

УДК 621.315.592

ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР
ИЗ КРЕМНИЯ, КОМПЕНСИРОВАННОГО НИКЕЛЕМ

Ж. Г. ДОХОЛЯН

Ереванский политехнический институт

С. В. МИНАСЯН, С. Х. ХУДАВЕРДЯН

СКБ ИРФЭ АН АрмССР

(Поступила в редакцию 24 декабря 1984 г.)

Исследованы генерационные свойства p^+-i-n^+ -структур, изготовленных на основе Si, компенсированного Ni. Выявлен ряд особенностей, расширяющих представление о функциональных возможностях подобных структур. Дано объяснение механизма этих особенностей.

Известно, что $p-i-n$ -структура с инжектирующими контактами может иметь S-образную ВАХ в том случае, если имеет место резкая зависимость коэффициента инжекции от тока, а также если одновременно с увеличением инжекции носителей заряда и при их безрекомбинационном переносе через высокоомную базу осуществляется эффективная модуляция проводимости базы. Известно также, что в подобных структурах в некоторых случаях на участке отрицательного дифференциального сопротивления (ОС) может осуществляться генерация релаксационных колебаний [1—3]. p^+-i-n^+ -структуры, изготовленные на основе кремния, компенсированного никелем, представляют собой инжекционные S-диоды, главной особенностью которых является их малая инерционность при сохранении высокого внутреннего усиления [4].

В настоящей работе приводятся результаты исследования генерационных свойств p^+-i-n^+ -структур, в которых p^+ -область создавалась сплавлением алюминиевого столбика, а n^+ — термоотжигом обогащенной фосфором пленки никеля, полученной химическим осаждением. Для исследования структур применялась обычная схема измерения ВАХ. Интенсивные релаксационные колебания импульсной формы начинали наблюдаться сразу после напряжения срыва, когда нагрузочное сопротивление $R_n = R_{n, \min}$ составляло ~ 80 кОм, и исчезали при $R_n = R_{n, \max} \sim 600$ кОм. Возникновение колебаний можно связать с наличием в области ОС двух неустойчивых состояний, одно из которых соответствует низкой проводимости образца, а другое — высокой. В исследуемых образцах переход от низкой проводимости к высокой происходит менее инерционно (наблюдается резкий фронт импульсов), чем обратный переход. Эта картина аналогична картине, наблюдаемой для структур, изготовленных на основе Ge, легированного Au [5]. Отличие состоит в продолжительности обратного

перехода, которая в нашем случае зависела от величины протекающего через образцы тока. Последний определяет время неустойчивого состояния и, следовательно, длительность генерационных импульсов (τ_n). Эксперименты показали, что при малых R_n начальный ток ($I_{\min}$), при котором возникают колебания, больше, а конечный ток ($I_{\max}$) меньше по сравнению со случаем больших R_n . Соответственно увеличение нагрузочного сопротивления от $R_{n, \min}$ до $R_{n, \max}$ приводит к увеличению частоты генерации за счет уменьшения длительности и времени спада генерационных импульсов (рис. 1, кривые 1—3). В то же время при одних и тех же значениях

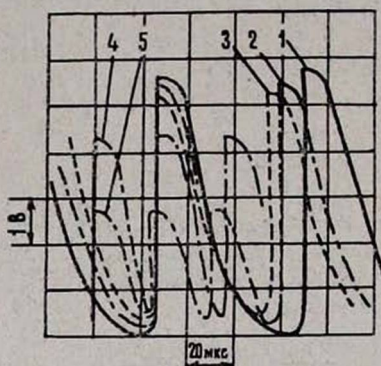


Рис. 1.

Рис. 1. Изменение периода и амплитуды колебаний в зависимости от сопротивления нагрузки R_n и от тока смещения: 1—100 кОм; 2, 4, 5—332 кОм; 3—530 кОм; кривые 1, 2, 3—при $I = I_{\min}$, кр. 4 и 5—при $I = I_{\max}$; кр. 1, 2, 3 и 4—в темноте, кр. 5—при освещении.

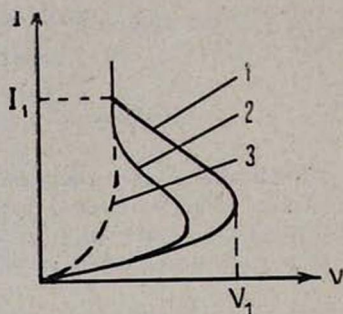


Рис. 2.

Рис. 2. ВАХ p^+-i-n^+ -структур в темноте (сплошная линия) и при высоком уровне освещения (пунктирная линия).

