

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕЛЛУРИДА ГАЛЛИЯ

Ф.К. ИСАЕВ, К.А. АСКЕРОВ, С.А. ОРУДЖЕВА

Азербайджанский Медицинский Университет им. Н. Нариманова
370021, Баку, ул. Бакиханова 23

В работе исследовано влияние облучения гамма-квантами и электронами высокой энергии на изменение электрофизических свойств теллурида галлия. До и после облучения кристаллов были измерены коэффициенты Холла, исследованы температурные зависимости удельного сопротивления, коэффициента Холла и подвижности основных носителей тока в двух направлениях, т.е. в одном случае Холловские зонды располагались параллельно слоям, ток и магнитное поле были направлены перпендикулярно слоям кристалла, а в другом случае - наоборот.

Установлено, что радиационные дефекты, созданные облучением кристалла накапливаются преимущественно в межслойных промежутках, при этом увеличивается анизотропия кристалла теллурида галлия. Одновременно, в результате облучения, изменяется высота энергетических барьеров, существующих между слоями.

Влияние проникающей радиации на электрофизические свойства слоистого полупроводника теллурида галлия было изучено в работе [1].

Для подробного изучения роли радиационных дефектов в изменении электрических и фотоэлектрических свойств теллурида галлия после облучения гамма-квантами и электронами с энергией 25 МэВ проводились измерения коэффициента Холла в двух кристаллографических направлениях, т.е. холловские зонды располагались параллельно оси "С" кристалла, а ток и магнитное поле были направлены перпендикулярно главной оптической оси "С" и наоборот. При измерении удельного сопротивления в направлении главной оптической оси "С", ток протекал параллельно слоям кристалла.

Монокристаллические образцы теллурида галлия с концентрацией дырок $5 \cdot 10^{14}$ – 10^{16} см $^{-3}$ при комнатной температуре, облучались гамма-квантами флюенсами 10^7 – 10^8 Р и электронами с энергией 25 МэВ с флюенсом 10^{15} см $^{-2}$.

До и после облучения кристаллов измерялись температурные зависимости коэффициента Холла и удельного сопротивления в интервале температур 80–300 К.

На рис.1 представлены температурные зависимости коэффициента Холла ($R_{x\parallel}$) до и после облучения гамма-квантами флюенсами 10^7 – 10^8 Р в направлении, где Холловские зонды расположены параллельно слоям кристалла. Как видно из рисунка, с ростом флюенса гамма-квантов коэффициент Холла резко возрастает во всем исследованном интервале температур. При этом резко меняется разностная концентрация $N_A - N_D$, при дозе 10^8 Р концентрация $N_A - N_D$ резко падает до исходного значения $6.4 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$ до $6.5 \cdot 10^{13}$ см $^{-3}$. Одновременно с ростом флюенса гамма-квантов монотонно уменьшается концентрация глубокого акцепторного уровня с энергией ионизации около $\sim E_v + 0.4$ эВ. Концентрация этих центров не может быть определена непосредственно из зависимости $R_x(1/T)$, так как в исследуемом температурном интервале кривые не входят на "полку". Однако, энергию ионизации уровня можно определить из наклона температурных зависимостей коэффициента Холла [4].

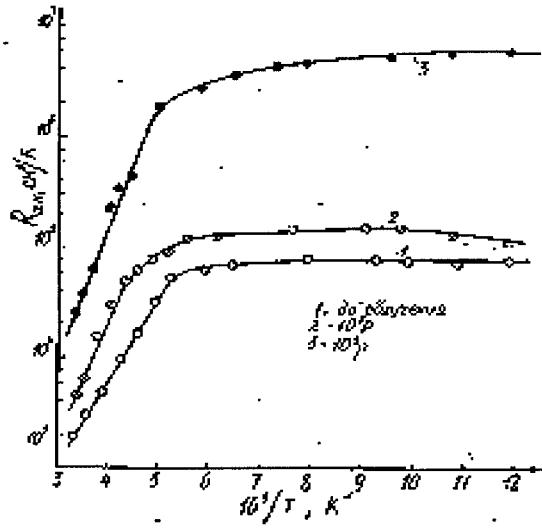


Рис. 1. Температурные зависимости коэффициента Холла (R_x) до и после облучения гамма-квантами флюенсом 10^7 – 10^8 Р в направлении, где Холловские зонды расположены параллельно слоям кристалла GaTe.

