

УДК 621.315.592

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ИЗБЫТОЧНЫХ ТОКОВ В ДИФФУЗИОННЫХ InSb-ФОТОДИОДАХ

А. Сукач¹, д. ф.-м. н. В. Тетеркин¹, к. т. н. А. Ткачук²¹Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины, г. Киев;²Кировоградский педагогический университет им. В. Винниченко

Украина

teterkin@isp.kiev.ua

Изготовлены диффузионные фотодиоды на основе монокристаллического n -InSb. Из исследований ВАХ установлены преобладающие механизмы прохождения тока. Показано, что избыточные токи в фотодиодах обусловлены туннелированием носителей заряда через локальные области p - n -перехода с повышенной концентрацией протяженных дефектов. Механизм протекания тока включает туннельные и активационные переходы носителей через глубокие уровни в запрещенной зоне. Установлено, что механизм пробоя является туннельным, а напряжение пробоя коррелирует с концентрацией протяженных дефектов (предположительно дислокаций с примесными атмосферами Коттрелла).

Ключевые слова: антимонид индия, диффузионный переход, туннелирование, пробой.

Несмотря на то, что разработка фотодиодов на основе n -InSb интенсивно ведется на протяжении последних 30 лет, проблема улучшения их параметров и характеристик, а также стабильности остается актуальной до сих пор [1—3]. Важным является выяснение природы избыточных темновых токов в фотодиодах, приводящих к уменьшению их обнаружительной способности. В работе исследованы механизмы переноса заряда в диффузионных InSb-фотодиодах в интервале температуры 77—160 К. Фотодиоды изготавливались диффузией кадмия в подложки n -InSb (100) с концентрацией носителей $n=(1-2)\cdot 10^{15}$ см⁻³ при $T=77$ К. Диффузия кадмия осуществлялась двухтемпературным способом в течение 30 мин, причем температура подложки составляла 400°С, а источника 380°С. Из измерений ВФХ установлено, что переходы являются плавными с градиентом концентрации примеси $1\cdot 10^{19}$ см⁻⁴. Площадь мезаструктур была равна $A\approx 1,4\cdot 10^{-2}$ см², а глубина залегания p - n -перехода составляла около 3 мкм.

Результаты измерений ВАХ фотодиодов показаны на рис. 1—4. В интервале температуры 77—110 К ВАХ определяется туннелированием, а при более высокой температуре — генерационно-рекомбинационными процессами с энергией активации 0,13 эВ.

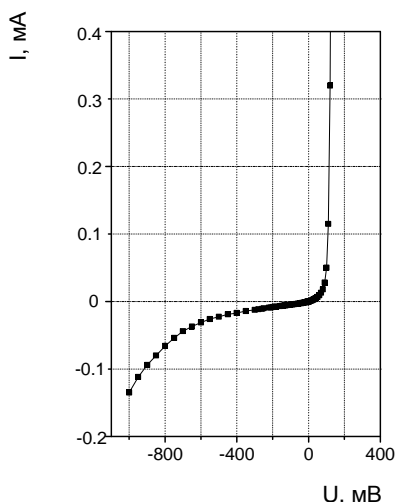


Рис. 1. ВАХ фотодиода при 77 К

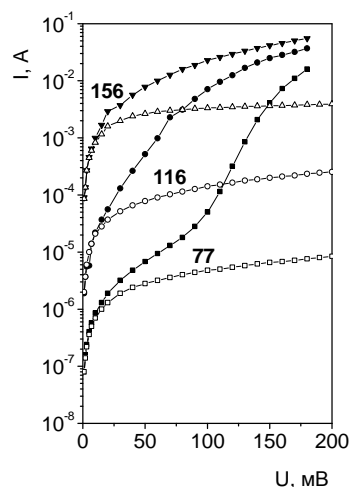


Рис. 2. Прямые (закрытые точки) и обратные (открытые точки) ВАХ при температурах 77, 116 и 156 К

