

О КОМПЕНСАЦИИ ПРОВОДИМОСТИ РАДИАЦИОННЫМИ ДЕФЕКТАМИ В $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$

Ш.М.АББАСОВ

*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана
AZ 1143, Баку, пр.Г.Джавида 31а*

В настоящей работе предложены исследования электрофизических свойств твердых растворов $\text{n-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ [1,2] и изучена компенсация проводимости электронного $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ при облучении.

Облучение осуществлялось при 77К и комнатной температуре электронами энергией 5МэВ и γ - квантами ^{60}Co ($\Phi=5\cdot 10^{15}\text{см}^{-2}$).

Хорошо известно, что энергия ионизации примесных центров (и в первую очередь мелких), в возбужденном состояниях не является постоянной. Вообще говоря, она зависит, как от параметров самого полупроводникового материала (концентрация легирующей примеси, степень компенсации), так и от внешних условий.

Приводятся результаты исследования эффекта Холла, проводимости и влияния на них изохронного отжига монокристаллов $\text{n-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$, выращенных по методу Чохральского и легированных Sb ($5\cdot 10^{14}\div 1\cdot 10^{15}\text{см}^{-3}$). Атомное содержание Si составляло $0,05\div 0,15\%$. Отжиг проводился при $300\div 420\text{К}$, время выдержки при каждой температуре составляло 15 минут.

К наиболее электрически активным акцепторам радиационных дефектов, возникающих в спектре $\text{n-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ принадлежат уровням $E_c-0,13\text{эВ}$, $E_c-0,2\text{эВ}$, расположенные в нижней половине запрещенной зоны. Акцепторным состояниям соответствуют температуры отжига 350, 420К. Структура дефектов, которым принадлежат акцепторные состояния, обсуждалась в [2]. В настоящей работе подчеркнем лишь, что энергетические характеристики акцепторов и их радиационные константы зависят от содержания Si , а в образовании дефекта, соответствующего акцепторному состоянию E_1 , принимает участие атом элемента V группы. Аналогичный процесс дефект образования имеет место и в Ge .

Концентрация доноров и акцепторов рассчитывалась из температурной зависимости концентрации электронов с использованием закона действующих масс. Полученные нами результаты с помощью двух методов расчета [3,4] в применении к облученному Ge , проанализированные в [5], совпадают. Расчет проводился в приближении равенства эффективных масс электронов и долинно-орбитального расщепления основного донорного состояния в Ge и $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$, поэтому количественное сравнение с данными для Ge приведено только для $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ с 0,05 ат% Si .

Вследствие увеличения акцепторов при облучении $\text{n-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ возрастает компенсация проводимости вплоть до изменения типа проводимости. В образцах Ge при относительном интегральном потоке, соответствующем резкому прохождению коэффициента Холла через минимум, происходит $\text{n}\rightarrow\text{p}$ конверсия типа проводимости. В образцах твердого раствора с 5ат% Si и 10ат.% Si при дозах $5\cdot 10^{16}\text{эл/см}^2$ также происходит $\text{n}\rightarrow\text{p}$ конверсия типа проводимости (определяемая по фигуре Лиссажу). Однако эти переходы не сопровождаются прохождением коэффициента Холла через минимум, и на указанных участках образцы находятся в компенсированном состоянии. Установлено, что по мере увеличения содержания кремния в твердом растворе доза, необходимая для $\text{n}\rightarrow\text{p}$ конверсии, уменьшается. Установлено, что чем больше кремния в образцах твердого раствора $\text{n-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$,

облученных одинаковыми относительными дозами электронов, тем больше концентрация дырок после конверсии типа проводимости, которая для образцов с 0; 5; 10ат.%Si составляет $6,5 \cdot 10^{11} \text{см}^{-3}$, $2 \cdot 10^{12} \text{см}^{-3}$, $1,4 \cdot 10^{13} \text{см}^{-3}$ соответственно. Таким образом, можно заключить, что в конвертированных $n\text{-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ с различным содержанием донорной примеси в определенных температурных интервалах происходят одинаковые процессы взаимодействия радиационных дефектов с легирующей примесью и друг с другом, однако их интенсивность будет определяться соотношением концентрации этой примеси и концентрации первичных радиационных дефектов. По-видимому, в образцах n -типа при отжиге происходят те же процессы взаимодействия РД, но с другим соотношением концентрации примеси и концентрации первичных РД. Интенсивность стадий отжига может довольно сильно отличаться от подобных в образцах n -типа, конвертированных в p -тип при облучении. На Рис.1 приведены дозовые зависимости N_D (1) и N_A (2) для $n\text{-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ с 0,05ат.%Si.

