

ИССЛЕДОВАНИЕ S-ДИОДОВ С ПРИМЕСЬЮ КАДМИЯ ($Zn \sim 10^{-2} \%$)

Г. М. АВАКЬЯНЦ, Ю. А. АБРАМЯН

В работе проведено исследование p^+-p-p^+ -диодов (ВАХ, распределение потенциала по базе, генерация, шум) на основе кремния, компенсированного кадмием ($Zn \sim 10^{-2} \%$). Установлена физика наблюдаемых явлений.

Существующие теории отрицательного сопротивления (ОС) на вольт-амперной характеристике (ВАХ) диодов, база которых содержит примеси с глубокими уровнями [1, 2], обычно приводят к выводу, что напряжение срыва (V_{max}) падает с ростом температуры. Между тем у p^+-p-p^+ -диодов с базой, компенсированной кадмием, нами было обнаружено, что с ростом температуры V_{max} может расти или чуть уменьшаться, оставаясь иногда практически постоянным. (Рис. 1). Пос-

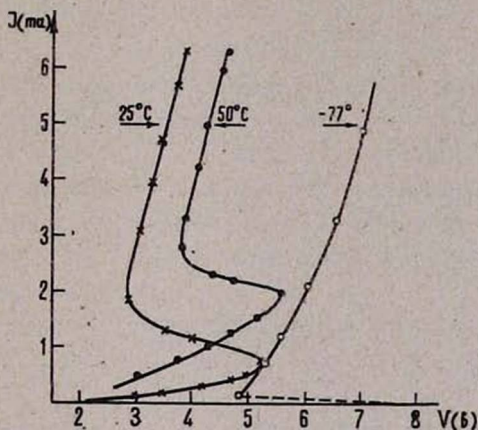


Рис. 1.

ле закона Ома на ВАХ до участка срыва следует закон $j \sim V^{3/2}$, сменяющийся зависимостью $j \sim V^{2.5 \pm 3}$. После срыва обычно осуществляется закон Ома с наклоном характеристики, близким к сопротивлению исходного кристалла, так что формирование шнуров практически, видимо, не происходит.

Не вызывает никаких сомнений, что для указанной зависимости V_{max} от температуры необходимо, чтобы раскомпенсация затруднялась с температурой. Это может иметь место, если глубокие уровни расположены достаточно близко к валентной зоне, тогда тепловое движение будет интенсивно забрасывать электроны из валентной зоны на эти уровни, стремясь сохранить их отрицательный заряд. Исследованием компенсированных кристаллов P -типа нами установлено наличие

одного акцепторного уровня с энергией 0,3 эв от потолка валентной зоны. Отношение сечения захвата дырок к сечению захвата электронов для данного уровня $\sigma_p/\sigma_n \geq 10$.

На ВАХ диодов до участка срыва наблюдаются колебания, носящие характер шума с максимальной амплитудой $\sim 500-600$ мВ. Осциллограмма шумового спектра показана на рис. 2. Крайние светлые линии на спектре — метки, соответственно 0—1,2 МГц. С ростом тока амплитуда шумовых колебаний растет вплоть до срыва ВАХ на ОС.

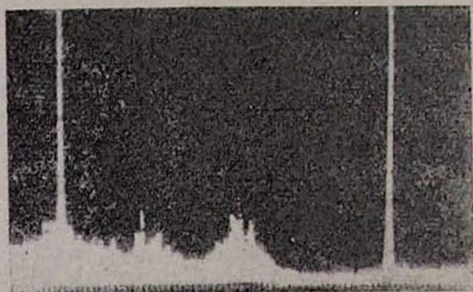


Рис. 2.

При переходе на участок ОС амплитуда шумов резко уменьшается. Освещение и рост температуры (от комнатной и выше) также уменьшают амплитуду шумовых колебаний.

Возможность эффектов, связанных с большими полями, проверялась посредством измерения распределения потенциала вдоль базы диодов. Установлено, что для основной массы диодов максимум поля $\leq 10^3$ в/см.

Анализ кинетики процессов показывает, что при малых токах время жизни дырок $\tau_p \simeq \frac{p^*}{n} \tau_n^0$ ($\tau_n^0 \leq 1/\nu \sigma_n N_0$, N_0 — полная концентрация акцепторов, p^* — концентрация дырок в валентной зоне, когда уровень Ферми совпадает с глубоким уровнем); в случае относительно больших токов $\tau_p \simeq \frac{p}{N_0} \tau_n^0$. Таким образом, τ_p с ростом тока вначале уменьшается, а затем растет. Появление отрицательного сопротивления следует приписать токовому увеличению времени жизни.

