

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

Г. М. АВАКЬЯНЦ, Ю. А. АБРАМЯН

Проведено изучение избирательных и генерационных свойств кремниевых S-диодов, легированных кадмием ($Zn \sim 10^{-2} \%$). Рассмотрены переходные характеристики тока и времена переключения. Дано качественное объяснение наблюдаемых процессов.

В результате изучения кремния, легированного кадмием ($Zn \sim 10^{-2} \%$), нами было установлено, что данной примеси в кремнии соответствуют два уровня акцепторного типа — 0,31 эв от потолка валентной зоны, 0,5 эв от дна зоны проводимости. Указанные уровни и найденные сечения захвата для электронов и дырок ($\sigma_n^0 \sim 10^{-16} \text{ см}^2$, $\sigma_p^- \sim 5 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$) оказались характерными для цинка в кремнии. Активационный анализ легированных кристаллов показал, что имеющаяся концентрация цинка $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Примерно такая же концентрация мелких доноров имела в исходных кристаллах до компенсации.

Полученные результаты согласуются с [1], где говорится о полном отсутствии растворимости кадмия в твердой фазе кремния.

Статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) диодов, изготовленных из данного материала, описаны в [2].

Интересными оказались также свойства таких диодов с точки зрения работы их на малом переменном сигнале.

В этом отношении диоды при определенных токах смещения в области отрицательного сопротивления и в цепи малого переменного сигнала обладают избирательными и усилительными свойствами.

Другими словами, рассматриваемые диоды в цепи малого переменного сигнала ведут себя как элемент функциональной схемы, выполняющая роль твердотельной индуктивности, которая совместно с монтажной емкостью играет роль резонансного контура.

Для исследования резонансных свойств от генератора тока на диод подавалось постоянное смещение, задающее рабочую точку на отрицательном участке ВАХ.

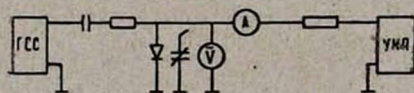


Рис. 1.

Резонансные характеристики определялись нами с помощью измерителя частотных характеристик ИЧХ-57, либо же переменным вольтметром ВЗ-3, используя при этом ГСС (рис. 1).

На рис. 2 показан обычный вид напряжения на диоде в зависимости от частоты (резонансная кривая).

Поскольку данная резонансная характеристика соответствует параллельному контуру с высокой добротностью, то, пользуясь выражением $f_p = 1/2\pi \sqrt{LC}$, можно определить емкость такого контура. Измерения показали, что емкость $C \sim 10-15$ пф соответствует в основном емкости монтажа.

В целом оказалось возможным представить полное сопротивление диода для малого переменного сигнала в виде

$$Z(J, \omega) = \rho(J, \omega) + i\omega L(J, \omega).$$

Отметим, что избирательные свойства диодов проявились в узкой области токов ($\Delta J \leq 0,8$ ма) на участке перехода ВАХ от отрица-

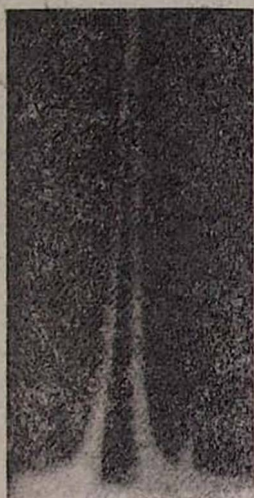


Рис. 2.

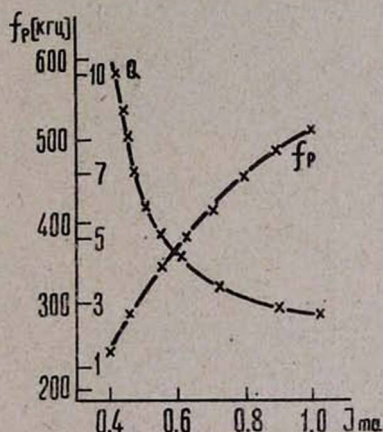


Рис. 3.

тельного сопротивления к положительному. В остальных же областях отрицательного сопротивления, кроме небольшой области за поворотной точкой после срыва, наблюдалась генерация.

Измерения показывают, что резонансная частота с ростом тока растет и стремится к некоторому насыщению, в то время как добротность с током уменьшается (рис. 3).