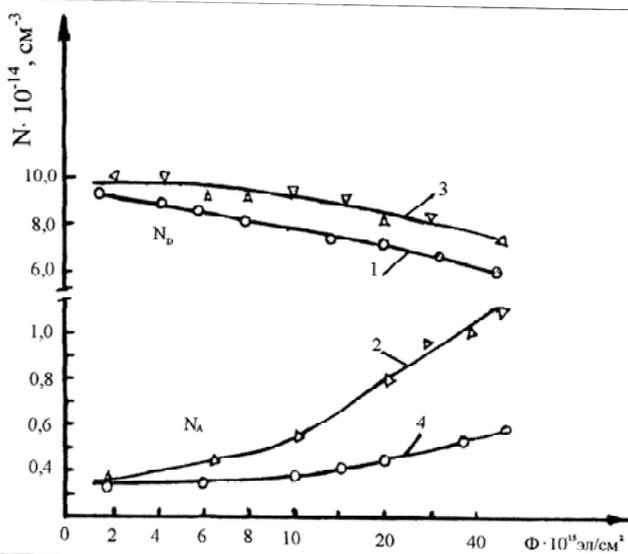


Рис.1.

Дозовая зависимость N_D и N_A для $n\text{-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ с 0,05ат.%Si.

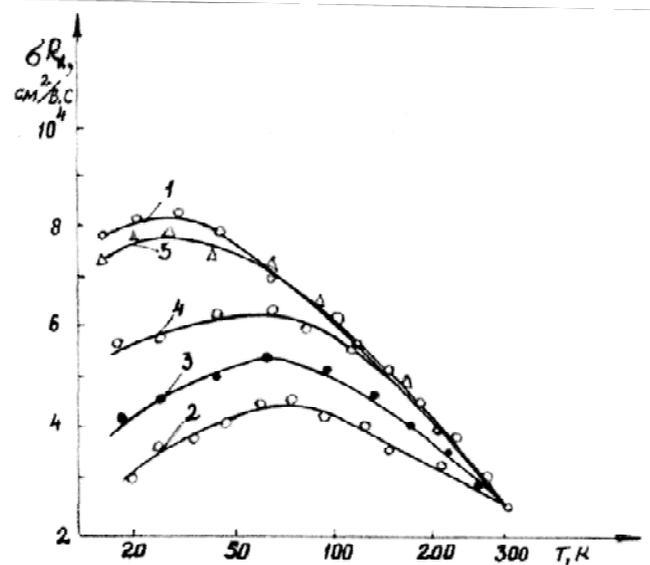


Рис.2.

Температурные зависимости Холловской подвижности электронов $n\text{-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ с $x=0,05$.

Что касается донорных состояний, то экспериментально наблюдалось как уменьшение, так и возрастание концентрации доноров с дозой Φ . На Рис.2 приведены температурные зависимости холловской подвижности электронов для того же образца.

По температурной зависимости коэффициента Холла и электропроводности были рассчитаны холловские подвижности носителей тока. Для удобства сравнения экспериментальных результатов температурные зависимости холловской подвижности приведены до облучения и после соответствующих отжигов. Установлено что, подвижность образцов p -типа с 0, 5, 10, 15ат.%Si в диапазоне температур $80 \div 300\text{K}$ значительно больше, чем до облучения.

Отжиг облученных образцов при 300K несколько уменьшает величину холловской подвижности за исключением образца германия p -типа, в котором подвижность немного увеличивается. Отжиг при $T=420\text{K}$ приводит к увеличению холловской подвижности по сравнению со значением подвижности до облучения. В образце с 15ат.%Si подвижность почти восстанавливается до исходной величины. Для сравнения экспериментальных результатов в различных образцах на Рис.3

приведены зависимости относительных холловских подвижностей (μ/μ_0) от ат%Si, измеренных при температуре 80К, где μ_0 - значение подвижности до облучения.

Подвижность во всех образцах, измеренная сразу после облучения, увеличивается, в среднем, в 2 раза (кривая 1). Отжиг при 300К почти восстанавливает исходную подвижность за исключением германия (кривая 2), в котором подвижность еще увеличивалась в 3,7 раза. Дальнейший отжиг при 420К продолжал увеличивать значение холловской подвижности (кривая 3) за исключением образца твердого раствора $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ 15ат%Si.

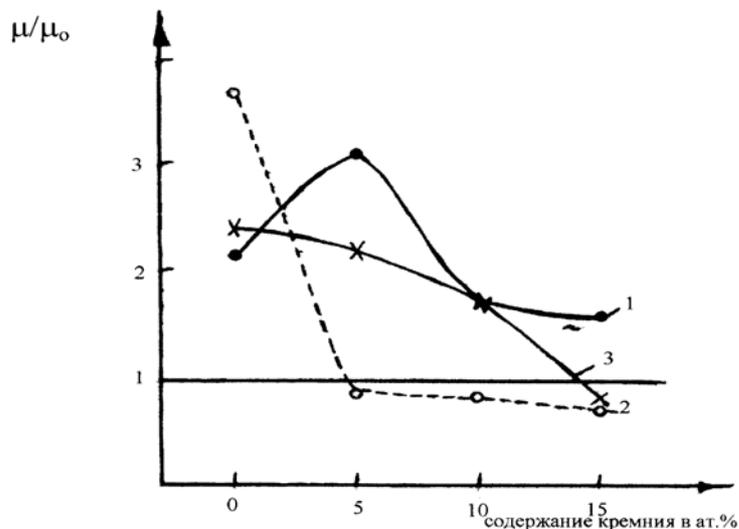


Рис.3.

