

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОНЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ
МЕТОДОМ АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА

Н. Э. Гогитидзе, В. К. Бремни,^{*)} В. Л. Кашеваров,
Л. Н. Павличенко, Г. А. Сокол, Н. Б. Строкан^{*)},
О. П. Чикалова-Лузина^{*)}

УДК 539.1.074.55 + 621.382.2

Исследован аномально большой захват в чистом германии. Установлено, что причиной захвата является неоднородное распределение остаточных примесей. Наблюдалось два пространственно совпадающих канала захвата, один из которых характеризуется быстрым выбросом носителей.

Исследование неоднородностей сформировалось за последние годы в самостоятельный раздел физики полупроводников. Основное внимание уделяется при этом сильнолегированным, сильнокомпенсированным полупроводникам с существенным рельефом потенциала в объеме материала /1/.

Наибольший интерес представляют "чистые" материалы (германий, кремний). На практике такие материалы оказываются действительно слаболегированными, но, по-прежнему, сильнокомпенсирован-

^{*)} Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе АН СССР.

ными. В этом случае рельеф потенциала занимает малую долю объема, однако может заметно повлиять на процессы генерации — комбинации неравновесных носителей. Это существенно, например, для физики радиационных дефектов, приборов с зарядовой связью, детекторов ядерных излучений. В упомянутых приборах критичны потери неравновесного заряда на уровне 0,1% для чего достаточно, чтобы доля занимаемого неоднородностями объема составляла всего $\sim 10^{-4}$. Недавно были разработаны весьма продуктивные методы малоуглового рассеяния лазерного излучения /2/ и амплитудного анализа переноса пакетов заряда /3/. Важная информация была получена при совместном применении указанных методов /4/.

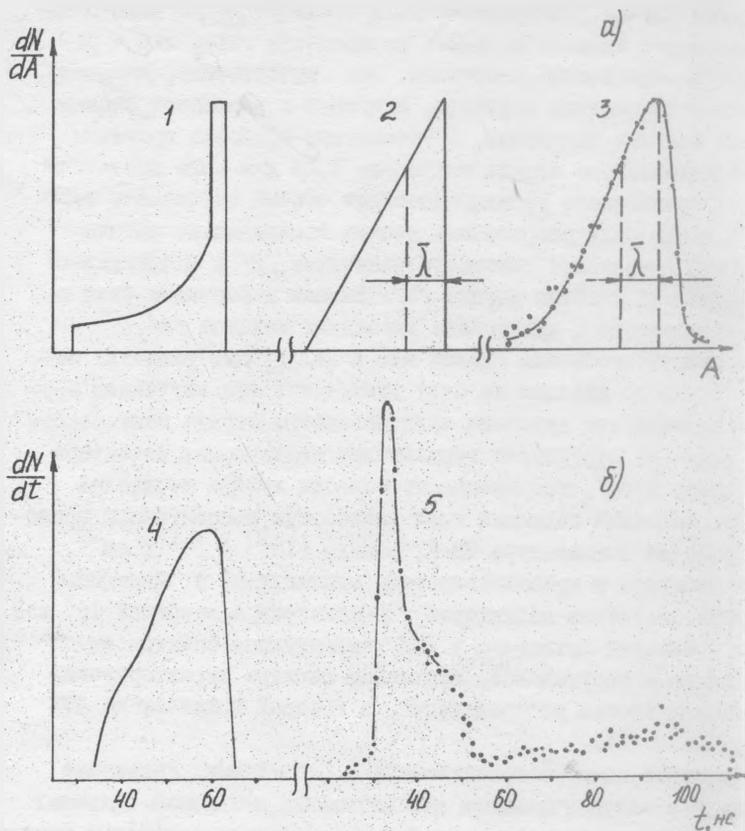
В настоящем сообщении сделан шаг в дальнейшем развитии метода амплитудного анализа за счет дополнения его изучением временных характеристик переноса калиброванного заряда непосредственного в p-i-n структурах германиевых детекторов. Детекторы имели площадь 2 см^2 , протяженность области дрейфа носителей $d = 5 \text{ мм}$. Исходный германий имел разностную концентрацию примесей при рабочей температуре 78 К, равную $(10^{10} - 10^{11}) \text{ см}^{-3}$.

Были измерены и проанализированы амплитудные и временные спектры при облучении детекторов γ -квантами с энергией 661 кэВ. Описание установки приведено в /5/. Амплитудные спектры имели форму близкую к треугольной, временные спектры характеризовались наличием хвоста распределения, в который попадает до 40% импульсов (рис. 1).

Наблюдаемые спектры сравнивались с расчетными. Расчетные амплитудные спектры учитывали два возможных механизма захвата: происходящего равномерно по объему (одиночные примесные центры), либо на дискретно расположенные области (например, ступки примесей) /3/. Временные спектры получены в ходе расчета методом Монте-Карло для отсутствия захвата с учетом многоактной генерации пар электрон-дырка при поглощении γ -квантов /5/.

