

РАДИАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ A_4B_6

¹К.Э.Онаркулов, ²Ш.А.Махмудов, ¹Б.У.Омонов.

¹ Ферганский государственный университет, Институт ядерной физики
Академии наук Республики Узбекистан.

omonovbunyodjon.1994@gmail.com, +998902929864

Аннотация: В работе рассматривается радиационная технология полупроводниковых пленок на основе соединений A_4B_6 . Исследован механизм радиационной деградации, показано, что степень изменения термоэлектрических свойств пленок n-PbTe при γ -облучении в значительной мере зависит от скорости конденсации. Пленки n-PbTe, полученные по оптимальной технологии, облученные до интегральных доз γ -квантов получают более радиационно – стойкими.

Ключевые слова: проникающая радиация, радиационно-индуцируемые процессы, поликристаллические структуры, радиационная деградация, термоэлектрическая добротность, коэффициент термоэдс, электропроводность, коэффициент термоэлектрической мощности, γ -облучение, скорость конденсации, коэффициент диффузии.

Annotation: The work examines the radiation technology of semiconductor films based on A_4B_6 compounds. The mechanism of radiation degradation has been studied, and it has been shown that the degree of change in the thermoelectric properties of n-PbTe films under γ -irradiation largely depends on the condensation rate. n-PbTe films obtained using optimal technology, trained to integral doses of γ -quanta, are more radiation-resistant.

Keywords: A_4B_6 compound films, penetrating radiation, radiation-induced processes, polycrystalline structures, radiation degradation, thermoelectric figure of merit, thermopower coefficient, electrical conductivity, thermoelectric power coefficient, γ -irradiation, condensation rate, diffusion coefficient.

A₄B₆ YARIMO'TKAZGICHGA ASOSLANGAN

YARIMO'TKAZGICHLI TUZILMALARNING RADIATSIYA

TEXNOLOGIYASI

Annotatsiya: Ish A₄B₆ birikmalariga asoslangan yarimo'tkazgichli plyonkalarining radiatsiya texnologiyasini ko'rib chiqadi. Radiatsiyaviy degradatsiya mexanizmi o'rganildi, γ -nurlanishda n-PbTe plyonkalarining termoelektrik xususiyatlarining o'zgarishi darajasi ko'p jihatdan kondensatsiya tezligiga bog'liq ekanligi ko'rsatildi. γ -kvantlarning integral dozalariga o'rgatilgan optimal texnologiyadan olingan n-PbTe plyonkalari radiatsiyaga chidamli.

Kalit so'zlar: A₄B₆ birikma plyonkalari, penetratsion nurlanish, radiatsiyadan kelib chiqadigan jarayonlar, polikristalli tuzilmalar, radiatsiya degradatsiyasi, termoelektrik sifat omili, termoelektrik koeffitsienti, elektr o'tkazuvchanligi, termoelektrik quvvat koeffitsienti, γ -nurlanish, kondensatsiya tezligi, diffuziya koeffitsienti.

Введение

Дальнейшее развитие космической техники и ядерной энергетики требует создания нового типа электронных приборов, способных стабильно работать в полях радиационных излучений. Также исследование процессов взаимодействия излучений с твердым телом обнаружило возможности эффективного управления их свойствами и создания приборов без применения классических методов легирования. Изучение процессов излучательного и безизлучательного распада электронных возбуждений, стало неотъемлемой частью решения актуальных проблем создания материалов с заданными радиационными свойствами (радиационно-чувствительных и радиационно-стойких) [1].

В последние годы в мировой практике для управления примесными дефектными состояниями в полупроводниковых кристаллах, наряду с другими технологическими способами, широко используются различные виды физических воздействий, одним из которых является проникающая радиация. Для успешной разработки технологических методов управления

свойствами материалов, включая радиационную технологию, необходимо понимание физической природы явлений, протекающих в них.