Зависимость относительных Холловских подвижностей (μ/μ_0) от ат%Si для $p\text{-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$.

Анализ температурных зависимостей коэффициента Холла и подвижности носителей заряда в облученных и отожженных образцах Ge и $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ позволяет сделать следующие заключения:

1. Уменьшение N_D при облучении, наблюдавшееся экспериментально наряду с иными дозовыми зависимостями N_D , не связано с образованием электрически неактивных дефектов в модели [6]. Устойчивость таких дефектов, как и акцепторных состояний $E_c-0,2\text{эВ}$ в Ge, ограничивается температурным интервалом 350÷420К.

2. Количество радиационных уровней и их энергии ионизации зависят от содержания Si в твердых растворах. Об определяющей роли радиационных акцепторных состояний свидетельствует уменьшение подвижности электронов в облученном $n\text{-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ в области примесного рассеяния.

3. Можно заметно изменять значения холловской подвижности в зависимости от температуры облучения, отжига и содержания Si в твердом растворе $p\text{-Ge}_{1-x}\text{Si}_x$. Действительно, как видно из рис.3 (кривая 3), подвижность в образцах твердого раствора с 0÷10% атSi, облученных при 100К и отожженных при 420К, увеличивается в среднем в 2 раза по сравнению с исходной подвижностью, по-видимому, это связано с изменением зарядового состояния областей неоднородностей.

4. Особенности образцов, компенсированных радиационными дефектами, заключается в том, что в случае сильной компенсации они приобретают совершенно новые свойства и находят широкое практическое применение. Например, компенсированные радиационными дефектами полупроводники применяются в спектрометрии β -частиц и γ -квантов. Для этих целей необходимо создавать p - i - p структуры, с большой протяженностью i -области, которая играет роль чувствительной зоны спектрометра.

1. Sh.M. Abbassov, E.T. Агавердиева, Sh.I. Abbassov, *Eurasia conference on nuclear science and its application IEC-2000, 23-27 October, Izmir, Turkeyr,* (2000) 501.

2. Н.А.Ухин, А.К.Абиев, Ш.М.Аббасов, Г.М.Гасумов, ФТП, **18** (1984) 981.
3. Д. Блекмор, *Статистика электронов в полупроводниках* - М.Мир, (1964) 392.
4. V.V.Emtsev, T.V.Mashovets, S.M.Rivkin, *Proc. Intern conf radiate damage semiconductors. Reading 1973, London; Brisbtol: Inst Phys.*, ser 16 (1973) 17.
5. A.F.Lehar, I.E.Whkehouse, *Solid State Communs*, (171975) 1609.
6. T.V.Mashovets, V.V.Emtev, *Proc of intern, conf. on lattice defects in semiconductors, Freiburg 1975, London, Bristol: Inst. Phys.*, ser 23 (1975) 1603.

**$Ge_{1-x}Si_x$ BƏRK MƏHLULUN RADİASİYA
DEFEKTI VASİTƏSİ İLƏ KOMPENSASİYA KEÇİRİCİLİYİ**

Ş.M. ABBASOV

Radiasiya defekti vasitəsi ilə güclü kompensasiya olunmuş kristal özünü tamamilə yeni material kimi (ışığa, istiliyə, təzyiçə) aparır ki, bununla böyük praktiki əhəmiyyəti var. Bu işdə bizim tərəfdən əvvəllər öyrənilmiş n - $Ge_{1-x}Si_x$ bərk məhlulunun elektrofiziki xassələrinə elektron şüalarının təsirinin davamı olaraq, n- $Ge_{1-x}Si_x$ bərk məhluluna γ və elektron şüalarının təsiri ilə kompensasiya olunma və yaranan radiasiya defektlərinin kinetik tablamlarında aşqarların rolu öyrənilmişdir. Bunun üçün şüalanma mənbəyi kimi ^{60}Co - γ qurğusundan və enerjisi 5MeV olan elektron sürətləndirijisindən istifadə olunmuşdur. Şüalanma temperaturu $77 \pm 300K$ -dir.

**ON THE COMPENSATION OF CONDUCTIVITY
BY RADIATION DEFECTS IN THE $Ge_{1-x}Si_x$**

Sh. M.ABBASSOV

The results of electrophysical properties of solid solutions of n- $Ge_{1-x}Si_x$ [1, 2] and conductivity compensation of an electronic $Ge_{1-x}Si_x$ under irradiation has been studied.

The irradiation was conducted at 77K and at room temperature by electrons with energy of 5MeV and by γ -quanta of ^{60}Co .

Редактор: А.Гарибов