

Исследование структуры Al–Ge₃N₄–Ge методом фото-вольт-фарадных характеристик

© Р.Б. Джанелидзе, М.Б. Джанелидзе, М.Р. Кациашвили

Институт кибернетики Академии наук Грузии,
380086 Тбилиси, Грузия

(Получена 21 марта 2000 г. Принята к печати 6 апреля 2000 г.)

Представлены результаты исследования границы раздела германий–нитрид германия (Ge–Ge₃N₄) методом вольт-фарадных характеристик при облучении структуры фотонами разной энергии. Примененная методика позволила определить уровни ловушек в нитриде германия, глубина залегания этих уровней составляет 0.75, 0.89 и 3.0 эВ. При исследовании токопрохождения через структуру Ge–Ge₃N₄ найдено два уровня в Ge₃N₄ с глубиной залегания 0.75 и 0.87 эВ.

Введение

Среди используемых в структурах металл–диэлектрик–полупроводник (МДП) пленочных диэлектрических материалов нитрид германия (Ge₃N₄) занимает особое положение. Достаточно сказать, что с Ge₃N₄ наилучшим образом решается сложная проблема создания МДП транзистора на арсениде галлия [1]. К настоящему времени накоплена большая информация по методам получения и исследования свойств Ge₃N₄. Однако лишь в одной работе рассмотрен вопрос о положении энергетических уровней в запрещенной зоне нитрида германия [2].

Для понимания природы различных дефектов в Ge₃N₄ и для определения уровней ловушек в нитриде германия в данной работе приводятся результаты исследования влияния облучения квантами света различной энергии на зарядовое состояние границы раздела Ge₃N₄–Ge, а также проведено сравнение этих результатов с данными, полученными при изучении токопрохождения через структуру Ge₃N₄–Ge.

1. Методика эксперимента

МДП структуры типа Al–Ge₃N₄–Ge были изготовлены на основе Ge ориентации [111] (с удельным сопротивлением $\rho = 4.5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$). Тонкие пленки аморфного Ge₃N₄ (толщиной 0.12–0.15 мкм) осаждались на германий при температуре 350–400°C [3]. Полупроводниковые алюминиевые контакты диаметром 0.5 мм наносились вакуумным испарением. Измерение вольт-фарадных ($C-V$) характеристик проводилось на частоте 1 МГц на установке ИППМ-02 с записью на двухкоординатном самописце Н-307. В качестве источника света использовалась лампа накаливания ТРУ 1100-2350. При снятии $C-V$ -характеристик контактом к полупрозрачному металлическому электроду служил проволочный зонд.

2. Экспериментальные результаты и обсуждение

На рис. 1 представлена типичная $C-V$ -характеристика структуры Al–Ge₃N₄–Ge (кривая 1). Напряжение плоских зон (V_{FB}), рассчитанное для данной структуры, составляет 0.5 В, а гистерезис 0.05–0.1 В. Воздействие на такую структуру ультрафиолетовым (УФ) излучением (энергия фотона $\hbar\omega = 4.6 \text{ эВ}$) вызывает смещение $C-V$ -характеристики в сторону положительных напряжений. При этом V_{FB} увеличивается до 0.8–0.9 В (рис. 1, кривая 2). Это свидетельствует о росте положительного заряда на поверхности германия. На рис. 2 представлена зависимость изменения V_{FB} от времени освещения τ при энергиях фотонов $\hbar\omega = 0.75, 1.5$