Полученные результаты и их обсуждение

В работе [2] рассматриваются радиационно-индуцируемые процессы, протекающие в кремниевых структурах, подвергнутых нейтронному облучению и показаны возможность получения кремниевых структур с примесью серы методом диффузии из трансмутационно-легированного слоя, обогащенного изотопом ^{32}S . В работе [3] установлено, что в исследованных кремниевых структурах в электрических потерях основную роль играют кислородсодержащие центры ($\text{V}_2 + \text{O}$ и $\text{V} + \text{O}$). При увеличении дозы облучения и увеличении температуры отжига, особенности ВАХ и спектральных характеристик обусловлены изменением сопротивления, вызванным накоплением (при увеличении дозы) или исчезновением и перестройкой (при отжиге) радиационных дефектов. В работе [4] эффективность образования примесных центров в кремнии до и после нейтронно-трансмутационного легирования, влияние концентрации сформированных примесных дефектных центров на электрофизические, фотоэлектрические и рекомбинационные параметры легированного кремния и выявление типа и состояния образующихся дефектов, контролировались электрическим, спектрометрическим и рентгенофлуоресцентным методами. Установлены, что перестройка наблюдаемых дефектов при терморadiационных обработках может быть объяснена скапливанием атомов термодинамически выгодных мест кристаллической решетки при диффузионном отжиге. Зародышами образования скоплений служат междоузельные атомы кислорода или вакансии.

Так как большинство современных электронных приборов на основе полупроводников включают применение неоднородных структур, то исследование радиационной технологии полупроводниковых пленок является органической частью общей проблемы. Более того, пленки полупроводников представляют и самостоятельный интерес, являясь

первичными преобразователями неэлектрических возмущений (излучение, тепло, деформация) в электрические сигналы.

Аналогично вышеперечисленных, для улучшения эксплуатационных характеристик поликристаллических структур, исследование механизма радиационной деградации является актуальной задачей физики твердого тела. Пленки соединений A_4B_6 , в частности $PbTe$, обладая высокой термоэлектрической добротностью, служить активными элементами преобразователей тепловой энергии.

Наиболее перспективным и удобным с практической точки зрения материалом для подложек, на которые синтезируются соединения A_4B_6 при создании пленочных термопреобразователей, является полиимид (ПМ-1, ПМ-2). Пленки $n - PbTe$, конденсированные на полиимидные подложки, обладая коэффициентом термоэлектрической мощности (КТМ) $S = \alpha^2 \cdot \sigma$ (α – коэффициент термоэдс, σ – электропроводность), близким к значениям в пленках на ориентирующих подложках [5], имеют выгодное преимущество при конструировании термопреобразователей. Суммарная теплопроводность системы «пленка-подложка» в случае пленок на полиимиде ниже, что повышает термоэлектрическую добротность.

Пленки $n-PbTe$ получили методом открытого испарения исходной шихты $PbTe<I>$ с концентрацией электронов $\sim 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Температура подложки была $T_c = 620^\circ \text{K}$, что обеспечивало наивысшие $КТМ \sim 30-50 \text{ мкВт/К}^2 \cdot \text{см}$. Структурные исследования показали, что пленки имеют поликристаллическую структуру с текстурой осью $(2;0;0)$, ориентированной перпендикулярно подложке. Средний размер кристаллитов $\sim 700 \text{ \AA}$. Облучение пленок γ -квантами проводили на воздухе до интегральных доз $D = 10^8 \text{ Р}$.

Исследования показали, что степень изменения термоэлектрических свойств пленок $n-PbTe$ при γ -облучении в значительной мере зависит от технологии получения, в частности от скорости конденсации (v). В таблице

показан характер зависимости S пленок, полученных при различных ν , от интегральной дозы γ -квантов (S_0 – до облучения, S_γ – после облучения).

Таблица 1

№ Обр.	$\nu, \text{\AA}/\text{с}$	$S_0,$ $\frac{\text{мк} \cdot \text{БТ}}{\text{К}^2 \cdot \text{см}}$	$n_0 \cdot 10^{19},$ см^{-3}	$D, \text{Р}$	$S_\gamma,$ $\frac{\text{мк} \cdot \text{БТ}}{\text{К}^2 \cdot \text{см}}$	$n_\gamma \cdot 10^{19}$ см^{-3}
1	300	35	1,0	10^6	12	0,8
2	370	28	1,1	10^6	19	1,0
3	400	49	1,2	$5 \cdot 10^6$	27	1,1
4	450	33	1,1	10^7	27	1,1
				$5 \cdot 10^7$	23	
5	450	43	1,1	$5 \cdot 10^7$	35	1,1
6	500	22	1,2	$5 \cdot 10^7$	21	1,2

Из таблицы видно, что наиболее стойкими к действию γ -квантов до интегральных доз $5 \cdot 10^7 \text{ Р}$ являются пленки, полученные при 450-500 $\text{\AA}/\text{с}$. Из этих данных можно также заключить, что γ -облучение до интегральных доз $5 \cdot 10^7 \text{ Р}$ концентрацию электронов в пленках практически не меняет.

