

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



8693

Б.С. ЧИТ. зала
Р6 - 8693

В.Груздзь, И.Н.Егошин, Е.Моравска,
Б.П.Осипенко, Чан Тхонг

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ
ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА
В КРЕМНИИ

1975

P6 - 8693

В.Груздзь, И.Н.Егошин, Е.Моравска,
Б.П.Осипенко, Чан Тхонг

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ
ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА
В КРЕМНИИ**

Направлено в ЖТФ

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Груздзь В., Егошин И.Н., Моравска Е.,
Осипенко Б.П., Чан Тхонг

P6 - 8693

Температурная зависимость времени жизни неравновесных носителей заряда в кремнии

Исследовалась зависимость времени жизни неравновесных носителей заряда τ от температуры и уровня инжекции в кремнии n -типа, имплантированного бором. Измерения τ p - n -переходов проводились методом переходных характеристик. Показано, что с понижением температуры τ резко падает. Измерения τ в зависимости от уровня инжекции при разных температурах позволили определить энергию активации рекомбинационных уровней. Для всех образцов они лежат в пределах от 0,02 до 0,05 эВ в области низких температур от 0,07 до 0,16 эВ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Gruzdz V., Egoshin I.N., Moravska E.,
Osipenko B.P., Chang Thoang

P6 - 8693

The Temperature Dependence of the Lifetime of Nonequilibrium Charge Carriers in Silicon

The dependence of the lifetime of nonequilibrium charge carriers, τ , on the temperature and on the injection level in Si of the n -type implanted with boron has been investigated. The τ measurements of p - n transition were made by the transient response method. The value is shown to decrease sharply with decreasing temperature. The τ measurements, depending on the injection level at various temperatures, allowed the activation energy of the recombination levels to be determined. For all the samples they are located in the limits from 0.02 to 0.05 eV, and in the low temperature region from 0.07 to 0.16 eV.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1975

Одним из важнейших параметров, влияющих на качество полупроводниковых детекторов ядерных излучений, является время жизни неравновесных носителей заряда при рабочей температуре детектора.

Время жизни неравновесных носителей заряда τ может заметно уменьшаться в процессе изготовления детектора. Знание зависимости τ от температуры для конкретной партии материала позволяет выбрать оптимальную геометрию детектора и соответствующие технологические приемы.

Кроме этого, анализ температурной зависимости τ и зависимости времени жизни неравновесных носителей заряда от уровня инжекции дает представление о типах уровней и их положении в запрещенной зоне ^{1/5/}.

Исследования проводились с помощью методики переходных характеристик p - n -перехода ^{1,2/}. Для этой цели были изготовлены p - n -переходы методом имплантации бора в кремний n -типа с удельным сопротивлением $\rho = 3+20$ кОм/см. Энергия внедрения ионов - 28 кэВ. Доза внедренных ионов - $3 \cdot 10^{13} - 5 \cdot 10^{14}$ ион/см². Отжиг проводился в атмосфере аргона в интервале температур (от 150 до 600°C). Для сравнения был изготовлен контрольный p - n -переход из кремния p -типа путем диффузии лития при температуре 360° С. Для ослабления влияния поверхностной рекомбинации изготовленные p - n -переходы имели довольно большую площадь (≈ 1 см²), использовалась также подсветка.

Для измерений использовалась специальная установка, состоящая из генератора сдвоенных импульсов и

криостата, позволяющего менять температуру измеряемого образца от 77 до 400°K. Амплитуду положительных импульсов можно изменять от 0 до 250 В, отрицательных - от 10 до 200 В, а длительность - от 300 до 2000 мкс и от 1500 до 3000 мкс для положительных и отрицательных импульсов, соответственно, при частоте повторения 30 - 70 Гц. Крутизна фронта перепада между импульсами равна 0,6 мкс. Большая амплитуда, крутые фронты импульсов и наличие синхронизации с переменной задержкой позволяют измерять время жизни неравновесных носителей заряда кремниевых р-п-переходов, изготовленных из кремния с удельным сопротивлением до нескольких десятков кОм/см в пределах от единиц микросекунд до нескольких миллисекунд.

