

Abdullayev Sherzod Shuxrat o'g'li
Farg'ona Politehnika Instituti, doktorant,
Otajonov Salim Madraximovich
Farg'ona davlat universiteti, Professor,
Boqirov Javohir Murod o'g'li
Farg'ona davlat universiteti, magistrant,
Ibragimova Shahnoza Akbarovna
Farg'ona davlat universiteti, magistrant
Tel: 93 643-14-33, e-mail: otajonov_s@mail.ru
UDK 621.315.593

**Strukturaviy tabiatning I guruh elementlari bilan biriktirilgan nanokristalli
CdTe plyonkalarining fotoelektrik xususiyatlariga ta'siri.**

Annotatsiya: Ushbu ishda struktura tabiatining I guruh elementi (Ag) bilan legirlangan nanokristallik CdTe qatlamlarining fotoelektrik xususiyatlariga ta'siri ko'rib chiqilgan. CdTe qatlamlari SiO₂-Si yuzasida hosil qilinganda [III] tekstura o'qi bilan kubik modifikatsiya kuzatilgan, shisha yuzasida hosil qilingan qatlamlarda esa ko'p sonli ikki o'lchamli nuqsonlar mavjudligi sababli oddiy kubik va geksagonal modifikatsiyalangan kadmiy telluridi hosil bo'lishi aniqlangan. Tekstura o'qining og'ish burchagi oshishi umumiy foto-EYuK ning ortishiga olib kelishi ko'rsatib berilgan.

Kalit so'zlar: kadmiy telluridi, yupqa qatlamlar, tekstura, foto-EYuK, fotookuvchanlik, kubik va geksagonal modifikatsiyalar.

Абдуллаев Шерзод Шухрат ўгли
Ферганский политехнический институт, докторант
Отажонов Салим Мадрахимович
Ферганский государственный университет, профессор,
Бокиров Жавохир Мурод ўгли
Ферганский государственный университет, магистрант,
Ибрагимова Шахноза Акбаровна
Ферганский государственный университет, магистрант,
Тел: 93 643-14-33, e-mail: otajonov_s@mail.ru

**Влияние структурные природы на фотоэлектрические свойства
нанокристаллических плёнок CdTe легированными I группы
элементами**

Аннотация: В данной работе рассмотрено влияние структурные природы на фотоэлектрические свойства нанокристаллических плёнок CdTe легированными первой группы элементами (Ag). Установлено, что в плёнках CdTe полученных на поверхность SiO₂-Si наблюдается ось текстуры [III] кубический модификации, а в плёнках полученных на поверхность стекло, из-за наличия большого количество двухмерных дефектов, которые приводит к образованию простое кубической и гексогональной модификации теллурида кадмия. Показано, что с увеличением угла наклона оси текстуры, проводит к росту суммарной фото ЭДС.

Ключивые слова: теллурид кадмия, тонкие пленки, текстура, фото-ЭДС, Фотопроводимость, кубической, и гексогональной модификации.

Abdullayev Sherzod Shukhrat's son
Fergana Polytechnic Institute, Doctoral Student,
Otajonov Salim Madrakhimovich
Fergana State University, professor,
Bokirov Javokhir Murod's son
Fergana State University, Master's Student,
Ibragimova Shahnoza Akbarovna
Fergana State University, Master's Student
Phone: 93 643-14-33, e-mail: otajonov_s@mail.ru

Influence of structural nature on photovoltaic properties of nanocrystalline CdTe films doped with group I elements

Abstract: In this paper the influence of structural nature on photovoltaic properties of nanocrystalline films of CdTe doped with the first group of elements (Ag) is considered. It is established that in films CdTe obtained on the surface of SiO₂-Si the texture axis [111] cubic modification is observed, and in films obtained on the surface of glass, due to the presence of a large number of two-dimensional defects, which leads to the formation of simple cubic and hexagonal modification of cadmium telluride. It is shown that with the increase of the angle of inclination of the texture axis, leads to the growth of the total photo EMF.

Key words: cadmium telluride, thin films, texture, photo-EDS, photoconductivity, cubic and hexagonal modifications.

