

УДК 621.3.014.6

ОЦЕНКА УРОВНЯ ТОКОВ УТЕЧКИ ШИРОКОЗОННЫХ ДИОДОВ ИЗ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

А. Н. Деменский, С. Ю. Ерохин, к. т. н. В. А. Краснов, к. т. н. С. В. Шутов

Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарёва НАН Украины
Украина, г. Херсон
serger@ukrpost.net, lab23@ukrpost.net

Разработана и апробирована методика экспресс-оценки уровня и величины токов утечки широкозонных полупроводниковых диодов. Методика основана на измерениях термометрических характеристик диодов в заданном диапазоне температур при токах, значительно превышающих токи утечки диодов. Предлагаемая методика практически не ограничена по нижнему пределу величины исследуемых токов.

Ключевые слова: ток утечки, широкозонный диод, термометрическая характеристика.

Разработки полупроводниковых диодов, в частности, на основе широкозонных соединений A_3B_5 (лазеры, светодиоды повышенной мощности) и политипов SiC (выпрямительные диоды, силовые переключатели) становятся заметной тенденцией в современном развитии оптоэлектроники и силовой полупроводниковой техники. Величина тока утечки является важным параметром диодов, влияющим на электрические и электрофизические характеристики прибора, надежность и долговечность. Кроме того, уровень и величины токов утечки, их термостабильность, характеризуют состояние технологии, в том числе и показатели ее воспроизводимости. Для широкозонных диодов характерны очень низкие значения токов утечки. Так, к примеру, в современных GaP-светодиодах [1] при комнатной температуре ток утечки значительно меньше 10^{-12} А. Прямые измерения токов такого уровня затруднительны, поскольку требуют применения сложных и дорогостоящих аппаратных средств с высоким уровнем помехозащищенности. Поэтому актуальной остается разработка методов косвенных измерений и оценки токов утечки широкозонных диодов, обладающих высокой степенью приближения, но более простых, менее затратных, экспрессных.

В этой связи предлагается методика оценки уровня токов утечки прямосмещенных диодов из измерений термометрических характеристик (ТМХ) [2]. Измерения проводят при токе I , который на много порядков превышает ток утечки I_0 в заданном диапазоне температур, т. е. $I \gg I_0$. Обработку измеренного массива данных осуществляют с привлечением теории Саа-Нойса-Шокли (СНШ), теории туннельного токопереноса, критерия идентичности диодов $U/s \rightarrow \text{const}$ (U – прямое напряжение на диоде, s – значение термочувствительности). В результате получают зависимость

$$s = f(I_0^*, E'_a, I), \quad (1)$$

где I_0^* , E'_a – параметры СНШ-модели, из которой выделяют искомую зависимость

$$I_0 = f(I_0^* = \text{var}, T).$$

Заметим, что в практически распространенных случаях широкозонных диодов с толстой базой (мощные светодиоды на основе гомогенных p - n -переходов, например, ИК-светодиоды GaAs, диоды SiC p^+ - n -типа и др.), у которых в широкой области рабочих токов доминирует рекомбинационный механизм токопереноса и которые удовлетворительно описываются СНШ-моделью глубокого уровня (центра) в области объемного заряда перехода с энергией E_a , формула (1) примет простой вид:

$$s = -\frac{k E_g}{q E_a} \ln \frac{I_0^*}{I}, \quad (2)$$

$$\text{при } E_g = E_{g0} - \alpha T$$

где E_g , E_{g0} – ширина запрещенной зоны в базе диода и ее значение, аппроксимированное к темпера-

туре $T=0$, соответственно; α – температурный коэффициент E_g ; k – постоянная Больцмана; q – элементарный заряд.

Эксперименты, проведенные нами по определению токов утечки мощных кремниевых диодов, начиная, практически, с температур жидкого азота и до температур около 150°C , показали, что выражение (2) с достаточно высокой степенью приближения справедливо и в случае перехода участка вольтамперной характеристики диода с преобладанием рекомбинационного механизма токопереноса ($1 < n \leq 2$, n – фактор идеальности p - n -перехода диода) к диффузионному ($n=1$). В этом случае $E_a \rightarrow E_g$ и выражение (2) будет представлено следующим образом:

$$s = -\frac{k}{q} \frac{E_g}{E_g - E_a''} \ln \frac{I_0^*}{I}, \quad (3)$$

при $E_g = E_{g0} - \alpha T$,

где E_a'' – усредненное значение энергии активации мелких уровней в базе диода.

Используя данную методику, мы определили уровень токов утечки высокотемпературных диодных термодатчиков на основе p^+ - n -структур GaP [3] в диапазоне температур 300–520 К: $1 \cdot 10^{-16} \leq I_0 \leq 5 \cdot 10^{-10}$ А. Это согласуется с нашими оценками по данным [4] в области температур 400–470 К.

Проведенный анализ показывает, что предлагаемая методика обладает экспрессностью, по сравнению с известной методикой обработки прямых вольт-амперных характеристик диодов, снятых при разных температурах, а также расширением диапазона определения токов утечки, по сравнению с методиками прямых измерений токов утечки. Результаты работы могут быть полезны разработчикам полупроводниковых приборов на основе широкозонных полупроводниковых материалов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Acharya Y. B., Vyavahare P. D. Study on the temperature sensing capability of a light-emitting diode // Rev. Sci. Instrum.– 1997.– 68 (12).– 4465.
2. Шварц Ю. М., Шварц М. М., Иващенко А. Н., Босый В. И., Максименко А. Г., Сапон С. В. Новое поколение микрорелектронных кремниевых термодатчиков // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.– 2003.– № 3.– С. 59.
3. Krasnov V. A., Shutov S. V., Shwarts Yu. M. and S. Yu. Yerochin. Determination of temperature dependence of GaP bandgap energy from diode temperature response characteristics // Rev. Sci. Instrum.– 2011.– 82 (8).– 086109.
4. Краснов В. А., Шварц Ю. М., Шварц М. М., Копко Д. П., Ерохин С. Ю., Фонкич А. М., Шутов С. В., Сыпко Н. И. Исследование термометрических характеристик GaP-диодов p^+ - n -типа // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.– 2008.– № 6.– С. 38.

A. N. Demenskiy, S. Yu. Yerochin, V. A. Krasnov, S. V. Shutov

Estimation of leakage current level of wide bandgap diodes by thermometric characterization.

The technique of fast evaluation of level and magnitude of leakage current of wide bandgap diodes have been worked out and tested. The technique is based on thermometric characterization of the diodes in a given temperature range when forward current exceeds leakage current significantly. The method proposed has practically no lower limit of magnitude of the current investigated.

Keywords: *leakage current, wide bandgap diode, thermometric characteristic.*