

П. ЛУУК, М. ПИЙЛЬМА, Я. КИРС

О НОВОМ МЕТОДЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА, ИНЖЕКТИРОВАННОГО В ДИЭЛЕКТРИК ИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА

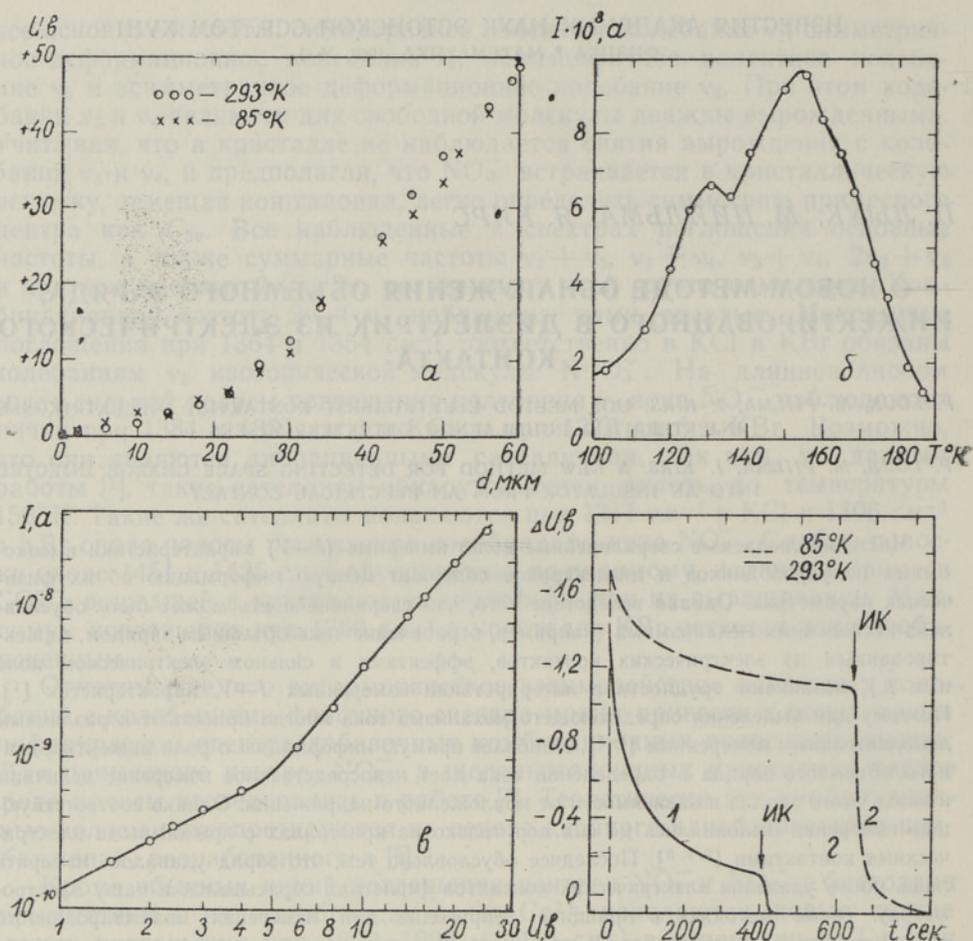
*P. LOUK, M. PIILMA, J. KIRS. UUS MEETOD ELEKTRILISEST KONTAKTIST DIELEKTRIKUSSE
INJEKTEERITUD RUUMLAENGU DETEKTEERIMISEKS*

*P. LOUK, M. PIILMA, J. KIRS. A NEW METHOD FOR DETECTING SPACE CHARGE INJECTED
INTO AN INSULATOR FROM AN ELECTRICAL CONTACT*

Часто наблюдаемые сверхлинейные вольт-амперные ($I-V$) характеристики высокоомных полупроводников и диэлектриков содержат ценную информацию об их физических параметрах. Однако вследствие того, что сверхлинейность может быть обусловлена несколькими механизмами (например, ограничение тока объемным зарядом, инжектированным из электрических контактов, эффектами в сильном электрическом поле и т. д.), возникают трудности в интерпретации измеренных $I-V$ характеристик [1]. Поэтому для выделения определяющего механизма тока иногда прибегают к различным дополнительным измерениям [2-5]. Наиболее прямую информацию о роли инжектированного объемного заряда в определении тока дает непосредственное измерение величины и знака этого заряда в зависимости от приложенного напряжения. Однако соответствующие измерения выполнялись до сих пор только на кристаллах с прижимными электрическими контактами [2, 5, 6]. Последнее обусловлено тем, что заряд удавалось измерить лишь после удаления электрических контактов (кристалл сбрасывался в чашу электрометра). Такая методика в принципе непригодна для измерения инжектированного объемного заряда в кристаллах с напыленными и наплавленными контактами, хотя это и представляет большой интерес.