Одновременно сопоставлялись значения амплитуды и особенности нарастания (рис. 2) для индивидуально наблюдаемых импульсов. Применение коллиматоров позволяло изучать перенос только электронов либо только дырок.

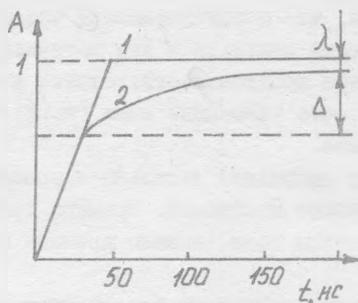
Из амплитудных спектров извлекалась величина средних потерь заряда на захват λ . Показательна ее зависимость от напряженности электрического поля. При захвате заряженными примесными об-



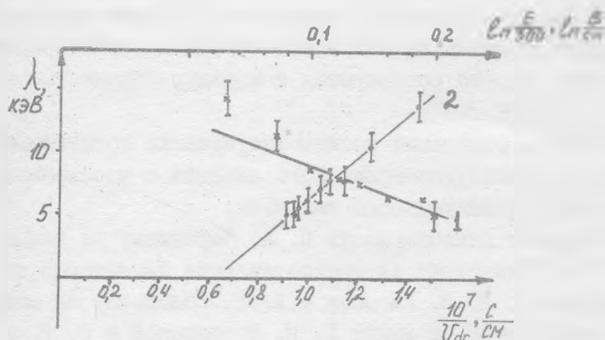
Р и с. 1. Вид амплитудных (а) и временных (б) спектров при облучении всего детектора: 1 - захват равновероятно распределенными центрами; 2 - захват сгустками; 4 - отсутствие захвата; 3, 5 - эксперимент

лаками /4/ имеем $\bar{\lambda}(E) = -k_1 \ln E + C$. Действительно, экспериментально полученная зависимость $\bar{\lambda}(\ln E)$ линейна (рис. 3) и значения констант дают для числа облаков $M_0 \approx 5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ при максимальной концентрации свободных носителей (в центре облака) $N_m = 10^{16} \text{ см}^{-3}$. С другой стороны, для захвата на одиночные центры характерен линейный ход $\bar{\lambda}(1/V_{dr})$ /4/. Эксперимент дает

зависимость $\bar{\lambda} = k_2/V_{dr} + \lambda_0$ (рис. 3), однако константа λ_0 отрицательна, что не находит физического объяснения.



Р и с. 2. Типичная форма импульсов для переноса электронов (1) и дырок (2) в сильных полях



Р и с. 3. Зависимость средних потерь для пика полного поглощения γ -квантов Cs^{137} (662 кэВ): 1 - от $\ln E$, 2 - от $1/V_{dr}$

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. В исследованных образцах действительно отсутствует макроскопический рельеф поля. Это следует из правильного линейного нарастания импульсов для электронов с длительностью, строго соответствующей d/V_{dr} (см. рис. 2).

2. Захвату при дрейфе в области поля подвергаются в основном дырки. Из наблюдения формы импульса следует, что имеются

два механизма захвата; один из которых характеризуется временным выбросом ~ 100 нс (см. рис. 2). Второй имеет постоянную времени значительно больше, что и обуславливает потери.

3. Сооставление формы импульса и его конечной амплитуды показывает, что затянутым фронтам соответствуют и большие потери λ . Это означает, что указанные выше (п. 2) механизмы коррелируют по координате.

4. Временной спектр позволяет детально проследить за влиянием поля на дрейф и выброс носителей. Времена дрейфа действительно уменьшались с ростом поля, однако времена выброса от поля не зависели.

5. Учитывая выброс первоначально захваченных носителей, следует увеличить полученное выше значение концентрации ловушек в соответствии с $M = (\Delta/\lambda)M_0$, что дает $5 \cdot 10^4 - 10^5 \text{ см}^{-3}$. При этом оценка среднего числа встреч трека с ловушкой дает значение 2-4, что согласуется с треугольной формой спектра.

Совокупность количественных и качественных характеристик процесса захвата хорошо согласуется с моделью "примесных облаков".

В методическом отношении продемонстрирована продуктивность статистического амплитудно-временного анализа с прослеживанием особенностей индивидуального импульса.

Авторы выражают благодарность П. А. Черенкову за внимание к работе, С. Г. Даненгишу за предоставление детекторов из особоистого германия, Е. В. Ржанову и А. Г. Соломьеву за помощь в настройке аппаратуры, а также Г. И. Воронковой и В. В. Воронкову за многочисленные обсуждения, стимулировавшие проведение эксперимента.

Поступила в редакцию
10 января 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. Б. И. Шкловский, А. Л. Эфрос, Электронные свойства легированных полупроводников, "Наука", М., 1979 г.
2. В. В. Воронков и др., ФТТ, 19, 1784 (1977); В. В. Воронков и др., ФТП, 13, 1137 (1979).
3. В. К. Бремин, Н. И. Тиснек, Н. Б. Строкан, ВП, 12, 718 (1978).