На рис.1 показан характер изменения электропроводности и коэффициента термоэдс пленок n-PbTe при γ -облучении.

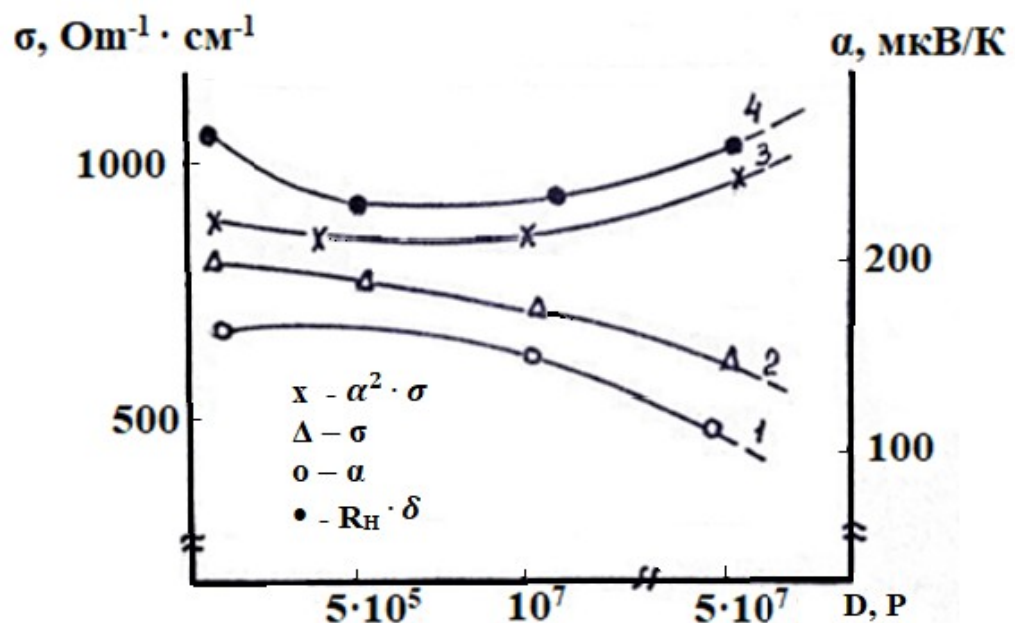


Рис. 1. Дозовая зависимость $\sigma(1,2)$ и $\alpha(3,4)$ пленок n-PbTe, полученных при ν , 400 Å/с: (1,3) и 450 (2,4).

Эти данные свидетельствуют, что уменьшение S при γ -облучении в основном происходит за счет падения электропроводности. А так как концентрация носителей заряда в пленках при воздействии γ -квантов практически неизменна, изменение σ происходит за счет уменьшения подвижности носителей заряда. Причиной уменьшения подвижности носителей заряда нам видится взаимодействие пленок n-PbTe с кислородом атмосферы в процессе γ -облучения.

Известно, что адсорбированный на поверхность пленок кислород диффундирует в их объем по границам кристаллитов (ГК) даже при обычной выдержке на воздухе. Так как в процессе γ -облучения пленки нагреваются до 340-350 К, интенсивность диффузии возрастает. Ускорению диффузии уже проникшего в приповерхностный слой ГК кислорода способствуют радиационно-стимулированные процессы. Локализация кислорода на ГК, который дает в PbTe акцепторные поверхностные состояния, приводит к образованию потенциальных барьеров, снижающих подвижность носителей заряда[6].

В поликристаллах коэффициент диффузии примесей по ГК на несколько порядков превышает объемный коэффициент, однако первый зависит от состояния ГК, в частности от углов разориентации кристаллитов. По-видимому, высокая скорость конденсации пленок способствует уменьшению коэффициента диффузии по ГК. В таких пленках диффузионные процессы происходят медленнее, в частности при γ -облучении процесс деградации свойств пленок замедляется.

На рис. 2 показаны изменения термоэлектрических свойств пленок n-PbTe, полученные при температуре конденсации 550 °К, при γ -облучении.

