

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИОДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ КАК МИКРОИНДУКТИВНОСТЕЙ С БОЛЬШОЙ ВЕЛИЧИНОЙ L

С. А. АЛТУНЯН

Исследованы эффекты отрицательной емкости в диодных пленочных структурах на основе аморфных полупроводников состава $Si_{12}-Ge_{10}-As_{30}-Te_{48}$, относящиеся к «индуктивным эффектам в диодах». В зависимости от параметров прибора вблизи $U_{пор}$ пленочные диоды обладают индуктивностью $1 \div 10$ нГн.

В течение многих лет ведутся поиски малогабаритных индуктивностей в качестве элемента схем генераторов, усилителей, фильтров, особенно на низких частотах, где средних значений добротности трудно достичь. Поиски в еще большей степени стимулируются развитием микроэлектроники, так как значение L в тонкопленочном варианте не превышает 1 мкГн.

Исследуемые нами диодные пленочные структуры на основе аморфных полупроводников состава $Si_{12}-Ge_{10}-As_{30}-Te_{48}$, имеющие S -образную вольт-амперную характеристику, обладают эффектом отрицательной емкости [1] (рис. 1). В работах [2, 3] по исследованию свойств полупроводниковых кремниевых диодов с S -образной ВАХ также сообщалось об отрицательной емкости этих приборов вблизи порогового напряжения.

Измерение активной и реактивной составляющих комплексного импеданса аморфных структур с S -образной вольт-амперной характеристикой является необходимым при исследовании физических процессов в аморфных структурах. Для анализа указанных величин была применена система фазового детектирования, характеризующаяся высокой чувствительностью по параметру «сигнал/шум». Система была приспособлена не только для измерений дифференциальной проводимости dI/dV и дифференциальной емкости dQ/dV , но и дифференциальной индуктивности и дифференциального сопротивления. Система позволяла проводить измерения в диапазоне частот $70 \text{ кГц} \div 100 \text{ кГц}$. В системе использовалась запись $C - V$ -характеристик на двухкоординатном самописце ПДС-021М.

Измерения проводились как в схеме генератора тока при условии, что i — ток через образец — сохраняется, а Z — комплексное сопротивление образца, так и в схеме генератора напряжения (метод делителя) — $i = U\sigma$, где сохраняется U — напряжение на образце, а σ — комплексная проводимость. В случае измерения в режиме генератора напряжения внутреннее сопротивление генератора напряжения (R_i) должно быть много меньше комплексного сопротивления образца Z , а при измерении в режиме генератора тока напряжение измеряется на самом образце, и при этом внутреннее сопротивление генератора тока R_i должно быть во много раз больше комплексного сопротивления образца Z . При исследовании $C - V$ -характеристик аморфных структур схему генератора тока выгодно применять при

малых значениях z (вблизи $U_{\text{пор}}$ и на участке ОС), так как R , должно быть на один-два порядка, а входное сопротивление усилителя, шунтирующего образец, на порядок больше импеданса z .

При измерениях мы преследовали следующие цели: 1) выявление частотной зависимости отрицательной емкости и активной составляющей; 2) выявление характера реактивной составляющей. Для реализации этих целей на высокоомном участке вольт-амперной характеристики (до срыва) нами был применен метод делителя (генератор напряжения). Методика и схемы измерений C — V -характеристик с исходными данными измерительной аппаратуры подробно описаны в [4]. Необходимо оговориться, что цикл измерений должен быть проведен при отсутствии переключений диода, так как в противном случае результирующие зависимости могут быть смещены друг относительно друга по оси напряжений.

Обнаружено наличие значительных реактивных и активных составляющих. При нулевом смещении все образцы имели положительную емкость в пределах единиц пикофарад; при увеличении напряжения смещения емкость начинала уменьшаться, становясь равной нулю и переходя при дальнейшем увеличении смещения в отрицательную емкость. При исследовании аморфных структур вблизи $U_{\text{пор}}$ наблюдался значительный рост величины отрицательной емкости.

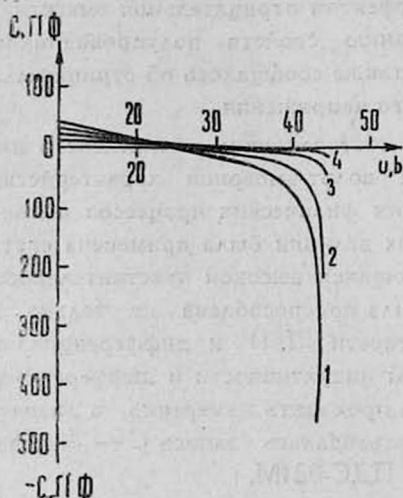


Рис. 1.