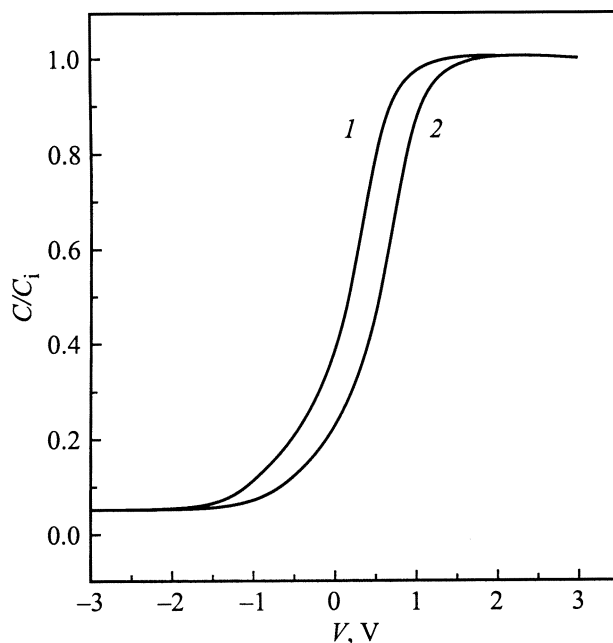


Рис. 1. Вольт-фарадные характеристики структуры Al–Ge₃N₄–Ge: 1 — темновая, 2 — при воздействии УФ излучением. C_i — нормировочное значение емкости.

и 4 эВ. Исходные значения V_{FB} взяты после воздействия на структуру Al-Ge₃N₄-Ge УФ излучением. Как видно из рис. 2, после воздействия фотонами разной энергии V_{FB} уменьшается в некоторый начальный период, а затем достигает насыщения. Время выхода на насыщение составляет $\tau = 10$ мин. При малой интенсивности света V_{FB} насыщается медленнее, но его значения остаются теми же. Для нахождения уровней ловушек в нитриде германия значения насыщения V_{FB} построены как функции энергии фотонов (рис. 3). Значения насыщения получены тем же методом, что и на рис. 2. Как видно

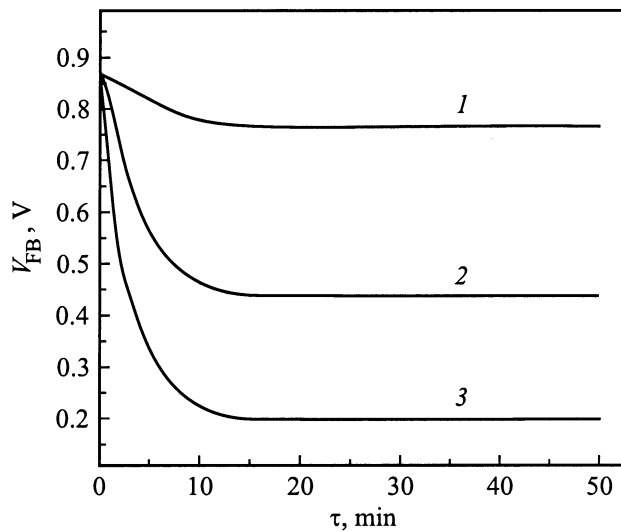


Рис. 2. Зависимость напряжения плоских зон от времени освещения для фотонов с энергиями $\hbar\omega = 0.75$ (1), 1.5 (2), 4 эВ (3).

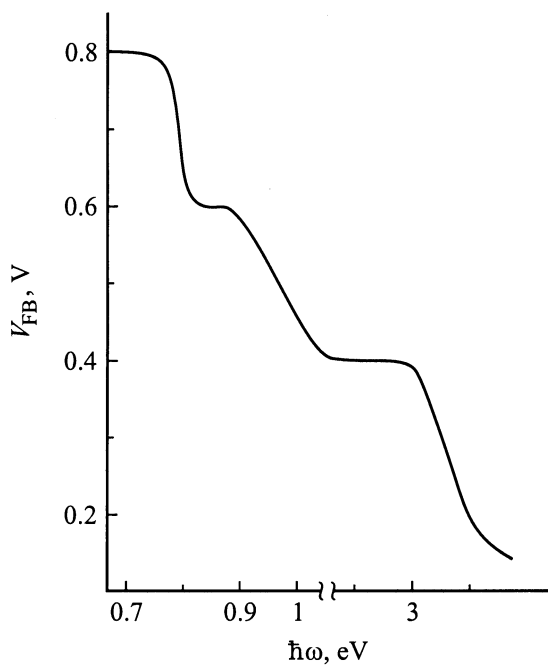


Рис. 3. Значения насыщения V_{FB} как функция энергии фотонов.