В настоящей работе показана возможность обнаружения объемного заряда, инжектированного в диэлектрик электрическим полем, с помощью видоизмененного метода Зисмана [7], который был использован ранее для измерения распределения электрического потенциала и контактной разности потенциалов на кремнии [8] и сульфиде кадмия [9]. Сущность метода заключается в следующем. Измерив автокомпенсационным методом (рис. 3 в [9]) контактную разность потенциалов между данной точкой кристалла и зондом, производят электрическим полем инжекцию объемного заряда в кристалл. После снятия напряжения оба контакта образца заземляют. Следовательно, в кристалле может оставаться только неподвижный объемный заряд, локализованный на ловушках. Последний индуцирует на измерительном зонде заряд противоположного знака. В результате при новом измерении следует ожидать изменения величины «контактной разности потенциалов» (точнее компенсационного напряжения зонда). Таким образом, величина изменения компенсационного напряжения зонда определяется плотностью объемного заряда в кристалле, а направление этого изменения — знаком заряда.

Использованная для измерений установка с вибрирующим емкостным зондом отличается от описанной нами ранее [9] главным образом тем, что позволяет проводить измерения контактной разности потенциа-



a — распределение электрического потенциала вдоль поверхности кристалла между контактами при комнатной температуре и температуре жидкого азота; *б* — кривая термостимулированной проводимости, индуцированной инжекцией электронов в кристалл; *в* — вольт-амперная характеристика кристалла, снятая при комнатной температуре; *г* — кривые изотермической релаксации объемного заряда, инжектированного в кристалл электрическим полем, снятые при двух разных температурах.

лов, распределения электрического потенциала, а также регистрацию объемного заряда в вакууме (до $5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.) в широком диапазоне температур ($85\text{--}600^\circ\text{K}$) или в различных газовых средах при комнатной температуре.

На рисунке приведены некоторые экспериментальные результаты, демонстрирующие возможность измерения инжектированного объемного заряда вышеописанным методом. Измерения выполнены на кристалле CdS толщиной 60 мкм, с напыленными индиевыми контактами типа сэндвич. На основе картины распределения электрического потенциала (при 85 и 293°K) между контактами (рис., *a*) и появления термостимулированного тока после подачи напряжения больше 5 в (рис., *б*) можно было ожидать, что вид $I\text{--}V$ характеристики данного кристалла (рис., *в*) определяется инжекцией отрицательного объемного заряда из контакта.

Результаты измерения объемного заряда (рис., *г*) подтверждают это предположение. Знак изменения компенсационного напряжения указывает на присутствие отрицательного объемного заряда в кристалле.

Временные зависимости изменения компенсационного напряжения (пропорционального плотности объемного заряда) после инжекции электронов напряжением 45 в измерены при температурах 293° К (кривая 1) и 85° К (кривая 2). Как видно из рисунка, инжектированный объемный заряд может быть заморожен в кристалле при низких температурах (кривая 2), но сравнительно быстро исчезает при комнатной температуре (кривая 1). В принципе мыслима изотермическая релаксация объемного заряда вследствие 1) теплового выброса захваченных электронов из ловушек, 2) непосредственного освобождения электронов светом или их «освобождения» благодаря генерации электронно-дырочных пар (электрон уходит из кристалла, а дырка рекомбинирует с электроном на ловушке), 3) нейтрализации заряда захваченных электронов благодаря поставке дырок из контактов.

В случае рассматриваемого кристалла с удельным сопротивлением $\rho \approx 10^9$ ом·см и омическими контактами для электронов на границе In-CdS должен иметься высокий энергетический барьер для дырок (~ 2 эв) и вследствие этого последний механизм не может, вероятно, играть существенной роли. Наличие термостимулированной проводимости при температурах ниже комнатной и даже близких к температуре 85° К, при которой снята кривая 2 (рис., *г*), дает основание предполагать, что в данном случае главную роль в релаксации объемного заряда играет тепловое освобождение электронов из ловушек.

