

ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГРАНИЦЫ p — n -ПЕРЕХОДА В СВЕТОДИОДАХ НА ОСНОВЕ GaAsP(Zn)

И. А. Сукач

Институт полупроводников Академии наук Украины

252650, Киев, Украина

(Получено 18 августа 1992 г. Принято к печати 30 ноября 1992 г.)

Исследованию влияния радиационных воздействий на перераспределение легирующих примесей в полупроводниках посвящено много работ (см., например, [1]). Особенно проявляется этот эффект при диссоциативном механизме диффузии, когда примесь в решетке перемещается в различных зарядовых состояниях. В зависимости от заряда примеси введение неравновесных радиационных вакансий в полупроводники $A^{III}B^{VI}$ может привести как к ускорению, так и к замедлению процессов диффузии. Такое явление наблюдалось при исследовании влияния оптического облучения на перемещение границы p — n -перехода, созданного медью в GaAs [2]. В большинстве работ эксперименты по изучению смещения границы p — n -перехода, формируемого путем диффузии, проводились на материалах или уже облученных, или облучаемых. Так, в работе [3] исследована термодиффузия цинка в предварительно облученные нейтронами образцы InAs и GaAs. Было найдено, что при повышении температуры диффузии в облученных образцах p — n -переход сначала смещается в глубь материала, а затем — к поверхности, что подтверждает диссоциативный механизм диффузии.

В настоящей работе рассмотрен противоположный случай — исследовано влияние нейтронного облучения на изменение профиля распределения атомов цинка в узлах галлия (Zn_{Ga}), предварительно созданного термодиффузией, т. е. работа посвящена установлению взаимосвязи между дозой облучения Φ и смещением границы уже созданного p — n -перехода.

Исследовались светоизлучающие диоды (СИД) на основе $GaAs_{1-x}P_x$ ($x = 0.37 - 0.41$), полученные диффузией цинка. Глубина залегания p — n -перехода в исходных СИД составляла величину $W_0 \approx 2.5 \pm 0.5$ мкм. Контроль за изменением положения p — n -перехода при радиационном облучении ($\Phi = 10^{10} - 5 \cdot 10^{13}$ см⁻²) осуществлялся с помощью анализа dC/dV -характеристик [4]. Наблюдались изменения профиля распределения цинка и уширение компенсированной области с ростом Φ , свидетельствующее о сдвиге границы p — n -перехода в глубь n -области [5].

На рис. 1 представлена зависимость величины смещения Δw границы p — n -перехода от Φ , на которой видны три участка. На первом участке (при $\Phi \leq 10^{12}$ см) наблюдается линейный рост $\Delta w = f(\lg \Phi)$, связанный, по-видимому, только с ростом концентрации вакансий галлия V_{Ga} , которые служат «активаторами» ближайших с ними межузельных атомов цинка Zn_i , проникших в процессе создания p — n -перехода в глубь СИД на расстояния, превышающие глубину проникновения активного Zn_{Ga} . Реакция может быть записана как



В этой области Φ концентрация радиационных вакансий галлия и мышьяка, способствующих компенсации проводимости, значительно меньше как концентрации электронов в n -области СИД, так и концентрации атомов Zn_i [5].

На втором участке ($10^{12} < \Phi < 10^{13}$ см⁻²), где наблюдается более резкий рост $\Delta w = f(\lg \Phi)$, вклад в перемещение границы p — n -перехода помимо механизма, описываемого (1), дает также компенсация n - и p -областей за счет введения глу-

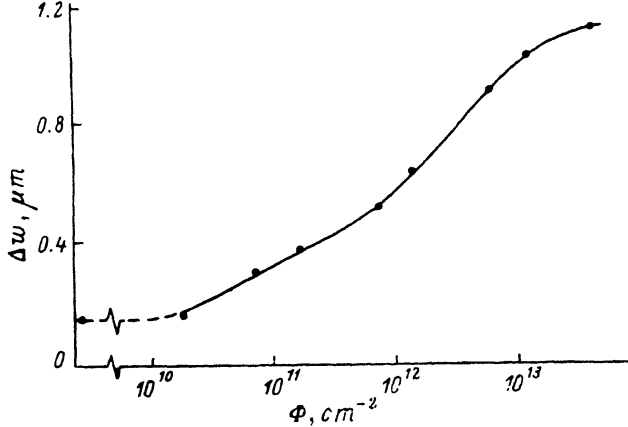


Рис. 1. Зависимость величины смещения $p-n$ -перехода в глубину структуры СИД от дозы облучения нейтронами.

боких радиационных уровней, приводящих к уменьшению концентрации основных носителей тока. Поскольку чем ниже уровень легирования материала, тем раньше начинают проявляться эффекты компенсации его проводимости, компенсация менее легированной n -области, обеспечивающая движение $p-n$ -перехода в глубину структуры, проявляется раньше, чем компенсация p -области, обеспечивающая движение $p-n$ -перехода в противоположном направлении — к поверхности. Значит, по мере роста Φ вклад этого механизма в перемещение границы $p-n$ -перехода будет уменьшаться. Наконец, еще одним фактором, усиливающим зависимость $\Delta w(\Phi)$, является поток ионов Zn_{Ga}^- во внешнем электрическом поле, приводящий к накоплению их со стороны p -области и уменьшению со стороны n -области и, как следствие, к росту напряженности внутреннего встроенного электрического поля [5]. Такая ситуация связана с тем, что в области сосредоточения ионов Zn_{Ga}^- их поток в электрическом поле превосходит противоположно направленный поток этих же частиц, связанный с градиентом примеси [6]. Суммарное действие этих трех факторов способствует тому, что при $\Phi = 10^{12} + 10^{13} \text{ см}^{-2}$ перемещение границы $p-n$ -перехода в глубину материала ускоряется.