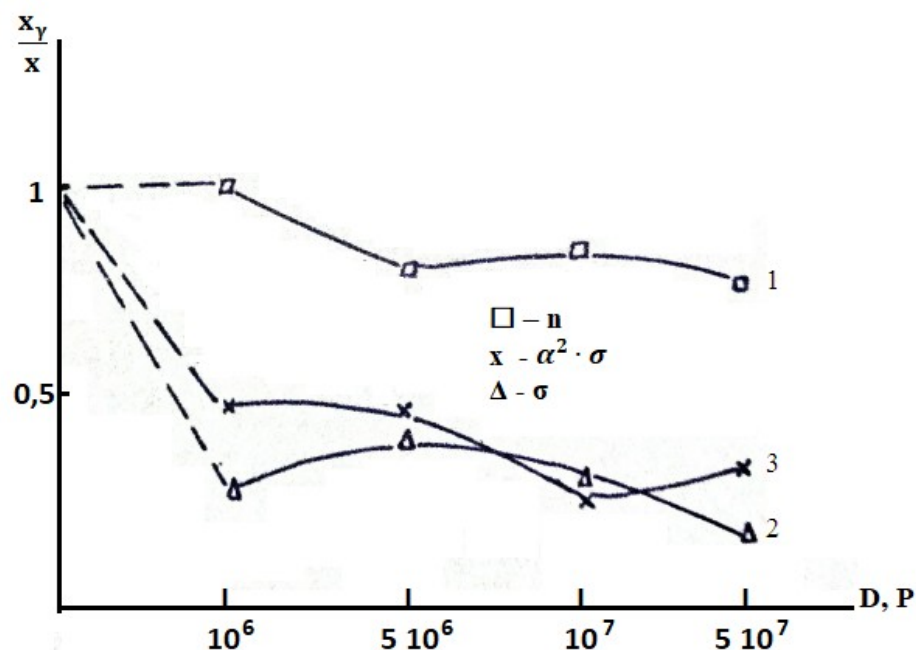


Рис.2. Характер изменения концентрации электронов (1), электропроводности (2) и коэффициента термоэлектрической мощности (3) при γ -облучении в пленках n-PbTe, полученных при $T_c=550\text{K}$

Анализ данных рис.2 показывает, что воздействие ионизирующих излучений, в частности γ -облучения, в формировании свойств пленок n-PbTe действительно существенна. Для снижения изменения свойств пленок при действии излучений необходимо применять технологические методы, ведущие к снижению как объемного коэффициента диффузии, так и коэффициента диффузии по ГК.

На рис. 3 представлены, дозовые зависимости параметров пленок n-PbTe при облучении γ -квантами, полученных по оптимальной технологии (температура испарителя 1100-1150 °K, температура конденсации 620 °K, давление остаточных газов в вакуумной камере $5 \cdot 10^{-6}$ Торр).

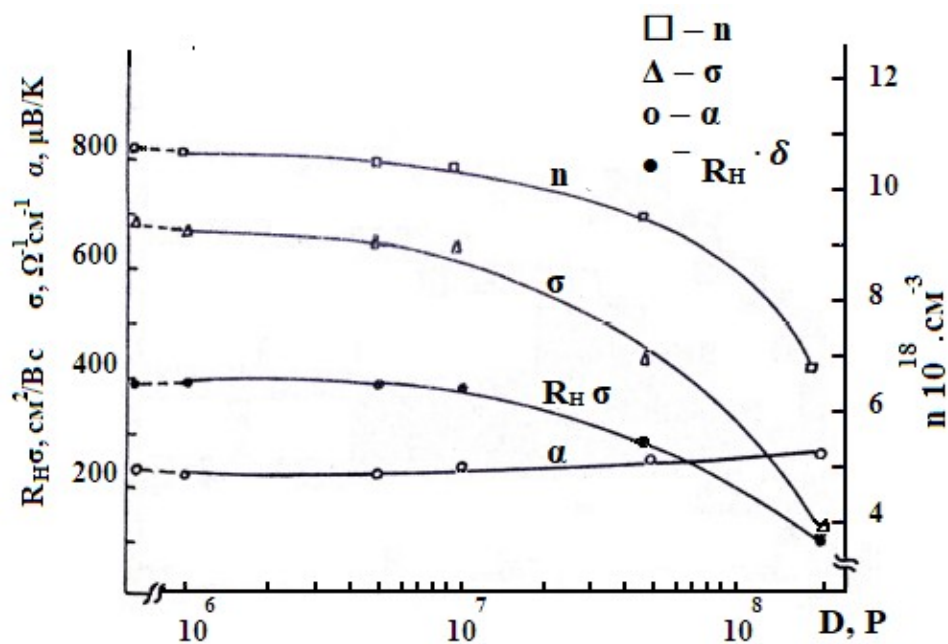


Рис. 3. Изменение параметров пленки n-PbTe, полученной по технологии, обеспечивающий радиационную стойкость, при γ -облучении