На рис. 2 приведены температурные зависимости подвижности в направлении, где Холловские зонды расположены параллельно слоям кристалла до и после облучения гамма-квантами. Подвижность дырок в теллуриде галлия в параллельном к направлению оптической оси "С" кристалла экспоненциально возрастает с температурой по закону

$$\mu_{||} = A e^{-AE/kT},$$

а выше 150 К подвижность уменьшается. В слоистых полупроводниках движение носителей в направлении оси "С" кристалла имеет прыжковый механизм [2]. Поэтому носители заряда должны перескакивать из одного слоя в другой, преодолевая энергетические барьеры, существующие между слоями. Тогда частота перескоков должна

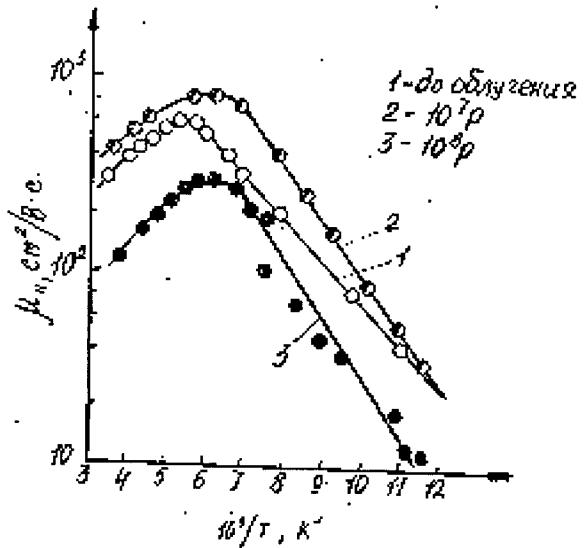


Рис.2. Температурные зависимости подвижности в направлении, где Холловские зонды расположены параллельно слоям кристалла GaTe.

определяется множителем Больцмана $e^{-\Delta E/kT}$, где ΔE - энергетический барьер между слоями [3]. Из зависимости $1g\mu_{||}$ от $10^3/T$ в температурной области 100÷165 К, для значения межслойного энергетического барьера в теллуриде галлия найдено значение ~ 0.1 эВ, которое находится в хорошем согласии и со значениями ΔE для некоторых соединений типа $A^{III}B^{VI}$, а рассчитанное значение ΔE после облучения гамма-квантами флюенсом 10^7 и 10^8 Р оказалось равным 0.12 ± 0.14 эВ (рис.2). Отсюда следует, что облучение гамма-квантами приводит к увеличению высоты энергетических барьеров, существующих между слоями.

Таким образом, полученные нами данные указывают на возможную неоднородность в распределении радиационных дефектов в теллуриде галлия и предпочтительное их образование в межслойных промежутках.

При электронном облучении с энергией 25 МэВ в направлении оси "С" в сущности происходит то же, что и при облучении гамма-квантами в направлении, перпендикулярном оси "С" кристалла [5]: $N_A - N_D$ при облучении флюенсом 10^{15} см^{-2} падает, как в случае гамма-облучения. По-видимому концентрации N_A и N_D уменьшаются из-за образования нейтральных комплексов доноров и акцепторов, и тем меньше, чем меньше концентрация доноров. В образцах с высокой N_A или низкой N_D , концентрация N_A уменьшается быстрее, чем N_D и $N_A - N_D$ падает. Концентрация глубоких акцепторных центров с энергией ионизации около $\sim E_g + 0.4$ эВ, по-видимому уменьшается, а поведение подвижности основных носителей тока носит такой же характер, как и в случае гамма-облучения. При флюенсе электронов 10^{15} см^{-2} уменьшение подвижности основных носителей тока наблюдается как в низкотемпературной так и в высокотемпературной областях. Рассчитанное значение для ΔE до и после облучения также совпадает со значениями при облучении гамма-квантами. Если сравнить в двух кристаллографических направлени-

ях отношение значений R_x, ρ и μ до и после облучения гамма-квантами и электронами с энергией 25 МэВ флюенсом 10^{15} см^{-2} , то видно, что отношение значений параметров R_x, ρ и μ в параллельном к оптической оси "С" направлении намного превышает аналогичные данные в перпендикулярном направлении [5].