Третий участок ($\Phi > 10^{13} \text{ см}^{-2}$), где наблюдается тенденция к выходу зависимости $\Delta w(\Phi)$ на насыщение, обусловлен конечной концентрацией межузельных ионов Zn_i^+ , проникших на стадии изготовления дальше в глубину n -области, чем ионы замещения Zn_{Ga}^- , и включением в игру конкурентного процесса компенсации проводимости более легированного p -слоя, способствующего замедлению перемещения границы $p-n$ -перехода в глубину материала.

На рис. 2 представлена воссозданная по результатам исследований картина перемещения $p-n$ -перехода. Более резкий спад концентрации примеси Zn_{Ga} в окрестности $p-n$ -перехода после облучения по сравнению с более медленным ее спадом до облучения (ср. наклон кривой 1' в области ее пересечения с кривой 4' и наклон кривой 1 в области ее пересечения с кривой 4) обусловлен перемещением в направлении к поверхности как ионов Zn_{Ga}^- (во внешнем электрическом поле), так и ионов Zn_i^+ (во внутреннем электрическом поле, обусловленном градиентом легирующей примеси) с последующей активацией ионов Zn_i^+ по реакции (1), т.е. в этой области поток примеси под действием поля доминирует над диффузионным [6]. Более пологий профиль цинка после облучения вне поля $p-n$ -перехода (ср. ход кривых 1 и 1' в n -области вдали от $p-n$ -перехода) связан в основном с диффузионным потоком проникших на стадии изготовления

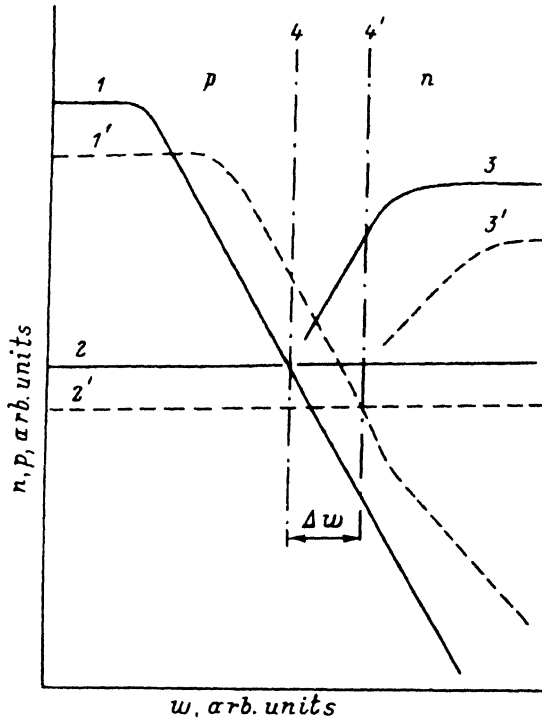


Рис. 2. Схематическое изображение концентрационных профилей по глубине w в СИД до (сплошные линии) и после (штриховые) облучения нейтронами. 1, 1' — профиль распределения цинка (Zn_{Ca}); 2, 2' — профиль распределения теллура; 3, 3' — экспериментальный профиль доминирующей в высокоомной n -области примеси после создания p - n -перехода; 4, 4' — граница p - n -перехода до и после облучения соответственно.

далеко в глубь n -области межузельных атомов цинка с последующей их радиационной активацией по реакции (1). Кривые 1 и 1' коррелируют с профилем распределения примеси, доминирующей в высокоомной n -области СИД (см. кривые 3 и 3'), экспериментально полученным в [7]. Видно, что после облучения уменьшается не только концентрация примеси в квазинейтральной n -области (ср. значения концентраций, соответствующие кривым 3 и 3' в области насыщения), но и величина ее градиента (ср. наклоны кривых 3 и 3'), что свидетельствует о корректности проведенного выше анализа.

Таким образом, в работе на количественном уровне установлена взаимосвязь между дозой нейтронного облучения, величиной смещения границы p - n -перехода и изменением профиля цинка в диффузионных СИД на основе GaAsP.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] В. В. Вавилов, А. Е. Кив, О. Р. Ниязова. Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках. М. (1981).
- [2] Б. И. Болтакс, С. М. Городецкий, Т. Д. Джафаров, Г. С. Куликов. ФТТ, 13, 11 (1971).
- [3] Э. Л. Савин, Б. И. Болтакс. ФТП, 5, 1331 (1971).
- [4] Л. С. Берман. Емкостные методы исследования полупроводников. Л. (1972).
- [5] Г. А. Сукач, Н. И. Сылко. ФТП, 24, 368 (1990).
- [6] Б. И. Болтакс. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. М. (1972).
- [7] Г. А. Сукач, Н. И. Сылко, П. Н. Свекольников, А. П. Клименко. Оптоэлектроника и полупроводниковая техника, вып. 20, 22 (1991).