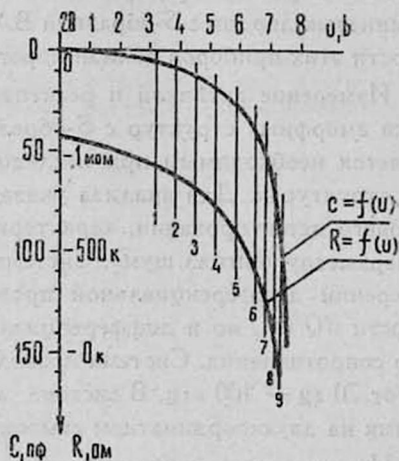


Рис. 2.

Рис. 1. Зависимость емкости от напряжения при разных частотах для диодной пленочной структуры на основе халькогенидного стекла системы $Si_{12}-Ge_{10}-As_{20}-Te_{48}$ ($t=20^\circ\text{C}$): кривая 1 соответствует частоте сигнала 0,5 кГц, кривая 2 соответствует частоте сигнала 1,0 кГц, кривая 3 соответствует частоте сигнала 3,0 кГц, кривая 4 соответствует частоте сигнала 5,0 кГц. Рис. 2. Зависимость емкости и сопротивления от напряжения смещения для пленочно-торцевой структуры на основе стекла $Si_{12}-Ge_{10}-As_{20}-Te_{48}$: частота измерительного сигнала — 1 кГц, $t=20^\circ\text{C}$; точки 1—9 являются значениями $C(V)$ и $R(V)$ для пересчета отрицательной емкости в индуктивность (см. таблицу).

Кроме отрицательной емкости в комплексном сигнале измерялась активная составляющая R (рис. 2). Из рисунка видно, что R меняется от 1 МОм до 300 кОм при изменении емкости от 0 до 140 пф. Шкала ординат является линейной по проводимости, но не по сопротивлению.

Наблюдалась сильная зависимость величины отрицательной емкости от частоты подаваемого сигнала (рис. 1). С ростом частоты имело место увеличение значения R и уменьшение значения отрицательной емкости ($-C$). При небольших частотах (менее 10 Гц) емкость в значительной степени зависит от частоты сигнала, особенно в области напряжений, близких к $U_{\text{пор}}$ (рис. 1).

Поскольку при измерении емкости измерительный информационный реактивный сигнал был пропорционален току через образец и с ростом частоты падал, мы сделали предварительное заключение о том, что отрицательная емкость ведет себя как индуктивность. Проверка результатов с помощью мостовых измерений дала те же значения отрицательной емкости, причем ($-C$), измеряемая мостом Е2-6, трактуется как индуктивность, оцениваемая по формуле $L = (\omega^2 C)^{-1}$.

Рассмотрим с этих позиций, как меняется индуктивность в зависимости от напряжения. Отдельно с помощью мостовых измерений было проанализировано изменение реактивной составляющей в диапазоне напряжений до участка, где наблюдается резкий рост емкости. Все образцы при нулевом смещении тоже имели положительную емкость в пределах единицы пф.

Представленные на рис. 2 функциональные зависимости $R=f(V)$ и $C=f(V)$ были получены с учетом эквивалентной схемы образца в виде R — C -цепочки. Предполагая, что прибор представляет собой последовательную R — L -цепочку, включенную в схему генератора напряжений, мы пересчитали результаты для эквивалентной параллельной цепочки по формулам

$$R_{\text{пс}} = \frac{R_{\text{пр}}}{1 + R_{\text{пр}}^2 \omega^2 C_{\text{пр}}^2}, \quad L_{\text{пс}} = \frac{R_{\text{пр}}^2 C_{\text{пр}}}{1 + R_{\text{пр}}^2 \omega^2 C_{\text{пр}}^2}.$$

При емкостном сопротивлении $R_{\text{пр}}^2 \omega^2 C_{\text{пр}}^2 \ll 1$ и

$$R_{\text{пс}} = R_{\text{пр}}, \quad L_{\text{пс}} = R_{\text{пр}}^2 C_{\text{пр}}.$$

В таблице приведены результаты пересчета значений R и L для диода на основе халькогенидного стекла состава $\text{Si}_{12}\text{-Ge}_{10}\text{-As}_{30}\text{-Te}_{48}$.

Предположив последовательный механизм R — L -цепочки, нами экспериментально были проверены теоретические выводы включением исследуемого диода в схему генератора тока. При измерении комплексной проводимости образца в режиме генератора тока получены данные для эквивалентной схемы в виде последовательной R — L -цепочки.