Такая большая разница в значениях R_x, ρ, μ параметров в различных кристаллографических направлениях и рост подвижности дырок, по-видимому, связаны с анизотропией электрических свойств теллурида галлия, т.е. с облучением изменяется высота энергетических барьеров, существующих между слоями. Эти факты непосредственно подтверждают предположение о том, что радиационные дефекты, созданные облучением, накапливаются именно в межслойных промежутках. Облучение приводит к направленности распределения дефектов в теллуриде галлия. Наши предположения подтверждаются также влиянием отжига на значение ΔE . Результаты изохронного отжига показали, что в отожженных до температуры 453 К образцах значение ΔE высоты энергетических барьеров восстанавливаются до исходной величины. Таким образом, начиная с малых интегральных флюенсов облучения увеличивается анизотропия кристаллов. По-видимому, с этим же фактом связаны рост и крутой наклон в температурной зависимости подвижности. Для доказательства вышеуказанных предположений нами проведены исследования изменения темнового сопротивления образцов теллурида галлия в двух кристаллографических направлениях в процессе гамма-облучения и электронного облучения с энергией 6 МэВ..

На рис.3 показаны изменения темнового сопротивления (R_T) образцов теллурида галлия в процессе гамма-облучения (а) и электронного облучения (б) в перпендикулярном (кривые 1) и параллельном (кривые 2) направлениях к главной оптической оси "С" кристалла теллурида галлия. Как видно из рисунка, кратность изменения темнового сопротивления R_T образцов теллурида галлия, имеющих контакты перпендикулярно слоям в несколько раз меньше, чем образцов, имеющих контакты вдоль слоев. Восстановление R_T темнового сопротивления таких образцов при комнатной температуре то же отличается. Таким образом, полученные результаты дают хорошее согласие предыдущих фактов с предположением о том, что с ростом флюенса облучения радиационные дефекты в основном накапливаются в межслойных промежутках, т.е. в результате облучения увеличивается анизотропия кристалла.

Наконец, учитывая специфические особенности кристаллической структуры слоистых материалов можно сделать ряд качественных предположений: в связи с тем, что силы, действующие между слоями, являются Ван-дер-Ваальсовскими, можно ожидать наличия в межслойных промежутках значительного количества атомов компонентов, с которыми могут быть связаны уровни в запрещенной зоне. Действие ионизирующего излучения, вероятно, приводит к увеличению концентрации атомов компонентов в межслойных промежутках в пропорциях, не обязательно соответствующих тем, которые имели место в исходном материале. Результатом этого является