На рис. 4 представлены кривые зависимости резонансной частоты от тока при разных емкостях, включенных параллельно диоду. Обычно параллельная емкость уменьшает частоту резонанса, оставляя почти неизменным ход зависимости f_p от тока.

Зависимость резонансной частоты и добротности от C_n (внешняя емкость) при постоянном токе смещения представлена на рис. 5.

Рост добротности и падение f_p наблюдается вплоть до наступления генерации при росте внешней емкости.

Резонансная частота при одном и том же токе с ростом температуры для диодов с базой *n*-типа в основном может расти (рис. 6а), а добротность уменьшается. У диодов с базой *p*-типа наблюдается некоторое уменьшение резонансной частоты с ростом температуры, в то время как добротность возрастает (рис. 6б).

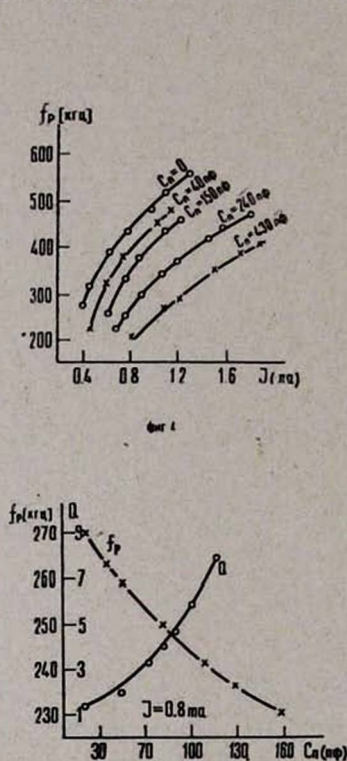


Рис. 5.

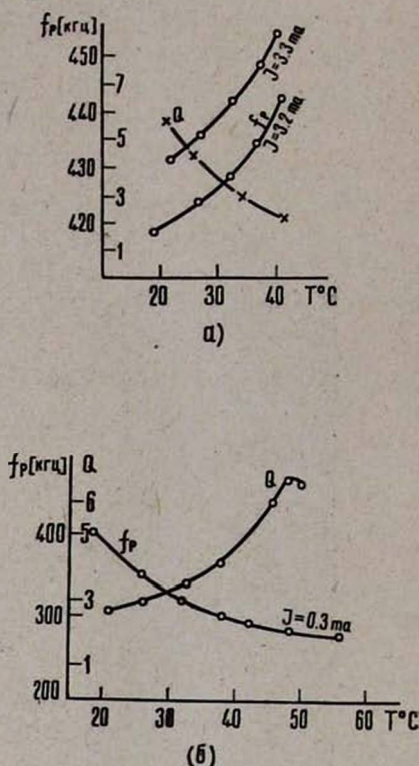


Рис. 6.

Наблюдаемые когерентные колебания носят либо релаксационный характер, либо синусоидальный с частотами порядка нескольких сотен килогерц. При добавлении к диоду параллельной емкости колебания, близкие к синусоидальным, становятся релаксационными (частота колебаний при этом уменьшается). Форма колебаний, частота и амплитуда определяются током смещения.

На рис. 7 показано колебание напряжения на диоде при отсутствии параллельной емкости; рис. 5б — $C_n = 300$ пф, рис. 5в — $C_n = 800$ пф.

С ростом тока амплитуда возрастает до определенного значения (достигая нескольких вольт), затем с током резко уменьшается.

Нагрев и освещение уменьшают частоту колебаний.

В целом можно сделать вывод, что резонансные и генерационные свойства находятся в сильной зависимости как от внешних так и от внутренних параметров диода.

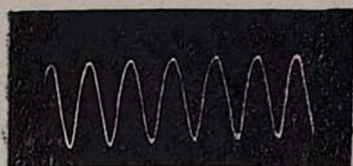
И естественно предположить, что изучаемые свойства определяются наличием на ВАХ участка с отрицательным сопротивлением.

Отрицательное сопротивление может компенсировать потери энергии в цепи диода — следовательно, в цепи с таким диодом могут возникнуть автоколебания.

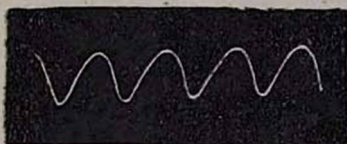
Частоты резонанса и когерентных колебаний очевидно тесно связаны с временами восстановления процессов в диодах (τ_n , τ_p и t пролетное).

Чем больше эти времена, тем инерционными будут процессы и тем меньше частоты.