Зависимости $L=f(V)$ и $R=f(V)$ при 20°C и частоте измерительного сигнала в 1 кГц представлены на рис. 3. При $U_{\text{смещ}} \approx 15$ В индуктивность $L=1$ нГн. С увеличением напряжения наблюдается плавное возрастание индуктивности до значения порядка 5 нГн. Далее при некотором напряжении

Таблица

Точки пересчета (см. рис. 2)	1	2	3	4	5	6	7
$L_{ис} = R_{пр}^2 C$ (нГ)	2,8	3,8	4,6	4,7	5,0	5,2	5,6

смещения (вероятно, соответствующем $U_{пор}$ на статических ВАХ измеряемых структур) наблюдается резкое падение индуктивности до величины 1 нГ. В этом интервале напряжений происходит переключение прибора в проводящее состояние. Активная составляющая проводимости в диапазоне напряжений, меньших $U_{пор}$, плавно меняется от значения 300 кОм до 150 кОм и вблизи $U_{пор}$ падает, приближаясь к нулевому значению.

Возможность подачи смещения на диод в режиме генератора тока указывает на то, что эквивалентная схема диода является последовательной

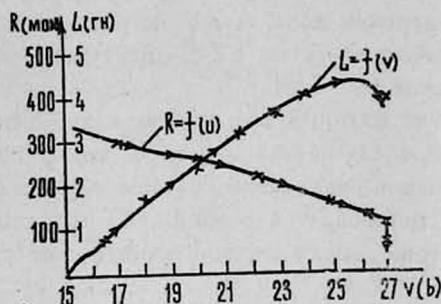


Рис. 3. Зависимость индуктивности и активной составляющей от напряжения смещения на пленочной диодной структуре на основе стекла системы $Si_{12}-Ge_{10}-As_{30}-Te_{48}$ ($t=250^\circ\text{C}$, $f=0,5$ кГц).

$R-L$, а не $R-C$ -цепочкой. Это есть еще одно доказательство того, что анализируемая нами реактивность является индуктивностью.

Итак, в пользу индуктивности говорят следующие факты.

1. Знак фазового сдвига, отмеченного детектором.
2. Совпадение расчетных данных с экспериментальными.
3. Возможность изменения параметров эквивалентной последовательной $R-L$ -цепочки с помощью подачи на него медленно меняющегося смещения.

4. При включенном последовательно с индуктивностью сопротивлении в несколько десятков кОм в приборе реализуется индуктивная цепочка с отрицательным омическим сопротивлением. Такая цепочка должна обладать свойством самовозбуждения, что и наблюдалось нами на вольт-амперных характеристиках исследуемых диодных структур.

Таким образом, исследуемые эффекты отрицательной емкости в диодных структурах на основе аморфных полупроводников относятся к «индуктивным эффектам в диодах». Правильность наших выводов подтверждается результатами аналогичных исследований в работе [5].

Характерной особенностью исследуемой индуктивности является возможность использования ее в звуковом диапазоне частот, а также управле-

ния величиной L при помощи напряжения смещения. Известно, что существующие индуктивности (доли и единицы μH) не могут быть использованы в резонансных системах из-за паразитной емкости (емкость монтажа и т. д.). В нашем случае при размерах прибора $\sim 0,04 \text{ мм}^2$ этот недостаток исключается.

Поступила 22.I.1977

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Алтунян, В. С. Минаев, В. И. Стафеев. ФТП, 5, 490 (1971).
2. Г. М. Авакьянц. Радиотехника и электроника, 10, 1880 (1965).
3. Р. Ф. Казаринов, В. И. Стафеев, Р. А. Суриц. ФТП, 1, 1301 (1967).
4. С. А. Алтунян. Кандидатская диссертация, ЕГУ, Ереван, 1971.
5. I. Allison, V. Dawe, P. Robson. J. of Non-Crystalline Solids, 8-10, 563 (1972).

ԱՄՈՐՖ ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻԶՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՍՏԵՂԾՎԱԾ
ԴԻՈԴԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԸ ՈՐՊԵՍ ՄԵՍ ԱՐԺԵՔԻ
L ՄԻԿՐՈՒՆԴՈՒԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆ ՕԳՏԱԳՈՐԾԵԼՈՒ
ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ս. Ա. ԱԼԹՈՒՆՅԱՆ

Si-Ge-As-Te համակարգի ամորֆ կիսահաղորդիչների հիման վրա պատրաստված դիոդային թաղանթային կառուցվածքներում ուսումնասիրված են դիոդներում ինդուկտիվ էֆեկտները: Սահմանային V լարման մոտակայքում սարքի պարամետրերից կախված թաղանթային դիոդների ինդուկտիվությունները կազմում են $1-10 \text{ Հ}$:

ON THE POSSIBILITY OF USING THE DIODE STRUCTURES BASED ON AMORPHOUS SEMICONDUCTORS AS MICROINDUCTANCES WITH LARGE L MAGNITUDES

S. A. ALTUNYAN

The negative capacity effects in diode film structures based on $\text{Si}_{12}\text{-Ge}_{10}\text{-As}_{30}\text{-Te}_{48}$ system amorphous semiconductors are investigated. Depending on device parameters in the threshold region, inductances of film diodes are as great as $1-10 \text{ H}$.