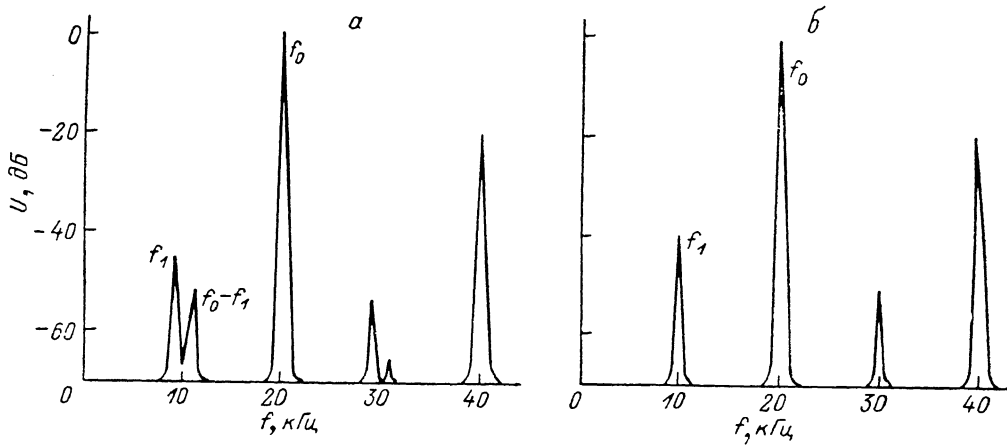


УСИЛЕНИЕ МАЛОГО СИГНАЛА В ВОЗБУЖДЕННОМ n -Ge(Ni) В УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УМНОЖЕНИЯ ПЕРИОДА

Бумялене С.

Нелинейные динамические системы в условиях, близких к возникновению неустойчивостей, чувствительны к воздействию слабого переменного сигнала. Отклик системы при этом зависит от частоты сигнала. Если частота периодического возмущения близка к собственной частоте системы, то при докритических значениях постоянного смещения возникают последовательность бифуркаций удвоения периода и хаотические колебания [1, 2]. В другом случае, когда частота переменного сигнала близка, например, к появляющейся путем бифуркации частоте субгармоники, теоретически предсказывается усиление этого сигнала [3, 4]. Основные особенности спектра в условиях, близких к кри-



Спектры колебаний в докритических условиях появления бифуркации удвоения периода в n -Ge(Ni) под воздействием переменного напряжения $U_0 \sin 2\pi f_0 t$ при модуляции сигналом $U_1 \sin 2\pi f_1 t$.

$U_0 = 16$ В, $U_1 = 0.1$ В, $R_{обр} = 20$ кОм, $R_n = 1$ кОм. а — $f_1 < f_0/2$, б — $f_1 = f_0/2$.

тическим, определяются типом последовательности бифуркаций независимо от физических деталей динамической системы [4]. Хотя известны многие полупроводниковые системы, характеризующиеся бифуркационными свойствами, эффект усиления в них пока не наблюдался. Поэтому целью настоящей работы является изучение усиления малого периодического сигнала в n -Ge(Ni), в котором имеет место переход к хаотическим колебаниям путем бифуркаций удвоения периода [5].

Исследовался высокоомный n -Ge(Ni) с соотношением концентраций примесей $2N_{Ni} > N_{Sb} > N_{Ni} \approx 10^{15}$ см⁻³ и плотностью дислокаций $5 \cdot 10^8$ см⁻². Эксперимент проводился в условиях, аналогичных приведенным в [5]. Образцы размерами $1 \times 1 \times 1$ мм погружались в жидкий азот и освещались белым светом, создающим среднюю концентрацию свободных электронов $10^{11} \div 10^{13}$ см⁻³. В цепь, состоящую из последовательно соединенных образца $R_{обр}$ и нагрузочного сопротивления R_n , подавалось переменное напряжение $U_0 \sin 2\pi f_0 t$. При увеличении амплитуды U_0 или частоты f_0 возникает каскад умножения периода и переход к хаотическим колебаниям [5]. Амплитуда U_0 выбиралась чуть ниже критической U_0^* , при которой возникает бифуркация умножения периода. Для наблюдения эффекта усиления в цепь дополнительно подключалось от независимого источника переменное напряжение $U_1 \sin 2\pi f_1 t$. Сигнал U снимался с образца и регистрировался при помощи анализатора спектра.