1. Введение

Слои теллурида кадмия, полученные напылением в вакууме под косым углом на неориентированных подложках, вызывают значительный интерес из-за наблюдаемой на них аномально высокой фото-ЭДС. В работе [1] связал

фотовольтаические свойства пленок теллурида кадмия, полученных таким методом, с наличием текстуры в этих пленках, характер которой зависит от угла напыления. Позднее эта точка зрения была подтверждена другими исследователями [2-4], причем в работе [2] было показано, что в зависимости от условий напыления пленки теллурида кадмия могут иметь два типа текстуры, которым соответствует различный знак генерируемой фото-ЭДС.

Согласно данным этих исследований важными факторами, влияющими на структуру пленок, являются тип подложки, угол напыления, скорость напыления и температура подложки. Однако, не была комплексное исследования структура и фотоэлектрические свойства пленок от их толщины. Исследование изменения характера текстуры с увеличением толщины пленки, а также изучение зависимости угла наклона оси текстуры от угла напыления, позволило бы установить механизм формирования преимущественной ориентации косонапыленных пленок теллурида кадмия. Этот механизм может оказаться общим для всех соединений типа A_2B_6 .

2. Методика исследования

Нами исследовано пленки теллурида кадмия, полученные на подложках оксидированные кремния путем конденсации в высоком вакууме (10^{-6} мм.рт.ст.). Температура подложки во время напыления во всех случаях составляла около 250-300°C. Толщина пленок измерялась с помощью интерференционного микроскопа МИИ-4. Скорость напыления варьировалась от 0,35 до 1,0 нм/с. Структура выращенных слоев исследовалась методом рентгеновского анализа в диврактограмме. Обработку дифрактограммы методом Ритвельда с помощью программы Powder cell - 2.4. Фото-ЭДС измерялась инфракрасным спектрофотометр ИКС-14 при освещенности монохроматическим светом. Десять образцов толщиной α от 0,50 до 1,50 мкм были получены одновременно с помощью специального устройства для напыления, позволяющего одновременно

создавать образцы с углами напыления от 0° до 80° через каждые 10° (угол напыления измеряется от нормали к подложке). Скорость роста для этой серии образцов составляла от 0,40 до 0,46 нм/с. Размеры кристаллические зерно составляет 0,14 мкм [1].

3. Экспериментальные результаты и их обсуждения

Зависимость величины фото-ЭДС V_ϕ от угла напыления приведена на рис. 1.

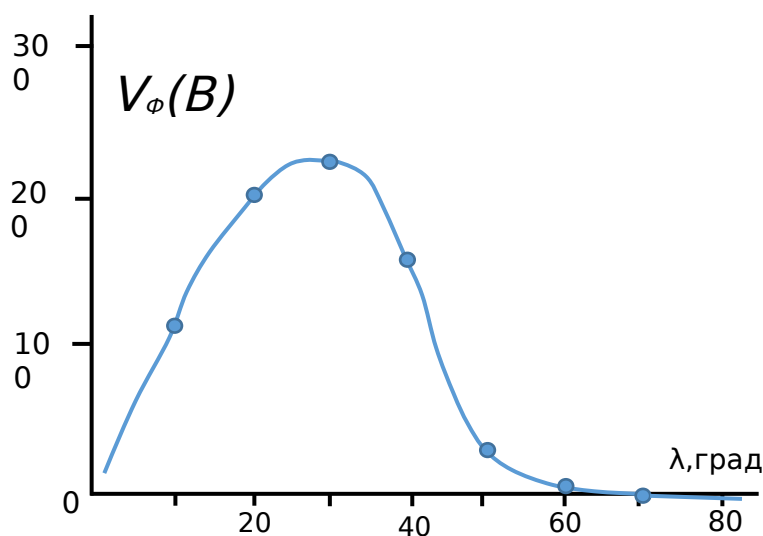


Рис. 1. Зависимость фото-ЭДС от угла напыления пленок CdTe: $d = 0,26-0,30$ мкм, $v_n = 0,40-0,46$ нм/с.

