизирующих излучений.

До 80-х годов прошлого столетия сложилось такое мнение, что проникающая радиация вызывает в твердых телах только радиационные повреждения [9]. Проведенные последовательные исследования установили, что в определенных дозах радиация может служить эффективным технологическим методом, который позволяет получать высококачественные полупроводниковые материалы. В наших случаях при облучении полупроводника гамма квантами малой дозы создается условие для упорядочения

структуры. Достоверность обнаруженного эффекта подтверждается рентгено-структурными и электронно-микроскопическими методами.

При прохождении частиц высоких энергии через кристаллы основными механизмами торможения являются упругие столкновения с ядрами и неупругие столкновения с электронами. Электронный механизм доминирует при облучении гамма квантами [10]. При достаточно высоком значении энергии налетающей частицы происходит смещение атома мишени из углового положения, что приводит к возникновению междоузельного атома и вакансии (пары Френкеля). В кристалле GeS под действием гамма квантов разрушаются дислокационные петли, которые образовались при объединении мелких ассоциации точечных дефектов, снижается концентрация дефектов и микронапряжений в кристалле. Из-за отсутствия комплексов, в состав которых включаются атомы РЗЭ и кислорода, упорядочение структуры под действием гамма квантов происходит очень слабо и интенсивность рефлексов возрастает всего в 2.25 раза.

В отличие от кристалла GeS в кристаллах $\text{Ge}_{0.995}\text{Sm}_{0.005}\text{S}$, при выращивании монокристалла, РЗЭ атомы Sm образуют комплексы Sm_2O_3 . При взаимодействии с кристаллом гамма кванты создают электронно-дырочные пары и существуют достаточно длительное время. Мигрируя по кристаллу, они захватываются дефектами, образуя заряженные междоузельные атомы и вакансии или их скопления. Заряженные дефекты интенсивно взаимодействуют между собой. Одноименные дефекты сливаются и образуют более крупные комплексы междоузельных атомов и вакансий. В случае встречи разноименных дефектов происходит их аннигиляция. При аннигиляции электрона и дырки генерируются фотон. Фотон взаимодействуя с комплексом его разваливает. Освободившийся кислород покидает кристалл, а появившиеся свободные междоузельные атомы аннигилируют с вакансиями. При аннигиляции пары Френкеля выделяется энергия и за счет этой энергии возникают новые электронно-дырочные пары. Последние снова захватываются дефектами, которые аннигилируют [11].

Описанный процесс изменяет состояние кристалла и приводит к упорядочению структуры кристалла. Таким образом, под действием гамма излучения малой дозой образуется упорядоченное состояние кристалла $\text{Ge}_{0.995}\text{Sm}_{0.005}\text{S}$ где в узлах кристаллической решетки находятся редкоземельные элементы.

Литература

1. Блецкан Д.И., Копинец И.Ф., Погорецкий П.П. Получение монокристаллов GeS, исследование их морфологии, ее влияния на запись голографических решеток. // Кристаллография, 1975, Т.20, №5, С.1008-1012.
2. Chun Li., Liang Huang., Gayatri Pongur Snigdha., Yifei Yuand Linyou Cao. Role of Boundary Layer Diffusion in Vapor Deposition Growth of Calcogenide Nanosheets: The Case of GeS. // ACS Nano, 2012, V.6, №10, P.8868-8877.
3. Rajesh K.U., Yi-Ying L., Chia-Yung K., Srinivasa R.T., Raman S., Karunakara M.B., Ankur A. High Photosensitivity and Broad Spektral Response of Multi-Layered Germanium Sulfide Transistors.//Naniscala, 2016, V.8, P.2284-2292.
4. Yong J.Ch., Hyung S.I., Yoon M., Chang H.K., Han S.K., Seung H.B., Young R.L. Germanium Sulfide (II and IV) Nanoparticles for Enhanced Perfomanse of Lithium Ion Batters. // Chemical Communications, 2013, V.49, p. 4661-4663.
5. Chang Yong L., Chun L., Yi. Y., Huayang G., and Shuai W. Synthesis of Single-Crystalline GeS Nanoribbons for High Sensitivity Visible-Light Photodetectors. // Journals of Materials Chemistry. C. 2015, V.3, p.8074-8079.