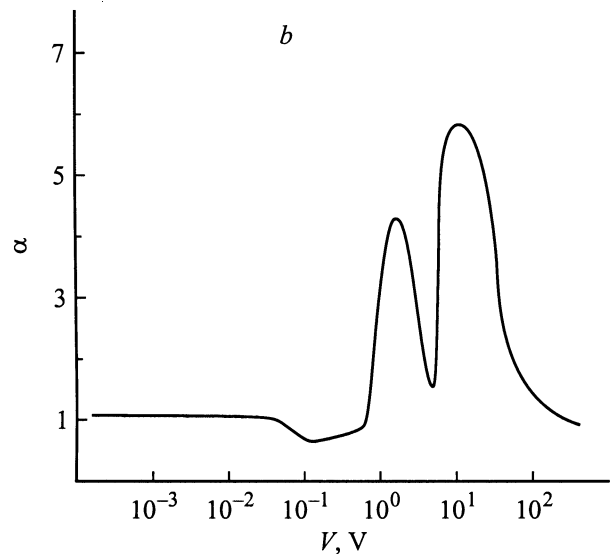
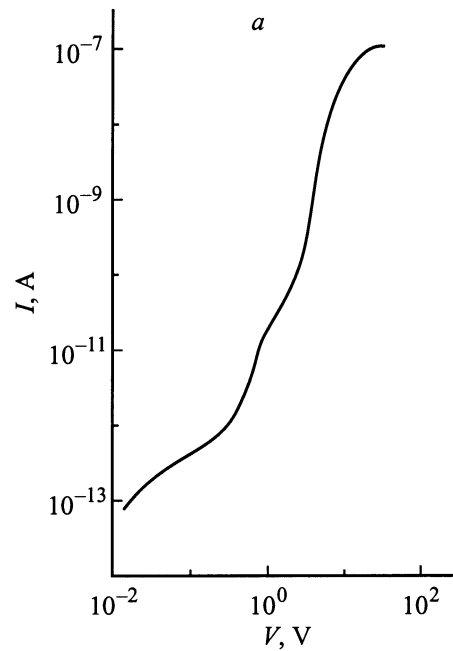


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика структуры Al-Ge₃N₄-Ge (a) и зависимость показателя степени α от напряжения (b).

из рис. 3, V_{FB} начинает уменьшаться при 0.75 эВ, затем наблюдается плато от 0.80 до 0.89 эВ. Дальнейший спад V_{FB} происходит до 1.5 эВ. В интервале энергий 1.5–3.0 эВ вновь наблюдается плато. С 3.0 эВ V_{FB} резко уменьшается. Полученная на рис. 3 зависимость, вероятно, может быть объяснена следующим образом: так как ширина запрещенной зоны Ge₃N₄ составляет 4.2 эВ, то при освещении МДП структуры в УФ области все ловушки в Ge₃N₄ опустошаются. Наряду с этим возникают свободные носители в германии. Ввиду того что работа выхода электрона из Ge (4.4 эВ) меньше установленной нами работы выхода электрона из Ge₃N₄

(4.9 эВ),¹ происходит преимущественный переход электронов из Ge в Ge₃N₄. При этом возникает контактное поле, направленное от Ge к Ge₃N₄. Перешедшие в Ge₃N₄ электроны заселяют пустые энергетические состояния в запрещенной зоне Ge₃N₄, увеличивая положительный заряд в Ge и, следовательно, увеличивая V_{FB} . Дальнейшее облучение такой структуры фотонами разной энергии вызывает эмиссию электронов из ловушек в Ge₃N₄. Эти электроны под действием контактного поля вновь переходят в Ge, уменьшая в нем положительный заряд и соответственно V_{FB} . Таким образом, поверхностный потенциал Ge может изменяться обратимо при воздействии фотонами с энергией в области 0.75–3.0 эВ. Из полученных результатов (рис. 3) следует, что в Ge₃N₄ имеются мелкие и глубокие ловушки с энергиями на 0.75, 0.89 и 3.0 эВ ниже дна зоны проводимости Ge₃N₄.