Все образцы этой серии генерировали фото-ЭДС положительной полярности (удалённый от испарителя конец образца заряжался положительно). Полярность и характер зависимости аналогичны результатам, полученным нами ранее в работе [1]. Максимальная фото-ЭДС наблюдалась при $\alpha = 30^\circ$. Электронографические исследования этой серии образцов показали, что пленки, напыленные под углами $\alpha \leq 20^\circ$, имеют структуру, аналогичную описанной в работе [1] (см. рис.4).

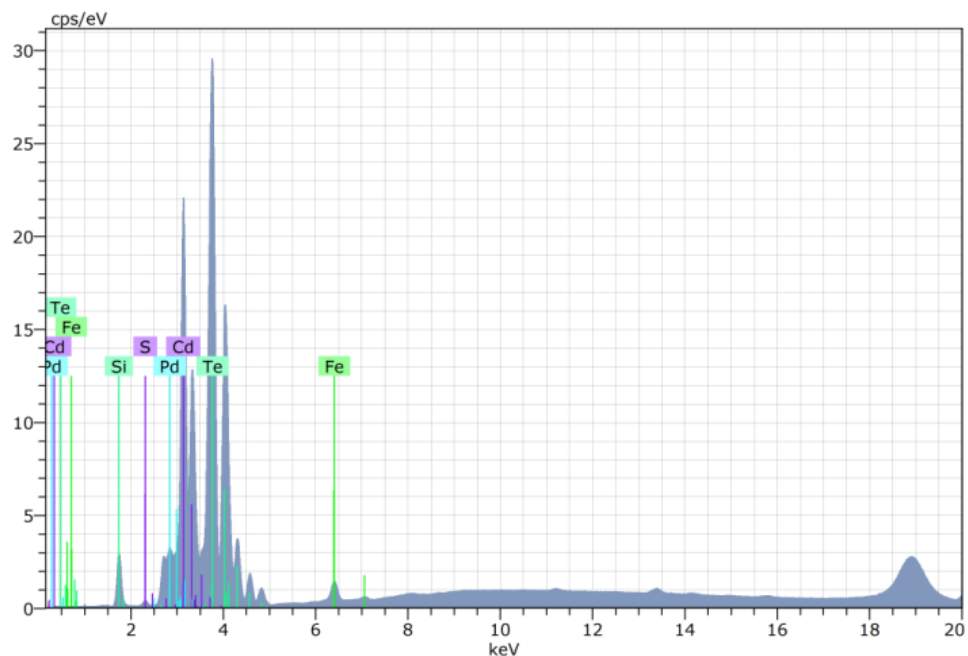


Рис. 2. Рентгенодифрактометрический анализ поликристаллических плёнок CdTe-SiO₂-Si без серебра.

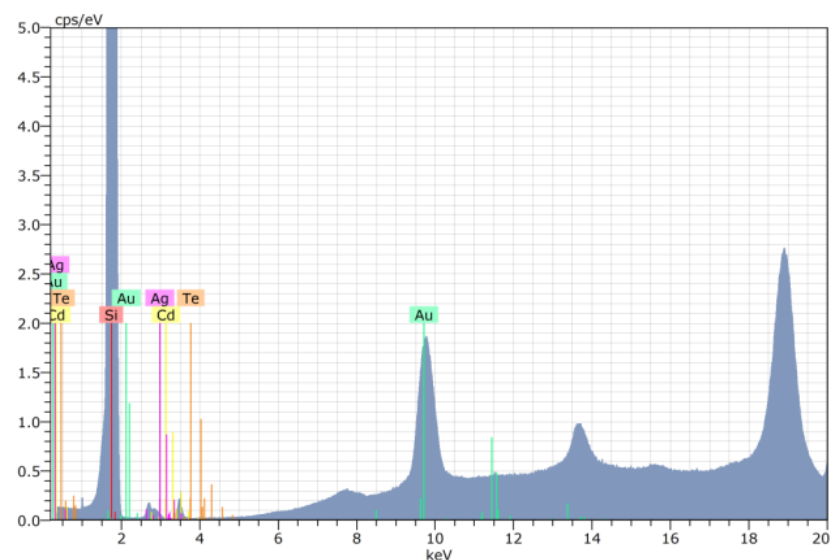


Рис. 3. Рентгено дифрактометрический анализ поликристаллических плёнок CdTe-SiO₂-Si с серебром.