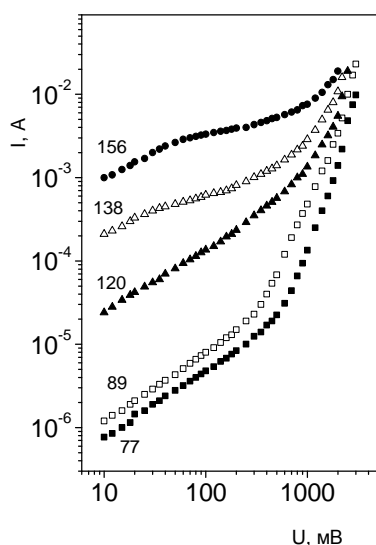


Рис. 3. Обратные ВАХ фотодиода (цифры у кривых указывают температуру в К)

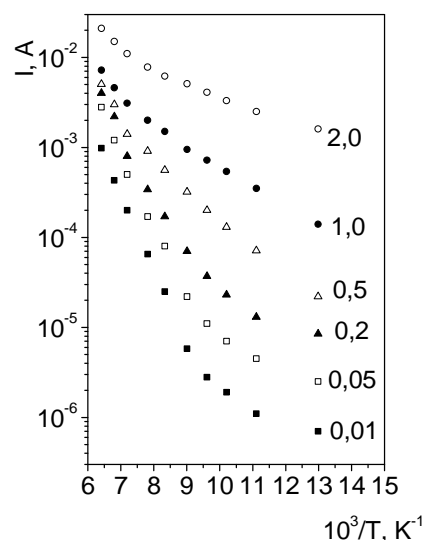


Рис. 4. Температурные зависимости ВАХ при обратных смещениях (значения указаны в вольтах)

Авторами был выполнен расчет туннельного тока по механизму туннелирования с участием глубоких уровней в запрещенной зоне однородного и неоднородного $p-n$ -перехода. В результате установлено, что экспериментальные ВАХ удовлетворительно коррелируют с расчетными для случая неоднородного перехода, в котором локальные неоднородности обусловлены протяженными дефектами, которые пересекают активную область перехода. Выполнены также оценки неоднородностей (плотность, поперечное сечение примесных атмосфер, концентрация электрически активных дефектов в неоднородности, обуславливающих величину напряженности внутреннего электрического поля).

Таким образом, исследования показали, что ВАХ диффузионных InSb-фотодиодов удовлетворительно объясняются в рамках модели неоднородного $p-n$ -перехода, причем неоднородность обусловлена протяженными дефектами (предположительно дислокациями). Общий темновой ток в таких переходах состоит из термоактивационной и туннельной компонент, причем туннельный ток протекает через локальные неоднородности, а термоактивационный — через однородную часть перехода.

Установлено, что механизм пробоя в исследованных фотодиодах является туннельным и обуславливается межзонным туннелированием через локальные неоднородности, а значение напряжения пробоя коррелирует с концентрацией ростовых дислокаций в подложке.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Рогальский А. Инфракрасные детекторы.— Новосибирск: Наука, 2003.
2. Tetyorkin V., Sukach A., Tkachuk A. Infrared photodiodes on II-VI and III-V narrow-gap semiconductors / Ed. Pgu Yun- Intech Open Access Publ.— 2012.— P. 215–260.
3. В. П. Астахов, Д. А. Гиндин, В. В. Карпов, А. В. Талимов. О возможности увеличения токовой чувствительности фотодиодов на основе InSb // Прикладная физика.— 2002.— № 1.— С. 56–62.

A. V. Sukach, V. V. Tetyorkin, A. I. Tkachuk

Study of excess currents nature in diffusion InSb photodiodes.

InSb photodiodes are prepared by Cd diffusion in n -type single-crystal substrates. Studies of current-voltage characteristics in wide temperature range established predominant mechanism of current flow. It is shown that the excess currents in the investigated photodiodes occur through the local areas of a $p-n$ -junction with high concentration of prolonged defects (predominantly dislocations). Tunneling mechanism includes electron transitions through the deep levels in the gap. It is shown that the breakdown mechanism is tunneling by nature, and the breakdown voltage is correlated with the etched pit density in substrates.

Keywords: *indium antimonide, diffusion transition, tunneling breakdown.*