Анализ кривых изотермической релаксации объемного заряда показывает, что они неэкспоненциальны. Это связано, по-видимому, с одновременным освобождением электронов с близлежащих уровней. Присутствие нескольких довольно близких максимумов на кривой термостимулированного тока является, на наш взгляд, аргументом в пользу такого предположения.

На возможность освобождения захваченного объемного заряда фотонами указывает его быстрое исчезновение при освещении кристалла инфракрасным светом (моменты включения света указаны на рисунке, *г* стрелками).

Описанная методика измерения инжектированного объемного заряда в кристаллах диэлектриков имеет принципиальные преимущества перед использованной ранее в [2, 5, 6]:

1. Измерения можно проводить на кристаллах с контактами, созданными любым способом (прижимные, напыленные, наплавленные).
2. Имеется возможность регистрировать поведение объемного заряда во времени в разных условиях (разные температуры, равномерное повышение температуры во времени, освещение светом с разными энергиями квантов и т. д.).
3. Сравнительно легко можно проводить эксперименты при низких температурах и в различных газовых средах.

Эта методика измерения объемного заряда может оказаться, с одной стороны, полезной при изучении механизма токов в диэлектриках при сильных электрических полях, инжекционных свойств электрических контактов и т. д. С другой стороны, ее можно использовать для определения параметров примесных центров, измеряя спектры действия света на инжектированный объемный заряд и кривые изотермической и термостимулированной релаксации объемного заряда. При этом непосредственно определяется знак электронных переходов, приводящих к освобождению объемного заряда. Сопоставление результатов таких измерений с дан-

ными о люминесценции и фотопроводимости тех же кристаллов позволит, по-видимому, в некоторых случаях определять знак электронных процессов, играющих роль в этих явлениях.

В заключение авторы выражают благодарность Ю. Тенно за помощь в проведении эксперимента и Р. Каск за выращивание монокристаллов сульфида кадмия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bube R. H., J. Appl. Phys., **33**, 1733 (1962).
2. Smith R. W., Rose A., Phys. Rev., **97**, 1531 (1955).
3. Višćakas I., Mačkus P., Smilga A., Phys. Stat. Sol., **25**, 331 (1968).
4. Saji M., Inuishi Y., Technol. Rep. Osaka Univ., **15**, 217 (1965).
5. Ruppel W., J. Phys. Chem. Solids, **22**, 199 (1961).
6. Böer K. W., KümmeU., Schroeter K. E., Z. Phys., **167**, 403 (1962).
7. Zisman W., Rev. Scient. Instrum. **3**, 367 (1955).
8. Sochanski I., Phys. Stat. Sol. **2**, 1312 and 1317, 1962.
9. Лыук П. А., Тенно Ю. Т., Кирс Я. Я., Тр. ИФА АН ЭССР, № 36 (в печати).

Институт физики и астрономии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
18/III 1968

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. XVIII KÕIDE
FÜSIKA * МАТЕМАТИКА. 1969, NR. 1

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ XVIII
ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА. 1969, № 1

А. СЮГИС

СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

A. SUGIS. POSITIIVSE TAGASIDEGA PINGESTABILISAATORID

A. SUGIS. VOLTAGE REGULATORS WITH POSITIVE FEEDBACK

С развитием техники физического эксперимента все более высокие требования предъявляются к источникам питания для всех современных измерительных устройств. Часто требуется несколько источников анодного питания на различные напряжения и полярности. Поэтому необходимо повышать эффективность простых стабилизаторов напряжения без увеличения громоздкости [1]. В настоящей работе рассматривается получение максимальной эффективности от стабилизатора анодного напряжения с усилителем только на одной двойной лампе, а также с усилителем только на двух транзисторах. Стабилизаторы предназначены для питания потребителей, предъявляющих повышенные требования к чистоте напряжения питания и к внутреннему сопротивлению источника питания, но не к дрейфу этого напряжения. Такими являются, например, чувствительные усилители переменного тока для усиления колебаний звуковой и особенно инфразвуковой частоты до 10^{-2} гц.

Схемы исследованного стабилизатора с различными усилителями приведены на рис. 1, а частотные зависимости их коэффициентов стабилизации K и внутренних сопротивлений Z_i — на рис. 2. Пунктирные кривые показывают спад K (но не Z_i) при нестабилизированном накале усилительной лампы 6Ф1П. Применение триод-пентода вместо двойного трио-