На рис.2. представлена дифрактограмма исходного поликристаллического плёнка CdTe-SiO₂-Si. Как видно из рис.2. на дифрактограмме присутствует несколько пиков с различными интенсивностями. Рентгеновского пики исходного поликристаллического плёнка CdTe-SiO₂-Si соответствуют основным атомом CdTe в

кристаллической решётке. Как видно из рис.2 отсутствует пики принадлежащие серебро и видно только интенсивные пики Si, cd, Te.

На рис.3. представлены рентгеновские пики образцов первой группы элементами с пиками $2\Theta = 28,5^\circ$ и 95° соответствующие серебро и золото.

При сравнении двух дифрактограмм рис.2. и рис.3. было установлено, что они имеют определенные различия. В отличия пиков исходного поликристаллического плёнка CdTe, наблюдается пик, который относится примесными атомами серебро.

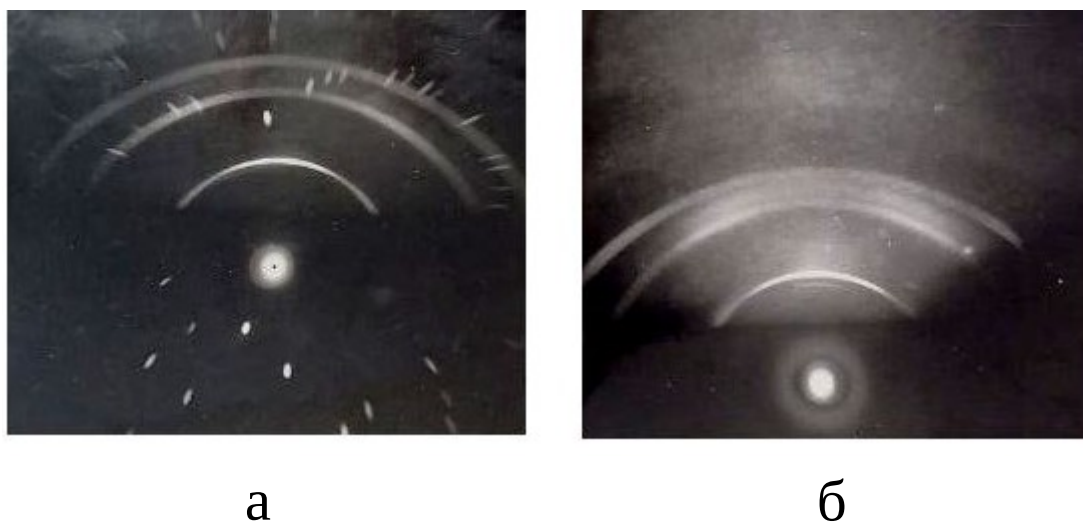


Рис.4. Электронограммы пленки и теллурида кадмия полученных на SiO₂-Si-угол при быстром (а) и медленном напыления (б)

Эта структура традиционно приписывается кубической модификации теллурида кадмия с осью текстуры [111] к [1-3]. Однако другие авторы (см., например, [5]) указывают на гексагональную текстуру с осью [001] г. Однозначная идентификация структуры затруднена наличием сильно диффузных рефлексов, что свидетельствует о наличии большого количества двумерных дефектов. Эти дефекты, по-видимому, являются нарушениями чередования плотно упакованных слоев, что приводит к образованию прослоек кубической и гексагональной модификаций теллурида кадмия, которые выступают в роли элементарных фотоэлементов [1]. При увеличением угла напыления угол наклона оси текстуры относительно

нормали к подложке β также увеличивается, при этом ось текстуры наклоняется в сторону $\beta \leq 0$, противоположную испарителю. С увеличением угла наклона оси текстуры возрастает проекция элементарных фото-ЭДС на плоскость подложки, что приводит к росту суммарной фото-ЭДС (см. рис. 1). Пленки, напыленные при угле 30° , имеют структуру другого типа (см. рис. 4б).

