Ростех

Швабе

ОРИОН
НАУКА И ПРОИЗВОДСТВО

29-31
МАЯ 2024
Москва

XXVII Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения

XXVII Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

МИНПРОМТОРГ РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РНФ Российский научный фонд

АССОЦИАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ «НАУКА»

РОССИЙСКИЙ ФОРУМ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 10 ЛЕТ

ФОТОНИКА

XXVII Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения

29-31 мая 2024 г. • Москва, Россия

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Государственный научный центр Российской Федерации
Акционерное общество «НПО «Орион»
Москва, 2024

УДК 621.383
ББК 32.854
М 34

М34 Материалы XXVII Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения М.: АО «НПО «Орион», 2024. – 486 с. ISBN 978-5-94836-696-8

Государственный научный центр Российской Федерации АО «НПО «Орион» раз в 2 года проводит Международную научно-техническую конференцию по фотоэлектронике и приборам ночного видения. В конференции принимают участие специалисты отечественных и зарубежных организаций, связанных с разработкой и производством изделий фотоэлектроники, приборов ночного видения, тепловизионной техники и смежных отраслей. Данный сборник содержит материалы докладов, представленных на XXVII конференции, состоявшейся 29–31 мая 2024 г.

Для специалистов – инженеров и научных работников, специализирующихся в области разработки и применения изделий фотоэлектроники и оптико-электронных систем, а также для преподавателей, студентов и аспирантов соответствующих специальностей вузов.

УДК 621.383
ББК 32.854

© АО «НПО «Орион», 2024

Материалы конференции публикуются в авторской редакции

ISBN 978-5-94836-696-8

С35 **Дефектообразование в структурах узкозонный полупроводник – поверхностный окисел мягким рентгеновским излучением**

Средин В.Г.[1], Войцеховский А.В.[2], Степанченко А.В.[3], Мелехов А.П.[3], Рамакоти Р.Ш.[3]

[1]*Военная академия РВСН им. Петра Великого. Балашиха. МО. Россия. sredinvg@rambler.ru*
[2]*Томский национальный исследовательский государственный университет. Томск. Россия*
[3]*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ. Москва. Россия*

Defect formation in structures of narrow–band semiconductor - surface oxide by soft X-ray radiation

Sredin V.G.[1], Voitsekhovskii A.V.[2], Stepanchenko A.V.[3], Melekhov A.P.[3], Ramakoti R.S.[3]

1. Peter the Great Military Academy of the Strategic Missile Forces, Balashikha, Russian Federation
2.Tomsk National Research State University, Tomsk, Russian Federation
3. National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russian Federation

DOI: 10.51368/978-5-94836-696-8-2024-339

The nature of defect formation by soft X–ray laser plasma radiation in narrow-band semiconductor - surface oxide structures is discussed

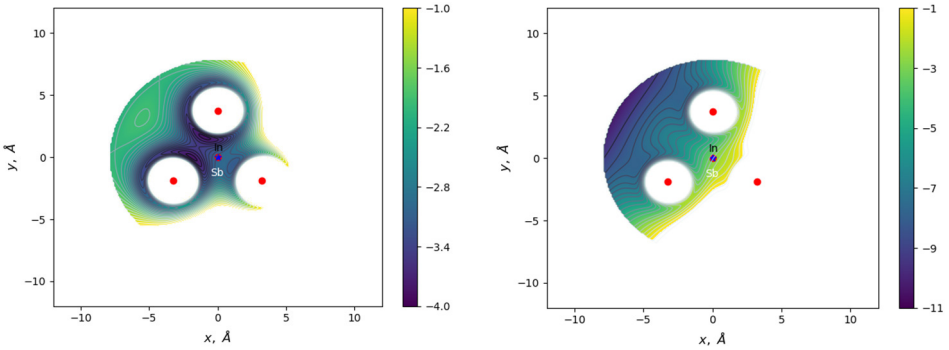
Генерация дефектов рентгеновским излучением (РИ) является одним из наименее изученных процессов дефектообразования в кристаллах. Предполагается, что они возникают вследствие распада электронных возбуждений, вызванных РИ [1]. При этом предполагается, что дефект возникает в результате кулоновского отталкивания в локально сосредоточенной группе одноименно заряженных ионов, приобретающих в возбужденном состоянии дополнительный заряд за счет поглощения кванта РИ [2]. Модель применялась для интерпретации результатов экспериментов, как в полупроводниках, так и диэлектриках.

