

05;07

О возможной пространственной ориентации радиационного дефекта, ответственного за полосу ИК поглощения 1.0 eV в арсениде галлия

© З.В. Джибути, Н.Д. Долидзе

Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили

Поступило в Редакцию 13 марта 2000 г.

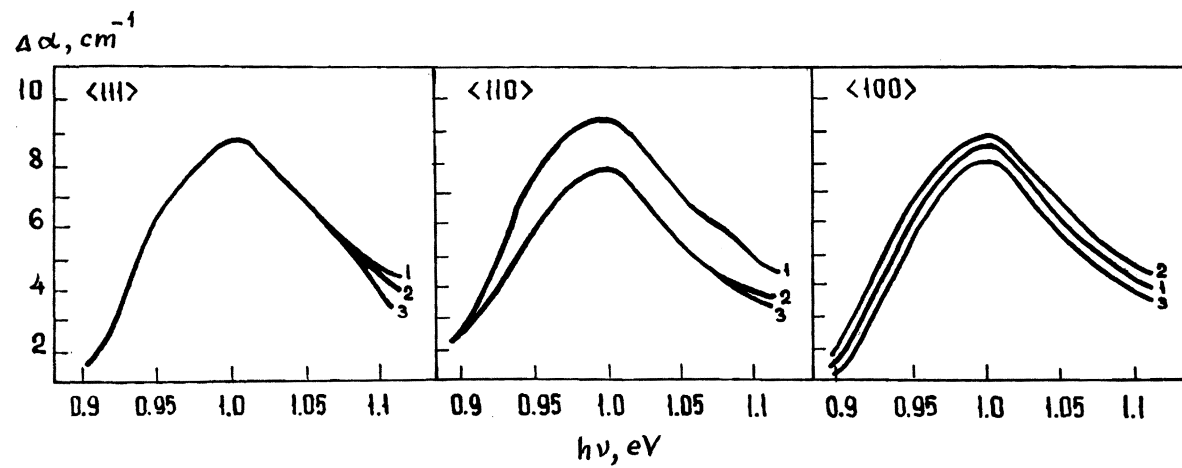
Определена пространственная ориентация радиационного дефекта, ответственного за полосу ИК поглощения 1.0 eV в арсениде галлия. А именно, направление его дипольного момента ориентировано близко кристаллографическому направлению $\langle 110 \rangle$ и он обладает атомной симметрией $\langle 111 \rangle$. Исходя из этих результатов и основываясь на предположениях ряда исследователей о дивакансионном характере данного дефекта, определена его структура — делается предположение, что исследуемый дефект является дивакансией смешанного типа ($V_{\text{Ga}} + V_{\text{As}}$).

Исследованию свойств дефекта, ответственного за полосу ИК поглощения с максимумом около 1.0 eV (в дальнейшем "полоса 1.0 eV") в облученном GaAs, посвящено немало работ [1–7]. Установлено, что он является относительно несложным дефектом, не содержащим атомов химической примеси, и что полоса поглощения 1.0 eV есть результат внутрицентровых переходов типа уровень-уровень. Исследования, проведенные на образцах, ориентированных в направлениях трех основных кристаллографических осей, показали, что интенсивность полосы 1.0 eV в облученном GaAs зависит от ориентации образца [5], что свидетельствует об определенной пространственной ориентации исследуемого дефекта. Высказано предположение [4–7], что этот дефект является дивакансией, но вопрос о том, какой именно из трех возможных в GaAs типов дивакансии, остается открытым. С целью определения пространственной ориентации этого дефекта, позволяющей судить об его структуре, нами были проведены исследования по влиянию одноосного сжатия и поляризованного света на полосу 1.0 eV.

Образцы GaAs *n*- и *p*-типа, легированные Zn и Te в концентрациях $1 \cdot 10^{16} \div 1 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, вырезались строго ориентированными в трех основных направлениях кристаллографических осей $\langle 111 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$ (в дальнейшем именуемые образцами $\langle 111 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$). Облучение проводилось при температуре $T = 300 \text{ K}$ интегральным потоком $\Phi = 1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ электронов энергии $E = 3 \text{ MeV}$. Спектры поглощения снимались при температуре 77 K . Монохроматический свет падал на образцы перпендикулярно к основным кристаллографическим осям, по направлению которых осуществлялось одноосное сжатие. Использовался как неполяризованный (Π_0) монохроматический ИК свет, так и поляризованный перпендикулярно (Π_{\perp}) или параллельно (Π_{\parallel}) к направлению сжатия. Изменение коэффициента поглощения определялось как $\Delta\alpha = \alpha_p - \alpha_k$ (где α_p — коэффициент поглощения облученных образцов, а α_k — коэффициент поглощения контрольных образцов).

На рисунке приведены спектральные зависимости $\Delta\alpha$ GaAs *n*-типа трех разных ориентаций, при одноосном сжатии ($\approx 1.5 \cdot 10^8 \text{ Pa}$), для разных поляризаций света (такая же картина и в *p*-типе образцов). Как видно из рисунка, в образцах $\langle 111 \rangle$ во всех трех случаях поглощение в области 1.0 eV одинаково, т.е. дихроизм не наблюдается, тогда как для двух остальных направлений этот эффект обнаруживается, а именно: в образце $\langle 110 \rangle$ значения $\Delta\alpha_{1,0}$ для Π_{\perp} и Π_{\parallel} совпадают, но заметно отличаются от значения $\Delta\alpha_{1,0}$ для Π_0 . В образце $\langle 100 \rangle$ Π_{\parallel} незначительно уменьшает значение $\Delta\alpha_{1,0}$ по сравнению с его величиной при Π_0 , а Π_{\perp} — немного увеличивает его. Таким образом, дефект, ответственный за полосу поглощения 1.0 eV , обладает свойством дихроизма, следовательно он является комплексом дипольного типа. Качественно такая же картина наблюдается и при отсутствии одноосного сжатия, только давление увеличивает как $\Delta\alpha$ по всему спектру, так и эффект дихроизма.