Пленка преимущественно состоит из гексагональной модификации **CdTe** с двумя осями текстуры [001], направленными в разные стороны. Результаты измерений угла наклона оси текстуры приведены на рис. 5.

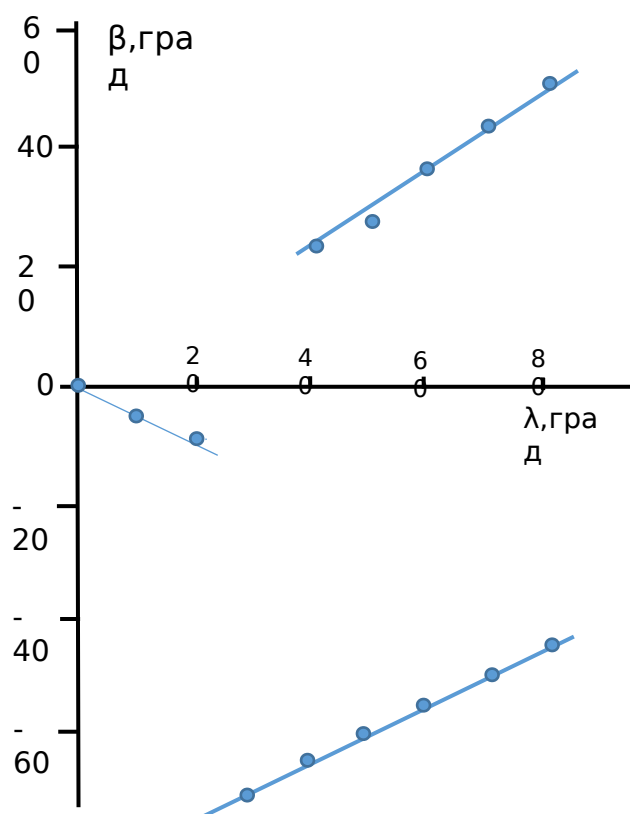


Рис. 5. Зависимость углов наклона осей текстур от угла напыления пленок CdTe . $V_n = 0,40-0,46$ нм/с.

Из полученных данных видно, что угол β приблизительно линейно зависит от угла напыления при $\alpha \geq 30^\circ$:

$\beta_1 = 0.65\alpha$ для оси, наклоненной в сторону испарителя (прямая текстура), и $\beta_2 = 0.5\alpha - 85^\circ$ для оси, наклоненной в обратную сторону (обратная текстура).

Наличие в пленке двух текстур свидетельствует о существовании областей, генерирующих фото-ЭДС противоположной полярности. Полярность суммарной фото-ЭДС зависит от относительной величины положительной (от обратной текстуры) и отрицательной (от прямой текстуры) фото-ЭДС. Было замечено, что интенсивность рефлексов обратной текстуры на электронограммах всегда больше, чем интенсивность рефлексов прямой текстуры, что согласуется с положительной полярностью фото-ЭДС для всех углов напыления. С увеличением α уменьшается угол наклона обратной текстуры и увеличивается угол наклона прямой текстуры, что приводит к увеличению доли отрицательной фото-ЭДС и суммарная фото-ЭДС уменьшается [6].

Для исследования зависимости структуры пленок от толщины образцы напылялись при разных скоростях. Электронограммы снимались в процессе напыления при разной толщине пленки. Толщина определялась по времени напыления и скорости напыления, равной $v_n = 0,35$ нм/с. Анализ электронограмм показал, что угол наклона осей текстур не зависит от толщины пленки. При увеличении толщины уменьшается угол разориентации (полная угловая ширина рефлексов) от 20° при $d = 0,1$ мкм до 15° при $d = 0,2$ мкм. При дальнейшем увеличении толщины угол разориентации не уменьшается, однако происходит изменение интенсивностей рефлексов двух текстур. Для количественного анализа доли прямой и обратной текстур было проведено фотометрирование рефлексов (001) и пересчет сигнала фотодатчика в интенсивность электронной засветки с помощью электронограмм, полученных при кратных экспозициях [7].