6. Bletskan D.I., Bletskan M.M., Kabatsi V.M., Mykaylo O.A. Application of A^{IV}B^{VI}-type Layered Crystals in the Modern Photonics. // International Conference of Physical Chemistry "ROMPHYSICHEM-15". Abstract book, Bucharest, Romania, 11-13 September, 2013, p.112.
7. Alekperov A.S. Production of Ge_{1-x}Ln_xS Monocrystals and their Electrophysical and Photoelectrical Properties. // Journal of Advances in Physics. 2015, V.10, p.2798-2801.
8. Джахангирли З.А., Гашимзаде Ф.М., Гусейнова Д.А., Мехтиев Б.Г., Мустафаев Н.Б. Фотопорог слоистого кристалла α -GeS: расчет из первых принципов.// ФТТ, 2018, Т.52, №7, С.699-701.
9. В.С.Вавилов, Н.А.Ухин. Радиационные эффекты в полупроводниках, Наука, Москва (1972).
10. И.П.Чернов, А.П.Мамонтов. Известия Томского Политехнического Университета, 1,74, (1994).
11. И.П.Чернов, А.П.Мамонтов, П.А.Черданцев. Известия вузов, Физика, 12, 58, (1994).

QAMMA ŞÜALARIN Ge_{0.995}Sm_{0.005}S MONOKRİSTALININ KRİSTALLİK QURULUŞUNA TƏSİRİ

A.S. Ələkbərov, H.S. Seyidli, A.Ə. Nəbiyev, F.A. Axundova

Xülasə: İlk dəfə tərəfimizdən Bricsmen metodu ilə Ge_{0.995}Sm_{0.005}S monokristalı yetişdirilmiş, mikrostruktur və rentgenoqrafik analizlər aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, kiçik dozalı (30 krad) qamma şüalanmadan sonra GeS laylı monokristalının difarktoqramlarının intensivlikləri 4dəfə artdığı halda, Ge_{0.995}Sm_{0.005}S monokristalında bu əmsal ~30 dəfə olur. Bunun səbəbi qamma şüaların təsiri ilə kristalda miqrasiya edən mürəkkəb Sm₂O₃ komplekslərinin yaranmasıdır. Həmin komplekslərin sonrakı dissosiasiyası nəticəsində yaranan Sm³⁺ ionları Frenkel defektlərini annihilyasiya etməklə kristalda yüksək nizamlılıq yaradır.

Açar sözlər: kristal quruluş, monokristal, qamma şüalar, radiasiya defektləri, nadir torpaq elementləri, defektlərin miqrasiyası, defektlərin annihilyasiyası.

THE INFLUENCE OF GAMMA RAYS ON THE CRYSTAL STRUCTURE OF SINGLE CRYSTAL Ge_{0.995}Sm_{0.005}S

A.S. Alekperov, H.S. Seidli, A.E. Nəbiyev, F.A. Axundova

Abstract: For the first time, Ge_{0.995}Sm_{0.005}S monocrystals were produced by Bricsmen method, microstructure and X-ray analysis were performed before and after gamma radiation of received crystals. It has been determined that intensities of reflexes in diphthograms have been increased four times in GeS layered monocrystals and 30 times in Ge_{0.995}Sm_{0.005}S crystals after small dose radiation. The investigations show that with the effect of small dose gamma radiation, the Sm₂O₃ complexes make crystalline magnetic resonance in the crystalline structure by making annihilation to the Frenkel type specific radiation defects.

Key words: crystal structure, monocrystal, gamma radiation, radiation defects, rare earth elements, defect migration, annihilation of defects