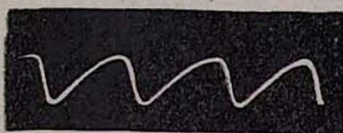
Нам представляется, что именно эти величины (τ_n , τ_p и t пролетное) определяют уменьшение или рост частоты при нагреве и ос-



(a)



(б)



(б)

Рис. 7.

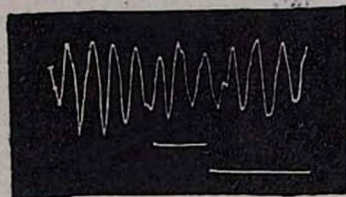


Рис. 8.

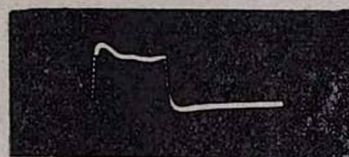


Рис. 9.

вещении, точнее, определяющим будет наибольшая из этих величин, приводящая к затягиванию процессов восстановления.

Задолго до появления срыва на ВАХ диодов наблюдается электрическая неустойчивость, носящая характер шума, амплитуда которых достигает до 1 вольта. Полоса колебаний — 300–400 Кгц.

На рис. 8 показана осциллограмма таких колебаний напряжений на диоде. Амплитуда контрольного прямоугольного импульса на осциллограмме — 0,5 вольта, длительность — 10 мксек. Объяснение физики процессов, приводящих к подобного рода колебаниям, дано в [2].

Что касается формы переходной характеристики тока изучаемых диодов (рис. 9) до срыва, то следует отметить, что такой характер переходной характеристики тока можно объяснить либо формированием объемного заряда, либо полевым уменьшением подвижности, ли-

бо же уменьшением времени жизни — точнее, любой фактор, способствующий временному ограничению тока может привести к подобного рода характеристикам.

В то же время в изучаемых диодах реализуемые времена жизни $\sim$ мксек, а максвелловское время релаксации зарядов $< 10^{-7}$ сек и вряд ли прохождение тока сопровождается формированием объемного заряда.

Максимальные же значения полей в диодах не достаточны для разогрева носителей.

Поэтому наблюдаемая переходная характеристика тока в нашем случае, надо ожидать, связана с уменьшением времени жизни до участка срыва.

Времена переключения диодов из высокоомного состояния в низкоомное при форсировке прямоугольного импульса на 10–15% от $V_{\max}$ составляют микросекунды.

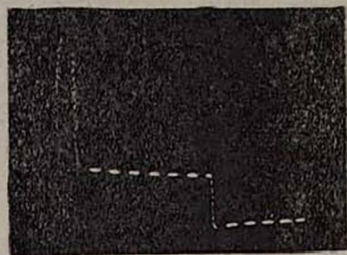


Рис. 10.

На осциллограмме рис. 10 показано напряжение на диоде в процессе переключения. Цена меток соответствует 1 мксек.

Институт радиопизики и электроники
АН Армянской ССР

Поступила 20.VI.1969

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Д. М. Чижиков, „Кадмий“. Изд. „Наука“, 1967 г., стр. 66.
2. Г. М. Авакьянц, Ю. А. Абрамян, Изв. АН АрмССР, Физика, 4, вып. 4, 1969.

ԿԱՂՄԻՈՒՄԻ ($Zn \sim 10^2 - \%$) ԽԱՌՆՈՒՐԴՈՎ ՍԻՆԹԵՏԻՄԱՅԻՆ S-ԴԻՈԴՆԵՐԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Գ. Մ. ԱՎԱԿՅԱՆԿ, Յ. Ա. ԱԲՐԱՄՅԱՆ

Ուսումնասիրված է կադմիումով ($Zn \sim 10^{-2} \%$) միախառնված կրեմնիումից դիոդների դեներացիոն և բնորոշական հատկությունների հետազոտությունները: Դիտարկված են հոսանքի անցումային բնութագրերը և փոխանցատման ժամանակները: Տրված է նկատվող պրոցեսների մոտավոր բացատրությունը:

INVESTIGATION OF SILICON S-DIODES WITH
CADMIUM IMPURITY ($Zn \sim 10^{-2} \%$)

G. M. ABAKIAN, J. A. ABRAMIAN

Selective and oscillation properties of silicon diodes doped with cadmium ($Zn \sim 10^{-2} \%$) are discussed.

The transitional current characteristics and switching time are examined.

The processes in question are qualitatively explained.