В работе ^{3/} показано, что при малых уровнях инжекции анализ переходных характеристик приводит к выражению:

$$\operatorname{erf} \sqrt{\frac{T}{\tau}} = \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{пр}} + I_{\text{обр}}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{пр}}$ и $I_{\text{обр}}$ - ток через переход в прямом и обратном направлениях; T - длительность ступеньки тока и напряжения после переключения полярности.

Пользуясь выражением (1) и экспериментальными значениями T , $I_{\text{пр}}$ и $I_{\text{обр}}$, определялось время жизни неравновесных носителей заряда τ в базовой области.

Учитывая, что по статистической теории Шокли-Рида τ в полупроводнике является функцией инжекции, измерялась зависимость τ от уровня инжекции.

Результаты, представленные на рис. 1, показывают, что изменение τ от уровня инжекции очень сильно зависит от ρ материала. Для высокоомных образцов наблюдается резкое уменьшение τ по мере увеличения уровня инжекции, для низкоомных образцов τ растет с увеличением уровня инжекции. Чем ниже уровень инжекции, тем больше разница.

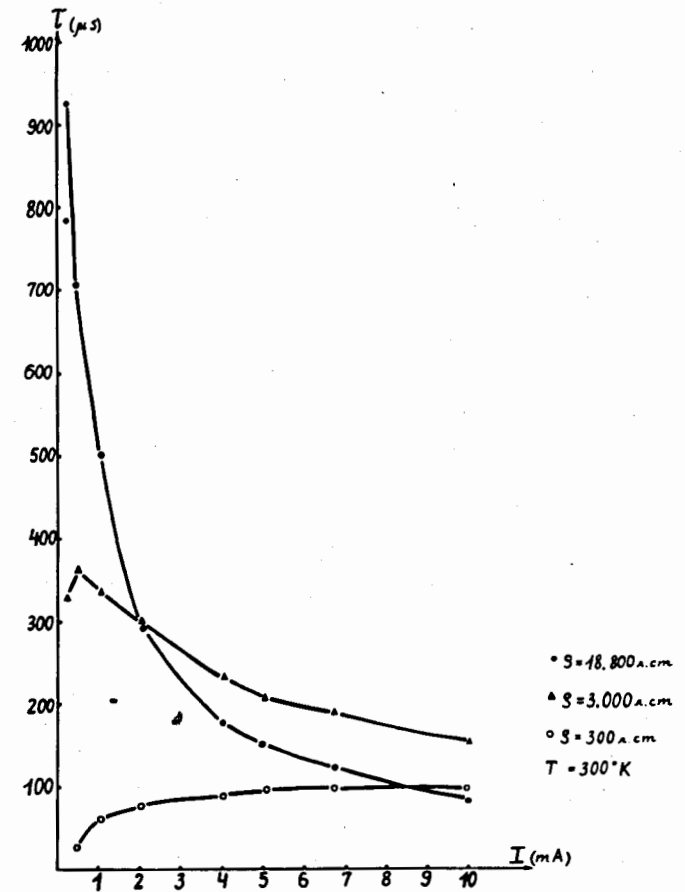


Рис. 1. Зависимость τ от уровня инжекции для материалов с различными ρ .

В работе^{/4/} показано, что выражение (2) справедливо для любых уровней инжекции

$$\frac{p}{n_0} \left[\frac{\frac{2p}{n_0 + p_0} + 1}{\frac{p}{n_0 + p_0} + 1} \right] = \frac{I_{пр}}{s a q n \sqrt{\frac{D_p}{\tau}}}, \quad (2)$$

здесь n_0 , p_0 - равновесная концентрация носителей заряда, q - заряд электрона, D_p - коэффициент диффузии дырок, s - площадь p-n-перехода, p - концентрация инжектированных носителей, a - коэффициент, меняющийся от 1 до 1,18 при переходе от малых уровней инжекции к большим.

Используя выражение (2), на основании экспериментально полученных значений $I_{пр}$ и τ вычисляли уровни инжекции.

Построенные зависимости $\tau \left(1 + \frac{p}{p_0 + n_0}\right) = f\left(\frac{p}{p_0 + n_0}\right)$ приведены на рис. 2 для различных температур. Из рисунка видно, что в области сравнительно низких уровней инжекции зависимость имеет линейный участок, что согласуется с теорией Шокли-Рида.