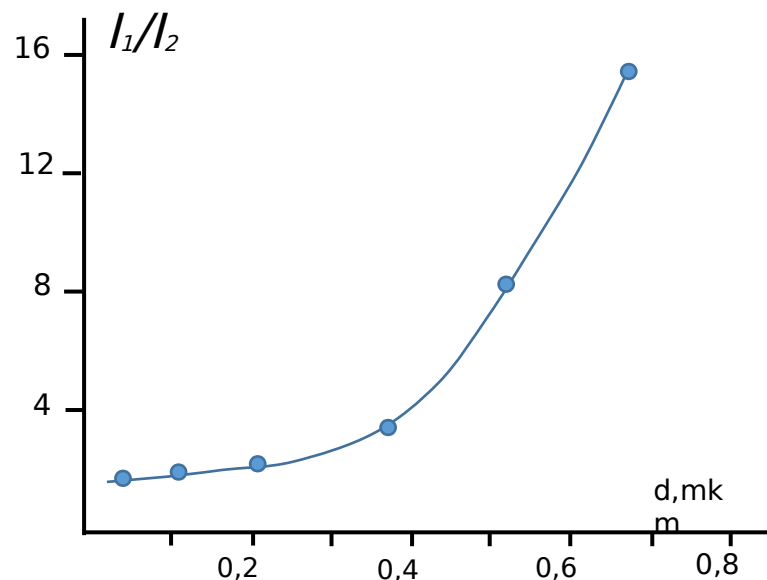


Рис. 6. Зависимость отношения интенсивностей рефлексов (0004) прямой и обратной текстур от толщины пленки CdTe . $\alpha = 35^\circ$, $V_n = 0,35$ нм/с.

Видно, что с увеличением толщины пленки доля обратной текстуры возрастает. Это должно приводить к увеличению доли положительной фото-ЭДС в суммарной фото-ЭДС образца. Если пленка **CdTe** малой толщины генерировала бы фото-ЭДС отрицательной полярности, то увеличение доли обратной текстуры могло бы привести к изменению полярности при увеличении толщины пленки. Такое изменение полярности наблюдалось в работе [6].

Для получения зависимости фото-ЭДС от толщины пленки мы извлекали образец из колонны электронографа после напыления порции **CdTe**, измеряли фото-ЭДС и толщину пленки, затем снова помещали образец в колонну электронографа для исследования структуры и напыления следующей порции **CdTe** . Сравнение этих образцов с образцами, полученными одноразовым напылением в аналогичных условиях, показало, что их структура одинакова. Нам не удалось получить образцы с отрицательной полярностью при скорости напыления 0,35 нм/с, что согласуется с результатами работы [8]. Однако у образцов, напыленных при

скорости напыления $v_n = 1,0$ нм/с и $\alpha = 35^\circ$, была получена инверсия знака фото-ЭДС; результаты измерений приведены на рис.7.

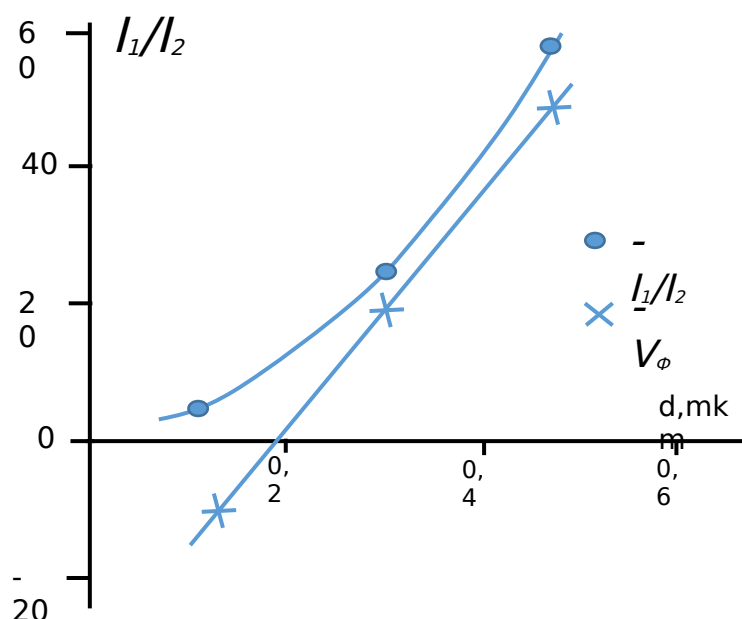


Рис. 7. Зависимость величины фото-ЭДС V_ϕ и отношения интенсивностей рефлексов (001) прямой (I_1) и обратной (I_2) текстур от толщины пленки CdTe . $\alpha = 35^\circ$, $V_n = 1,0$ нм/с.