При анализе полученных результатов будем исходить из следующих известных соображений [8–11]: а) максимальное поглощение диполя наблюдается в случае, когда электрический вектор падающей световой волны параллелен оси диполя, и минимальное, когда перпендикулярен; б) различие в спектрах, измеренных при разных поляризациях, есть результат различного числа дефектов, поглощающих в этих ориентациях. Из рисунка видно, что в образцах $\langle 111 \rangle$ освещение поляризованным светом не меняет величину $\Delta\alpha_{1,0}$. Это означает, что ось диполя расположена вдоль направления падающего луча света, т.е. в плоскости



Спектральные зависимости коэффициента поглощения ($\Delta\alpha$) арсенида галлия n -типа в трех разных ориентациях, от энергии кванта, при одноосном сжатии ($\approx 1.5 \cdot 10^8$ Па), для разных поляризаций света: 1 — Π_0 , 2 — Π_{\perp} и 3 — Π_{\parallel} .

(111). А в образце $\langle 110 \rangle$ Π_{\perp} и Π_{\parallel} одинаково меняют величину $\Delta\alpha_{1,0}$, следовательно ось диполя расположена под углом $\sim 45^\circ$ к плоскости (110). В образце $\langle 100 \rangle$ Π_{\parallel} несколько уменьшает $\Delta\alpha_{1,0}$, а Π_{\perp} — несколько увеличивает. Это возможно лишь в случае, когда ось диполя составляет малый угол с направлением падающего луча света. Отсюда следует, что ось диполя одновременно должна лежать в плоскости (111), располагаться под углом 45° к плоскости (110) и составлять малый угол с плоскостью (100). Таким направлением является направление, близкое к эквивалентным направлениям $\langle 110 \rangle$.

Такая ориентация комплекса дипольного типа была получена для дивакансии в Si и Ge [8–11], где также определена и атомная симметрия дефекта как $\langle 111 \rangle$. Свойства дивакансии в этих материалах очень похожи на свойства исследуемого дефекта в GaAs. Если исследуемый дефект в GaAs является дивакансией [4–7], то, возможно, дивакансии со схожими свойствами характерны для кристаллов с гранцентрированной кубической решеткой. Тогда логично предположить, что дефект, ответственный за полосу поглощения 1.0 eV в GaAs, обладает такой же атомной симметрией, как в Si и Ge, т.е. в направлении $\langle 111 \rangle$. С такой ориентацией в арсениде галлия может существовать только один тип дивакансии — смешанная дивакансия, т.е. $V_{\text{Ga}} + V_{\text{As}}$. В самом деле, если в моноатомных полупроводниках для выявления дихроизма необходима электронная переориентация дефекта, осуществляемая одноосным сжатием при $T = 77\text{ K}$ [8–11], то в полупроводниках A^3B^5 смешанная дивакансия, в отличие от ”моно” дивакансии, и без одноосного сжатия должна обладать дипольным свойством, т.е. дихроизмом, что и наблюдается на эксперименте.

Таким образом, мы получили, что дефект, ответственный за полосу ИК поглощения 1.0 eV в GaAs, возможно, является смешанной дивакансией, направление дипольного момента которой ориентировано близко к кристаллографическому направлению $\langle 110 \rangle$, и она обладает атомной симметрией — $\langle 111 \rangle$.

Список литературы

- [1] Браиловский Е.Ю., Брудный В.Н., Кривов М.А., Редько В.Б. // ФТП. 1972. Т. 6. В. 10. С. 2075–2077.
- [2] Брудный В.Н., Браиловский Е.Ю., Кривов М.А., Редько В.Б. // Изв. вузов СССР. Физика. 1974. N 10. С. 118–121.

- [3] *Арефьев К.П., Брудный В.Н., Будницкий Д.Л., Воробьев С.А., Цой А.А.* // ФТП. 1979. Т. 13. В. 6. С. 1142–1146.
- [4] *Памбухчян Н.Х.* Исследование процессов образования и отжига точечных радиационных дефектов в кристаллах A^3B^5 , облученных быстрыми электронами. Дис. на соис. учен. степ. канд. физ.-мат. наук. Киев–Ереван, 1983. 157 с.
- [5] *Джибути З.В., Долидзе Н.Д., Офенгейм Г.Л., Рехвиашвили Д.Н., Чолокашвили Т.С.* // ФТП. 1987. Т. 21. В. 5. С. 930–932.
- [6] *Джибути З.В.* Исследование свойств радиационных дефектов в GaAs и механизмы их лазерного отжига. Дис. на соис. учен. степ. канд. физ.-мат. наук. Тбилиси, 1989. 169 с.
- [7] *Джибути З.В., Долидзе Н.Д.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 17. В. 5. С. 41–44.
- [8] *Cheng L.J., Corelli J.C., Corbet J.W., Watkins G.D.* // Phys. Rev. 1966. V. 152. P. 761–766.
- [9] *Kalma A.H., Corelli J.C.* // Phys. Rev. 1968. V. 173. P. 734–39.
- [10] *Gerasimov A.B., Dolidze N.D., Donina R.M., Konovalenko B.M., Ofengeim G.L., Tsertsvadze A.A.* // Phys. Stat. Sol. (a). 1982. V. 70. P. 23–28.
- [11] *Герасимов А.Б., Долидзе Н.Д., Офенгейм Г.Л., Церцвадзе А.А., Чолокашвили Т.С.* // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 1982. В. 4 (23). 5. С. 65–70.