Экстраполируя $\tau \left(1 + \frac{p}{p_0 + n_0}\right)$ к значению $\frac{p}{p_0 + n_0} \rightarrow 0$, определялось время жизни неравновесных носителей заряда при малом уровне инжекции τ_0 . Наклон прямых определяет время жизни при бесконечно большом уровне инжекции τ_∞ .

На рис. 3,4 показаны зависимости измеренного τ в зависимости от уровня инжекции при разных температурах. На основании этих зависимостей определялось значение τ_0 от температуры для образцов № 3,5,35R, 36R и контрольного (рис.5).

Так как $\tau = \text{const} \cdot T^{3/a} \cdot e^{-\frac{\Delta E_M}{kT}}$, появляется возможность определить энергию активации рекомбинационных уровней ΔE_M .

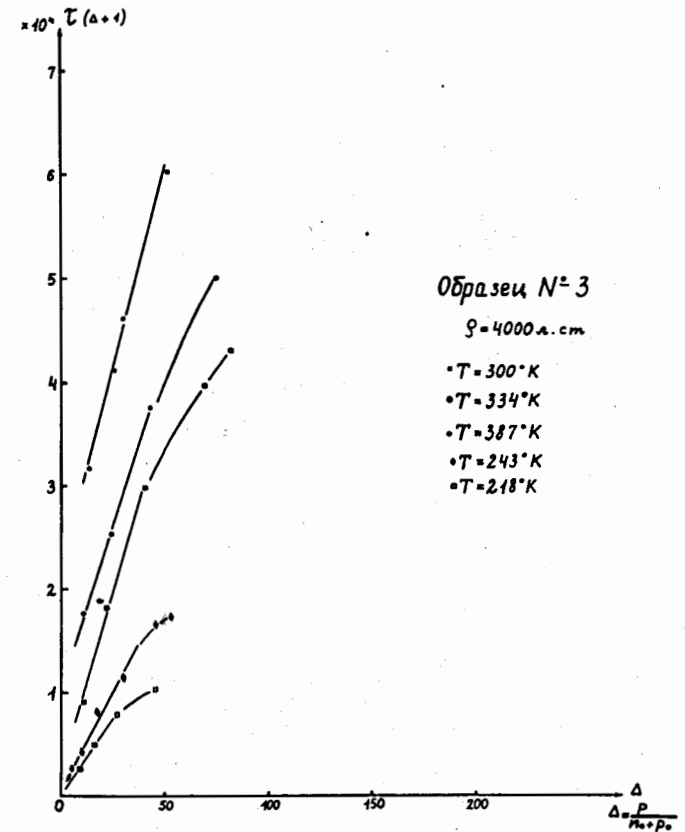


Рис. 2. Зависимость $\tau \cdot (1 + \Delta) = f(\Delta)$ при различных температурах.

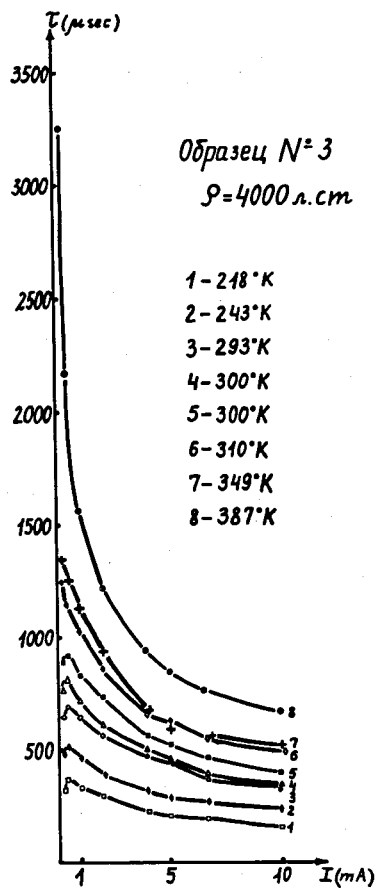


Рис. 3. Зависимость τ от уровня инжекции при различных температурах для образца №3.