R_n увеличение тока смещения также приводит к повышению частоты колебаний, но, в основном, за счет уменьшения времени спада, так как τ_n остается неизменным или увеличивается незначительно (рис. 1, кр. 2, 4). Следует отметить, что во всех случаях увеличение частоты колебаний сопровождается уменьшением их амплитуды. Подобная картина наблюдалась нами также при изучении генерационных свойств p^+-i-n^+ -структур под влиянием освещения. При освещении импульсами света с длительностью импульса, равной периоду генерационных колебаний, при минимальном напряжении возникновения генерации появляется один генерационный импульс, частота которого с увеличением тока смещения удваивается, а впоследствии умножается. Этот процесс сопровождается уменьшением амплитуды колебаний.

На рис. 2 сплошной линией показана типичная ВАХ образцов, состоящая из двух различных участков, свидетельствующих о том, что при повышении напряжения смещения в области ОС происходят два различных процесса, один из которых развивается по кривой 1, а другой — по кривой 2. Как показывают эксперименты, процесс по кривой 2 предшествует процессу по кривой 1. При освещении постоянным светом из области собственного поглощения наблюдается уменьшение V_1 и сближение кривых 1

и 2. При этом происходит увеличение частоты колебаний и уменьшение их амплитуды (рис. 1, кр. 5). В момент совпадения кривых 1 и 2 генерация исчезает, а дальнейшее увеличение мощности освещения переводит p^+-i-n^+ -структуру из режима ОС в режим работы обычного диода (рис. 2, кр. 3). Увеличение частоты колебаний, вызванное увеличением R_n , также приводит к сближению кривых 1 и 2 и исчезновению генерации, а при $R_n \geq 600$ кОм наблюдается не только совпадение кривых 1 и 2, но и исчезновение участка ОС.

Предположительный механизм, объясняющий подобные генерационные явления, рассмотрен в работе [5]. Некоторые особенности наблюдаемой нами генерации можно объяснить в рамках этого механизма. Придерживаясь этого механизма, кривую 1 можно приписать процессу лавинообразного увеличения проводимости базы (инжекционное усиление, обусловленное положительной обратной связью), а кривую 2 — процессу лавинообразного захвата носителей на примесные центры. Как показывают эксперименты, падение напряжения V_D на p^+-i-n^+ -структуре при максимальных напряжениях смещения, когда еще имеет место устойчивая генерация, тем больше, чем меньше R_n . В этих условиях лавинообразный процесс захвата носителей на примесные центры начинает преобладать над лавинообразным увеличением проводимости базы значительно позже, чем в случае больших R_n . Это, по-видимому, связано с тем, что с увеличением V_D увеличивается время, в течение которого имеет место равновесие между генерационным переносом носителей заряда через базу и их захватом. Это время, вероятно, и обуславливает длительность импульса.

Амплитуда колебаний непосредственно зависит от величины тока и уменьшается с его уменьшением при увеличении R_n или увеличении тока смещения, если $R_n = \text{const}$. Частота колебаний зависит от скорости лавинообразного увеличения сопротивления базы структуры. Эксперименты показывают, что в конце этого процесса и в начале усиленной инжекции V_D тем больше, чем выше значение R_n . Вследствие этого ускоряется лавинообразная инжекция и в результате этого уменьшаются время спада и частота импульса. При этом могут создаться условия, при которых усиленная инжекция начинается раньше, чем успеет прекратиться процесс увеличения сопротивления базы. Это приводит к дополнительному уменьшению амплитудных колебаний.

Результаты проведенных исследований генерационных свойств p^+-i-n^+ -структур указывают на возможность использования последних в качестве низкоомных генераторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авагян А. Х., Горбатый И. М. ФТП, 17, 2009 (1983).
2. Викулин И. М., Стафеев В. И. Физика полупроводниковых приборов. М., 1980.
3. Арутюнян В. М. Генерационно-рекомбинационные эффекты и двойная инжекция в полупроводниках. Ереван, 1977.
4. Минасян С. В. Автореферат кандидатской диссертации, Ереван, 1975.
5. Сондаевский В. П. и др. В кн. «Физика p - n -переходов», Рига, 1966, с.340.

Ժ. Գ. ԴՈԽՈԼՅԱՆ, Ս. Վ. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Ս. Խ. ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ

Ուսումնասիրված են նիկելով կոմպենսացված սիլիցիումի $p^{++}-i-n^{+}$ -կառուցվածքների գե-
ներացիոն հատկությունները: Պարզաբանված են մի շարք առանձնահատկություններ, որոնք
ընդլայնում են պատկերացումները նման կառուցվածքների հնարավորությունների վերաբեր-
յալ: Տրված է այդ առանձնահատկությունների մեխանիզմի բացատրությունը:

THE GENERATION PROPERTIES OF NICKEL COMPENSATED SILICON STRUCTURES

Zh. G. DOKHOLYAN, S. V. MINASYAN, S. Kh. KHUDAVERDYAN

The generation properties of $p^{++}-i-n^{+}$ -nickel compensated silicon structures were
studied. A number of features giving wide information on the functional potential of
such structures was specified and an explanation of the mechanism of these features
was suggested.