Измеренный спектр сигнала вблизи наступления бифуркации удвоения периода ($U_0 \leq U^*$) в условиях слабой периодической модуляции с частотой, близкой к $f_0/2$, показан на рисунке, а. Кроме линий, соответствующих частотам f_0 и f_1 , и высших гармоник nf_0 , наблюдаются комбинационные частоты $nf_0 \pm f_1$, где $n=1, 2, \dots$, появление которых в докритических условиях согласуется с теорией [4]. На рисунке, б показан спектр колебаний, когда частота модуляции совпадает с $f_1=f_0/2$. Видно, что интенсивность линии $f_1=f_0/2$ на 5 дБ больше, чем в случае $f_1 \neq f_0/2$ (см. рисунок, а). Увеличение амплитуды колебаний на частоте $f_1 \approx f_0/2$ связано с проявлением эффекта усиления малого периодического сигнала. Так как $R_{\text{оп}} \gg R_{\text{н}}$ (в условиях эксперимента $R_{\text{оп}}=20$ кОм, а $R_{\text{н}}=1$ кОм), то основная часть напряжения падает на образец: $U=0.95 U_1$. Однако на частоте $f_1=f_0/2$ $U=1.7 U_1$ (см. рисунок), т. е. коэффициент усиления $k=U/U_1 > 1$.

Следует отметить, что возрастают не только линии $f_1 \approx f_0/2$, но и $nf_0 + f_1$, в то время как области спектра вблизи частот nf_0 остаются неизменными. Аналогичный эффект усиления возникает также, если частота модуляции близка к частоте высших субгармоник $f_1 \approx (3/2)f_0, (5/2)f_0, \dots$, однако в этом случае он выражен слабее. Поэтому далее представлены результаты исследования на частоте $f_1 \approx f_0/2$.

Диапазон частот f_1 , в котором возможно усиление модулирующего сигнала, составляет несколько процентов от f_0 . Наибольшая интенсивность спектральной линии наблюдается в центре этого диапазона, на частоте $f_1=f_0/2$. (Диапазон f_0 определяется условиями появления бифуркации умножения периода, в $n\text{-Ge}(\text{Ni})$ $f_0=10 \div 30$ кГц [5]). Ограничивается и амплитуда U_1 : эффект усиления наблюдается, пока U_1 достаточно мала (более чем на 40 дБ меньше U_0); при этом интенсивность колебаний на частоте, близкой к частоте бифуркации, пропорциональна U_1 .

Величина усиления зависит от амплитуды U_0 : возрастает при приближении к критическому значению U_0^* . Согласно теории [4], при $U_0 - U_0^* \rightarrow 0$ сигнал растет неограниченно. В конкретном случае, когда $U_0^*=22$ В, при $U_0=21.6$ В сигнал увеличивается на 2 дБ, а при $U_0=21.8$ В — на 5 дБ. Максимальная величина усиления малого периодического сигнала в $n\text{-Ge}(\text{Ni})$ достигала 10 дБ. Кроме того, экспериментально установлено, что изучаемый эффект определяется и сценарием переходов к хаосу. В $n\text{-Ge}(\text{Ni})$ наибольшее усиление наблюдается, когда с ростом U_0 возникает каскад удвоения периода $f_0 \rightarrow f_0/2 \rightarrow f_0/4 \rightarrow \dots \rightarrow$ хаос, а в случае, например, $f_0 \rightarrow f_0/2 \rightarrow f_0/3 \dots$ усиление отсутствует. Здесь следует отметить, что последовательность бифуркационных явлений в $n\text{-Ge}(\text{Ni})$ при изменении амплитуды U_0 можно менять при помощи выбора ряда управляющих параметров — частоты f_0 , интенсивности освещения, температуры.

Таким образом, данная работа может служить экспериментальным подтверждением предсказанного в работах [3, 4] эффекта усиления малого периодического сигнала. В возбужденном $n\text{-Ge}(\text{Ni})$ усиление переменного возмущения, согласно теории, наблюдается в докритических условиях появления бифуркации удвоения периода на частоте, близкой к частоте субгармоники; при приближении системы к критической точке бифуркации возрастает величина усиления.

Л и т е р а т у р а

- [1] Teitworth S. W., Westervelt R. M. — Phys. Rev. Lett., 1986, v. 56, N 5, p. 516—519.
- [2] Bumeliene S. B., Pozhela Yu. K., Pyragas K. A., Tamaševičius A. V. — In: Abstr. 18 Int. Conf. Phys. Semicond. Stockholm, 1986, p. 229.
- [3] Wiesenfeld K., McNamara B. — Phys. Rev. Lett., 1985, v. 55, N 1, p. 13—16.
- [4] Wiesenfeld K., McNamara B. — Phys. Rev., 1986, v. 33A, N 1, p. 629—642.
- [5] Bumeliene S., Pozhela J., Tamaševičius A. — Phys. St. Sol. (b), 1986, v. 134, N 1, p. K71—K74.