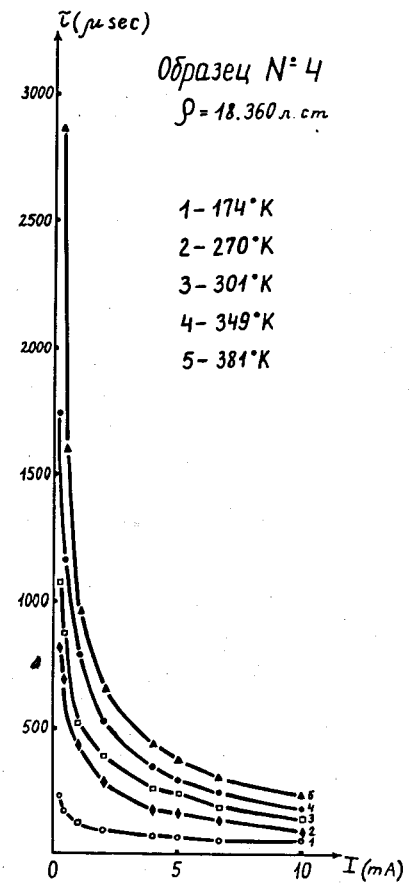


Рис. 4. Зависимость τ от уровня инжекции при различных температурах для образца №4.

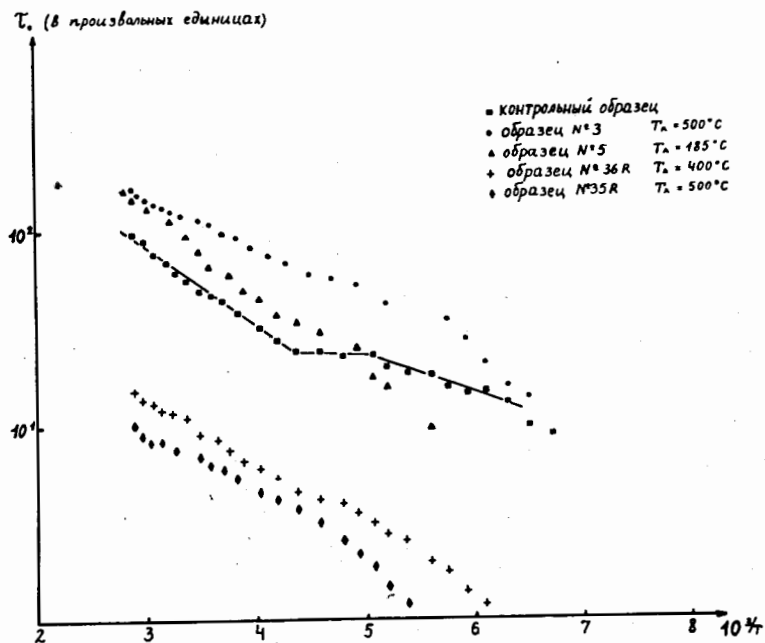


Рис. 5. Зависимость τ_0 от температуры.

По наклону высокотемпературной области (рис. 5) вычислялась величина ΔE_M . Оказалось, что она для измеренных образцов лежит в пределах от 0,02 до 0,05эВ. Этим значениям ΔE_M соответствуют примеси, обычно используемые в технологии легирования кремния (В, Р, As, Sb).

В области низких температур наклоны температурной зависимости τ_0 сильно отличаются у всех исследованных образцов. Соответствующие им ΔE_M лежат в пределах от 0,07 до 0,16 эВ.

Для идентификации природы этих рекомбинационных центров полученных экспериментальных данных недостаточно.

В заключение отметим, что, пользуясь описанной методикой, можно:

1. Определить оптимальную температуру отжига дефектов для имплантированных детекторов.
2. Определять пригодность исходного материала по времени жизни неравновесных носителей заряда для изготовления полупроводниковых детекторов.
3. В дрейфовых детекторах ориентировочно оценить допустимую глубину дрейфа.

Литература

1. Ю.Р.Носов. Физические основы работы полупроводникового диода в импульсных режимах. М., Наука, 1968.
2. М.И.Иглицын и др. ЖТФ, 27, 2461 (1957).
3. S.Lax, S.Neustadter. J. Appl. Phys., 25, 1148 (1954).
4. М.И.Иглицын и др. ЖТФ, 27, 2458 (1957).
5. С.М.Рывкин. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М., 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 марта 1975 года.