Подтверждением существования этих уровней в Ge₃N₄ являются результаты измерений вольт-амперных характеристик (ВАХ). В структуре Al–Ge₃N₄–Ge рассмотрен механизм токопрохождения и рассчитан энергетический спектр локальных состояний в запрещенной зоне Ge₃N₄ [4]. С этой целью использована обобщенная аппроксимативная теория инжекционно-контактных явлений и созданный на ее основе метод количественного определения вышеприведенных параметров [5]. На рис. 4, а представлена типичная ВАХ $I(V)$ структуры Al–Ge₃N₄–Ge, а на рис. 4, б — зависимость показателя степени $I(V) \propto d \lg I / d \lg V$ от напряжения. Для представленной системы были рассчитаны концентрация и глубина залегания уровней в Ge₃N₄. В пленке нитрида германия четко выявлены два уровня с глубиной залегания 0.87 и 0.75 эВ и с концентрацией соответственно $6.2 \cdot 10^{16}$ и $1.6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Сравнение полученных этим методом значений глубины залегания уровней ловушек с данными по фото-вольт-фарадным характеристикам свидетельствует об их достаточно удовлетворительном соответствии. Что касается уровня с энергией 3.0 эВ, то для его проявления в ВАХ, по-видимому, нужны поля больше 10^6 В/см . Однако о существовании этого уровня свидетельствуют данные [2].

Таким образом, методами фото-вольт-фарадных характеристик и вольт-амперных характеристик установлено, что в нитриде германия имеются энергетические уровни с глубиной залегания 0.75, 0.89 и 3.0 эВ.

Авторы выражают благодарность Н.И. Курдиани за интерес к работе и участие в ее обсуждении.

Список литературы

- [1] G.D. Bagratishvili, R.B. Dzhanelidze, N.I. Kurdiani et al. *Thin Sol. Films*, **56**, 209 (1979).
- [2] Takehisa Yashiro. *Japan. J. Appl. Phys.*, **10**, 1691 (1971).
- [3] Г.Д. Багратишвили, Р.Б. Джanelидзе, Н.И. Курдиани, О.В. Саксаганский. *Микроэлектроника*, **2**, 173 (1973).

- [4] G.D. Bagratishvili, R.B. Dzhanelidze, D.A. Jishashvili, V.M. Mikhelashvili, A.N. Zyuganov. *Phys. St. Sol. (a)*, **65**, 701 (1981).
- [5] A.N. Zyuganov, P.S. Smertenko, E.P. Shulga. *Poluprov. Tekhn. i Mikroelektronika*, **29**, 48 (1979).

Редактор Л.В. Шаронова

A study of Al–Ge₃N₄–Ge structures by the method of photo-current-voltage characteristics

R.B. Dzhanelidze, M.B. Dzhanelidze, M.R. Katsiashvili

Institute for Cybernetics,
Georgian Academy of Sciences,
380086 Tbilisi, Georgia

Abstract In this work we have investigated an germanium–germanium nitride interface by capacitance-voltage measurements under photon radiation of different energies. This method makes it possible to determine trap levels in germanium nitride. It is found that the occurrence depth of these levels amounts to 0.75, 0.89 and 3.0 eV. The illumination of Ge–Ge₃N₄ structure with photons of different energies results in a reversible change of the surface potential of Ge. Observing the charge flow through the Ge–Ge₃N₄ structure we have found two levels in Ge₃N₄ with occurrence depth of trap levels 0.75 and 0.87 eV.

The comparison of the occurrence depth of trap levels obtained with these two independent methods evidences their good conformity.

¹ Работа выхода электрона из Ge₃N₄ определялась методом контактной разности потенциалов (метод Кельвина).