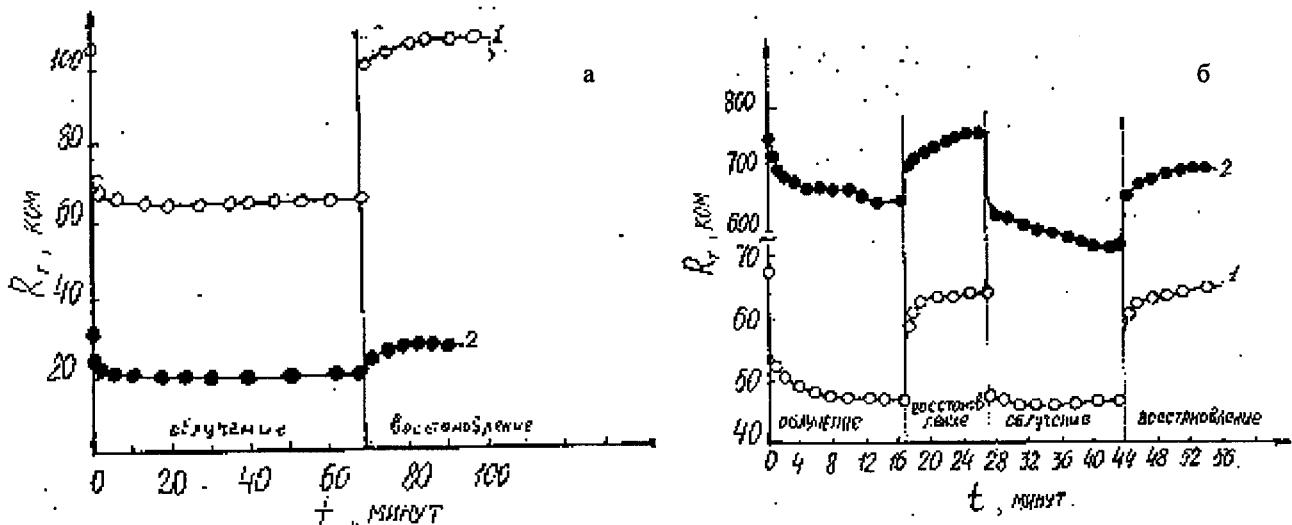


Рис. 3. Изменение темнового сопротивления (R_d) теллурида галлия в перпендикулярном (кривая 1) и параллельном (кривая 2) направлениях к главной оптической оси "С" кристалла GaTe: а) в процессе гамма-облучения; б) в процессе электронного облучения.

образование новых уровней и центров для рекомбинации дырок. Все эти факторы в совокупности могут привести к

существенному изменению электрофизических свойств теллурида галлия, что наблюдается в опыте.

- [1] К.А. Аскеров, Ф.К. Исаев, Д.Г. Амиров. "Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых слоистых полупроводниках", Азернешр, Баку, 1991, с. 126.
- [2] A.N.M. Kipperman, A.J. Reynenorth, J.G.A.M. Van der Dries. "Anisotropic conductivity in layer type semiconductors GaSe and GaS", Department of Physic,

- [3] А.Ф. Иоффе. ФТТ, 1959, т. 1, с. 157-159.
- [4] Г.А. Ахундов. Докторская диссертация, Баку, 1967, с. 200.
- [5] С.А. Оруджева. Автореферат канд. Диссертации, Баку, 1996.

F.K. İsayev, K.Ə. Əskərov, S.Ə. Orucova

İONLAŞDIRICI ŞÜALARIN QALLİUM TELLURİDİN ELEKTROFİZİKİ XASSƏLƏRİNƏ TƏ'SİRİ

Məqalədə yüksək enerjili qamma-kvantlarla və elektron dəstəsi ilə şüalandırmanın qallium tellurid yarımkəçirisinin deyişməsinə tə'siri öyrənilib. Həmin kristallarda şüalandırılmadan əvvəl və sonra Xoll əmsali ölçülüb, kristalın "C" baş optikoxuna perpendikulyar və paralel istiqamətində xüsusi müqavimətin, Xoll əmsalının və əsas yük daşıyıcılarının yüksəklüğünün temperaturdan asılılığı öyrənilib, yəni bir halda Xoll zondları kristalın laylarına paralel yerləşdirilmişdir, cərəyan və maqnit sahəsi isə kristalın laylarına perpendikulyar yönəldilmişdir, o biri halda isə - əksinə olmuşdur.

Müəyyən olunub ki, kristalın şüalandırılması nəticəsində yaranan radasiya defektleri əsasən layalarası məsafədə toplanırlar. Bu da qallium tellurid yarımkəçirisinin şüalanma nəticəsində anizotropiyasının artması ilə əlaqədardır, yəni layalararası energetik baryerin deyişməsile bağlıdır.

F.K. Isayev, K.A. Askerov, S.A. Orujeva

INFLUENCE OF IONIZING IRRADIATION ON ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF GALLIUM TELLURIDE

For purpose of detailed investigation of the role of radiation defects on the variation of electrical and photoelectrical properties of gallium telluride before and after irradiation by gamma-quanta and electrons of 25 MeV energy, measurements of Hall coefficient in other crystallographic direction of the crystal have been conducted.

Analysis of the experimental data given in paper indicates to nonuniform distribution of radiation defects in gallium telluride. More exactly, radiation defects, created by irradiation of crystal pile up mainly in interlayer spaces. It is likely due to anisotropy of properties of gallium telluride, that is under the influence of irradiation the height of energetic barriers existing between the layers increases.

Дата поступления: 28.05.98

Редактор: М.К. Керимов