Таким образом, полученные результаты еще раз подтверждают структурную природу высоковольтной фото-ЭДС в пленках теллурида кадмия [1,9]. Полученные зависимости структуры от угла напыления и толщины пленки показывают, что механизм формирования преимущественной ориентации в пленках теллурида кадмия имеет сложный характер и не сводится, например, только к “эволюционному отбору” Ван-дер-Дрифта [8], хотя последний механизм может играть существенную роль в увеличении доли обратной текстуры с ростом толщины пленки.

Заключения

Из анализа спектров, полученных на установках романовского спектрометра и рентгеновского анализа, можно сделать вывод, что в плёнках CdTe, легированном атомами серебра появляется новая ячейка, в которых

явно видно в спектрах дифрактограмме и они участвуют при формировании примесной фотоэдс и образуют глубокие примесные уровни в запрещенной зоне CdTe.

Литература

[1] Э. Гаубас, Т. Чепонис, Д. Добровольскас, Ю. Мицкявичюс, Ю. Павлов, Отажонов, С.М., Н. Алимов // Исследование поликристаллических пленок CdTe методом контактной и бесконтактной импульсной фотоионизационной спектроскопии // Тонкие твердые пленки 2018, 660, стр.231-235.

[2] Чжан Ю., Ци Р., Хуан Р., Тан Х., Ван Дж. и Чуб Дж. (2018). Высокочувствительный фототранзистор CdTe с расширенным спектром отклика до 1,65 мкм. Журнал химии материалов А, 6 (12), 4883-5230

[3] Sh.Utamuradova, Sh.Daliev, S.Muzafarova, Q.Fayzullaev, (2023). Effect of the Diffusion of Copper Atoms in Polycrystalline CdTe Films Doped with Pb Atoms. East European Journal of Physics. 385-390. 10.26565/2312-4334-2023-3-41.

[4] Liu N, Yang P. Photoluminescence properties of hybrid SiO₂-coated CdTe/CdSe quantum dots. Luminescence. 2014y. Sep;29(6):566-72. doi: 10.1002/bio.2581. PMID: 25337614.

[5] Gómez, H., Henríquez, R., Schrebler, R., Riveros, G., Leinen, D., Ramos-Barrado, J. R., & Dalchiele, E. A. (2004y.). A soft-solution electrochemical processing technique for preparing CdTe/n-Si (1 0 0) heterostructures. Journal of Electroanalytical Chemistry, 574(1), 113-122.

[6] Li, Z., Zhai, L., Zhang, Q. et al. 1T'-transition metal dichalcogenide monolayers stabilized on 4H-Au nanowires for ultrasensitive SERS detection. *Nat. Mater.* 23, 1355–1362 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41563-024-01860-w>

[7] Tregnago, G. Combining photovoltaic elements. *Nat Energy* 9, 1052 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01647-y>

[8] Parvesh Chander, Alisha Arora, Ankita Singh, Mohit Madaan, Nagendra Prasad Pathak, V.K. Malik. Exploration of room temperature magnetodielectric behavior in Nd_{0.5}Dy_{0.5}FeO₃ thin films and transmission line resonators in GHz frequency range. *Physica B: Condensed Matter*. Volume 694, 1 December 2024, 416431 <https://doi.org/10.1016/j.physb.2024.416431>

[9] Wael M. Mohammed, M.M. El-Desoky, N. Abdllah, Hamdy F.M. Mohamed, E.E. Abdel-Hady, D.E. El Refaay. Relationship between structural, electrical properties and positron annihilation parameters of V₂O₅–Cu₂O–P₂O₅ glasses. *Physica B: Condensed Matter*. Volume 694, 1 December 2024, 416459. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2024.416459>