Нами была проведена серия экспериментов по облучению мягким рентгеновским излучением (МРИ) лазерной плазмы узкозонных полупроводниковых материалов $Cd_xHg_{1-x}Te$ [3] и InSb [4], причем облучались как поверхность кристаллов и эпитаксиальных слоев, так и структур полупроводник- окисный слой этих материалов. Энергии кванта МРИ (0,4 – 10 кэВ) достаточно для ионизации *L, M, N* оболочек ионного остова исследуемых кристаллов. МРИ поглощается тонким поверхностным слоем материалов причем атомами, расположенными как узлах кристаллической решетки, так и межузельными атомами, что может привести к образованию

точечных дефектов различных типов. В наших экспериментах обнаружено, что при облучении монокристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ с $x \approx 0.23$ возникают дефекты как при непосредственном воздействии МРИ на поверхность, так и при облучении образца, покрытого окисным слоем. Генерация дефектов в этом материале связывается с появлением вакансий ртути в приповерхностной области кристалла из-за ряда обстоятельств: энергия связи ионов Hg – Te для рассматриваемого состава твердого раствора составляет 0.048 эВ, при этом энергия связи Cd–Te – 0.94 эВ [5], кроме того количество ионов Hg для этого состава твердого раствора в 4 раза больше, чем ионов Cd. Кроме того, вероятность возбуждение МРИ именно ионов Hg выше, чем ионов Cd и Te из-за спектрального состава излучения. При этом, не исключается также образование радиационных дефектов или перезарядка существующих центров и в окисных слоях.

В случае антимонида индия энергия связи In–Sb по нашим расчетам [4] составляет 3.4 эВ, что ниже значений, приведенных, например, в [1] – порядка 6 эВ. В наших расчетах ион In размещался в центр тетраэдра с длиной стороны, соответствующей параметрам решетки антимонида индия, в вершинах которого находились ионы сурьмы. Энергию связи оценивали по глубине потенциальной ямы. Аналогичные расчеты для $Cd_xHg_{1-x}Te$ также дают результаты в разумном соответствии с приведенными выше. В рамках рассматриваемых моделей образованию точечного дефекта соответствует выход иона из соответствующей потенциальной ямы. Ему может способствовать включение электрического поля. На рис. 1 представлены результаты расчета распределения потенциальной энергии взаимодействия ионов в InSb при включении внешнего электрического поля в плоскости $z = 0$ при $E = 3$ ГВ/м, контурными линия представлены собственные уровни энергии. Видно, что для включенного поля существуют области минимума потенциальной энергии, отвечающие устойчивым положениям иона индия внутри элементарной ячейки. При включении поля $E = 15$ ГВ/м, области локальных минимумов потенциальной энергии иона In отсутствуют, что говорит о формировании условий для эффективного выхода частицы из элементарной ячейки.

Возникновение таких полей в антимониде индия под действием МРИ за счет фотоионизации ионов представляется маловероятной с учетом данных по внешнему фотоэффекту [3], в то время как в узкозонных составах твердого раствора $Cd_xHg_{1-x}Te$ она существенно выше по указанным выше причинам и более высокой интенсивности внешнего фотоэффекта по сравнению с InSb. В этом материале по-видимому облучение МРИ приводит к зарядке центров в слое окисла и (или) на границе раздела окисел – полупроводник за счет захвата ими электронов, которые образуются при поглощении квантов МРИ поверхностью кристалла.



а *б*

Рис. 1. Распределение потенциальной энергии взаимодействия иона индия с ионами сурьмы в элементарной ячейке в плоскости $z = 0$ при включении электрического поля $E = 3$ ГВ/м (*а*), 15 ГВ/м (*б*), направленного по нормали к грани элементарной ячейки. Контурные линии обозначают собственные уровни энергии иона индия в элементарной ячейке.

Отметим, что эффекты, подобные тем, которые наблюдались нами при облучении структур на основе InSb МРИ, отмечены на фотодиодных структурах на основе того же материала при освещении их излучением с длиной волны менее 1 мкм [6]. Авторы [6] также связывают наблюдаемые деградационные процессы при освещении с генерацией фотоэлектронов с последующим смещением их к границе раздела.

Литература

1.Вавилов В. С. // УФН. 1997. Т. 167. № 4. С. 407-417.

2. Клингер М.И., Лущик Ч.Б., Машовец Т.В. и др. // УФН.1987. Т.147. № 3. С.523-558.

3. Средин В.Г., Войцеховский А.В., Ананьин О.Б., Мелехов А.П., Несмелов С.Н., Дзядух С.М. // Прикладная физика. 2018. №4. С.54 – 60.

4. Средин В.Г., Войцеховский А.В., Степаненко А.А., Мелехов А.П., Рамакоти Р.Ш., Юрчак, В.А., Дзядух С.М., Андрейчиков К.С.В сборнике: Актуальные проблемы радиофизики АПР-2023. Сборник трудов X Международной научно-практической конференции. Томск, 2023. С. 296-297

5. J.Chen, A.Sher, W.E.Spicer, Shin C-K // J .Vac. Sci. Technol. 1985, A3,№3.P.105-111.

6. Андрейчиков К.С., Астахов В.П., Соловьева Г.С., Чеканова Г.С. Тезисы докладов XXVI международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Москва ФГУП «НПО «Орион».2022г.С.318-319.