Что касается формы переходной характеристики тока до срыва, то наблюдаемая переходная характеристика может иметь место и в случае формирования объемного заряда, и в случае уменьшения подвижности с полем, и в случае уменьшения с током времени жизни. Судя по спектру шумов, имеющему непрерывный характер и простирающемуся от нуля до частот порядка одного мегагерца, и флуктуационному характеру амплитуды, нам представляется, что они являются проявлением генерационно-рекомбинационного шума, связанного с флуктуацией времени жизни.

Здесь как бы мы имеем дело с положительной обратной связью — флуктуации времени жизни ведут к флуктуации плотности тока, а последние в свою очередь, усиливают флуктуации времени жизни. Поскольку, все эти процессы имеют место в высокоомной области (τ_p уменьшается с ростом тока в высокоомной и значительной по протяженности части базы), то напряжение на диоде весьма чувствительно к такого рода флуктуациям.

Далее нами было обнаружено, что при подаче на диод постоянного смещения на участке ОС наблюдаются когерентные колебания с частотой порядка нескольких сот килогерц. Колебания носят релаксационный, синусоидальный или весьма сложный характер.

В узкой области токов, перед самым окончанием участка ОС поведение диодов при подаче на них, кроме постоянного смещения, переменного сигнала малой амплитуды, соответствует обычному параллельному контуру высокой добротности с резонансными частотами — 400–500 КГц. Для такого контура установлено, что индуктивность $L \sim 10^{-4}$ н, емкость $C \sim 10 \div 15$ пф, причем параметры контура, также как резонансная частота и частота генерационных колебаний, определяются как током смещения, так и наличием внешней емкости, включенной параллельно диоду.

Исходя из экспериментальных данных, нами построена теория формирования ОС в рассматриваемых диодах в трех приближениях: приближение квазинейтральности, объемного заряда и сильного поля. Анализ решений и сравнение с экспериментальными данными показали, что более полное соответствие как для статических ВАХ, так и для распределения поля, наблюдается в случае приближения квазинейтральности. Например, для случая квазинейтральности напряжение срыва определяется выражением

$$V_{cp} = \frac{d^2}{\mu_p \tau_n} \cdot \frac{[(b+1)\sqrt{4\gamma k p^* N_g} + b N_g]}{(3)^{2/3} N_g} \left[\frac{[(b+1)\sqrt{4\gamma k p^* N_g} + b N_g]}{p^* b^4 \delta_0} \right]^{1/3},$$

где N_g — концентрация мелких доноров, γ — величина $\sim 2 \div 3$,

$b = \mu_n / \mu_p$ — отношение подвижностей, $k = \frac{b}{b+1}$, $\delta_0 = \frac{N_0 - N_g}{N_g}$,

d — ширина базы диода.

Пороговое напряжение V_{min} во всех случаях растет с ростом температуры быстрее V_{max} ($V_{min} \sim \sqrt{p^*}$, $V_{max} \sim \sqrt[3]{p^*}$). Это полностью соответствует экспериментальным данным.

Институт радиофизики и электроники
АН АрмССР, Ереванский госуниверситет,
кафедра диэлектриков и полупроводников

Поступила 17.XII.1969

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. П. Сондаевский, В. И. Стафеев, ФТТ, 1, 80 (1964).
2. Г. М. Авакянц, Радиотехника и электроника, № 10, 1880 (1965).

ԿԱԴՄԻՈՒՄԻ ԽԱՌՆՈՒՐԴՆԵՐՈՎ ($Zn \sim 10^{-2} \%$) S-ՈՒՂՂԻՉՆԵՐԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Գ. Մ. ԱՎԱԳՅԱՆՑ, Յ. Ա. ԱՐՐԱՀԱՄՅԱՆ

Աշխատանքում հետազոտվում է կադմիումով լեգիրացված կրեմնիումի ուղղիչներ: Հաստատված է, որ բացասական դիմադրության առաջացումը կապված է ինժեկցիայի ժամանակ խոռոչների կլանքի տեղումից ածի հետ:

EXAMINATION OF S-DIODES WITH Cd
($Zn \sim 10^{-2} \%$) IMPURITY

G. M. AVAKIANTS, Y. A. ABRAMIAN

The $p^+ - p - n^+$ -diodes on the base of silicon compensated by ($Zn \sim 10^{-2} \%$) (current-voltage characteristics distribution of potential along the base, generation and noises) are examined.

The physics of the observed processes is revealed.