Как видно из рис.3, термоэлектрические параметры пленок n-PbTe, полученных по оптимальной технологии, до интегральных доз γ - квантов $5 \cdot 10^7$ Р практически не меняются, т.е. пленочные термоэлектрические элементы получают более радиационно-стойкими. Для объяснения наблюдаемых явлений необходимо принять следующее. В технологических условиях, обеспечивающих высокую концентрацию дырок, наряду с антиструктурными дефектами в пленках образуются вакансии теллура [6]. При γ -облучении за изменения в концентрации дырок ответственны два процесса:

а) радиационно-стимулированная диффузия антиструктурных атомов по вакансиям с вытеснением последних на стоки - границы кристаллитов и дислокации;

б) вытеснение атомов теллура в междоузлия.

Интенсивность первого процесса пропорциональна концентрации вакансий и является энергетически выгодней относительно второго процесса. Первый процесс сопровождается уменьшением числа акцепторов, а второй-

увеличением, поэтому в зависимости от исходной концентрации вакансий теллура в пленках и возможны два типа изменений в концентрации дырок при γ -облучение, что наблюдается экспериментально. Выход зависимости $p(\Phi_\gamma)$ на насыщение соответствует установлению равновесия в протекании обоих процессов.

Заключение

Исследование радиационной технологии полупроводниковых пленок, основанных на соединениях A_4B_6 , выявило важный фактор в их радиационной стойкости. Механизм радиационной деградации в этих пленках зависит от скорости конденсации в процессе синтеза. Пленки n -PbTe, полученные по оптимальной технологии с определенной скоростью конденсации, обладают более высокой радиационной стойкостью.

Этот вывод подчеркивает важность тщательной оптимизации процессов синтеза полупроводниковых пленок для достижения наилучших радиационных свойств. Исследования механизмов радиационной деградации и определение оптимальных условий синтеза имеют практическое значение для разработки электронных устройств и термоэлектрических преобразователей, которые должны работать в условиях высокой радиации, например, в ядерной энергетике или космической технике.

Литература

1. Радиационные условия в космическом пространстве. Уч.пособ.под ред. М.И.Панасюка.-М.:Библион.-Русская книга,2006.-132 с.
2. Махкамов Ш., Турсунов Н.А., Каримов М., Саттиев А.Р., Ашуров М., Эрдонов М.Н., Холмедов Х.М. Двухстадийное легирование кремния изотопами фосфора и серы-32. // Письма в журнал технической физики - С.Петербург, 2008. – Т.34, №13.- С.69-74.
3. Абасов Ф.П., Наджафов Б.А. Влияние гамма-облучения на электрофизические и фотоэлектрические параметры двухбарьерной структуры на основе кремния. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10-3. – С. 454-456;

4. Гольцман Д.М., Дашевский З.М., Кайданов В.И., Коломоец Н.В. / Пленочные термопреобразователи: физика и применение. М.,1985. -232 с.
5. К.Э.Онаркулов, М.М.Ахмедов, Д.А.Юсупова,Р.Т.Расулов, Б.Дулиев
Кинетические процессы в тонких пленках халькогенидов висмута и свинца под воздействием γ -и лазерного облучения. Узбекский физический журнал, V4, No2, 2002 г. С. 113-116.
6. Степанов В.А. Радиационно-стимулированная диффузия в твердых телах. // ЖТФ. 1998. Т.68, № 8. С.67-72.
7. Роках А.Г., Бухаров В.Э., Стецюра СВ. Влияние потенциальных барьеров на движение радиационных дефектов в полупроводниках. // Вопр. прикладной физики. 2002. Т. 73, вып. 2. С. 36-38.
8. Л.А. Мяскин, В.А. Ветров, "Исследование радиационных эффектов в PbTe и SnTe при нейтронной и гамма-облучении," журнал "Физика твердого тела," том 56, номер 3, 2014 г.
9. E. Haller, "Radiation Damage in Semiconductors: Status and Prospects," Materials Science and Engineering: R: Reports, том 20, 1997 г.
10. T.D. Golding, "Radiation Effects in Semiconductors," Taylor & Francis, 1981.
11. J. W. Corbett, "Radiation Effects in Semiconductors," Cambridge University Press, 1996.
12. A. A. Abrikosov, "Radiation Physics of Semiconductors," Springer, 1981.
13. D. J. Srolovitz, R. A. Metzger, "Radiation Effects in Semiconductors: Approaches and Techniques," Wiley, 1981.