

Корреляция между параметрами материала и условиями возбуждения рекомбинационных волн в Si(S)

© М.К. Бахадырханов, У.Х. Курбанова, Н.Ф. Зикриллаев

Ташкентский государственный технический университет,
700095 Ташкент, Узбекистан

(Получена 1 апреля 1998 г. Принята к печати 25 мая 1998 г.)

Исследованы условия возбуждения автоколебаний тока типа рекомбинационных волн в кремнии, легированном серой, в зависимости от электрофизических параметров образцов Si(S). Полученные данные позволили обнаружить регулярные и воспроизводимые автоколебания с управляемыми параметрами. Установлена четкая корреляция между удельными сопротивлениями и типом проводимости образцов Si(S), найдены параметры возбуждения рекомбинационных волн: электрическое поле и температура возбуждения.

Автоколебательные процессы исследовались многими авторами в различных полупроводниковых материалах [1–5]. Анализ данных, приведенных в этих работах, показывает, что, хотя и был получен ряд интересных результатов, использование функциональных возможностей этого интересного явления в электронике практически отсутствует. Это связано со следующими факторами.

1. Полученные результаты трудно воспроизводимы и отсутствует четкая корреляция между параметрами материала, условиями возбуждения и параметрами автоколебаний тока.

2. Автоколебания в этих материалах наблюдаются при достаточно высоких электрических полях, в узком интервале температур и при освещении светом с определенной длиной волны.

3. Амплитуда автоколебаний тока и коэффициент глубины модуляции автоколебаний невелики ($I = 1 \div 10$, $K = 0.1 \div 30\%$).

В связи с этим основной целью данной работы является: установить закономерности изменения условий возбуждения автоколебаний тока от параметров компенсированного кремния, чтобы получить стабильные и воспроизводимые колебания с заданными и управляемыми параметрами.

В качестве объекта исследования нами был выбран монокристаллический кремний, компенсированный атомами серы. Такой выбор обусловлен наличием разработанной и воспроизводимой технологии получения таких материалов [6,7]. Для исследований был использован монокристаллический кремний p -типа марок КДБ-1 и КДБ-10 с ориентациями (111) и (110), содержание кислорода в них составляло $(5-6) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Диффузия S в Si приводилась по разработанной технологии [8]. Режимы диффузии выбраны таким образом, чтобы получить равномерно легированные образцы Si(S) с различными удельными сопротивлениями $\rho = 10^2 \div 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ при $T = 300 \text{ К}$ как p -типа, так и n -типа проводимости. Автоколебания тока исследовались в криостате, позволяющем изменять в широких интервалах температуру, электрическое и магнитное поля, освещенность и давление [9–12].

Автоколебания тока регистрировались осциллографом С1-48Б и анализатором спектра СКИ-56, что давало возможность точно определять параметры (амплитуду, частоту) и форму автоколебаний тока.

Результаты исследования показали, что автоколебания тока типа рекомбинационных волн (РВ) наблюдаются при приложении к образцу напряженности электрического поля, превышающей некоторое пороговое значение $E > E_{\text{thr}}$. Установлено, что при одинаковых условиях (температура, освещенность) значение E_{thr} в основном определяется удельным сопротивлением материала. Поэтому нами были исследованы автоколебания тока в образцах Si(S) в зависимости от величины ρ . Следует отметить, что было изготовлено от 3 до 5 образцов для каждого значения удельного сопротивления, чтобы получить достоверные и воспроизводимые результаты и

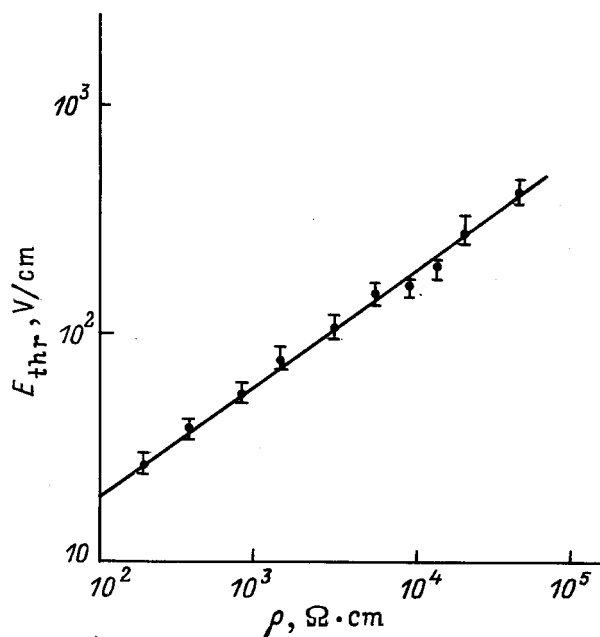


Рис. 1. Зависимость порогового поля E_{thr} для возбуждения автоколебаний тока типа рекомбинационных волн от удельного сопротивления в образцах Si(S).

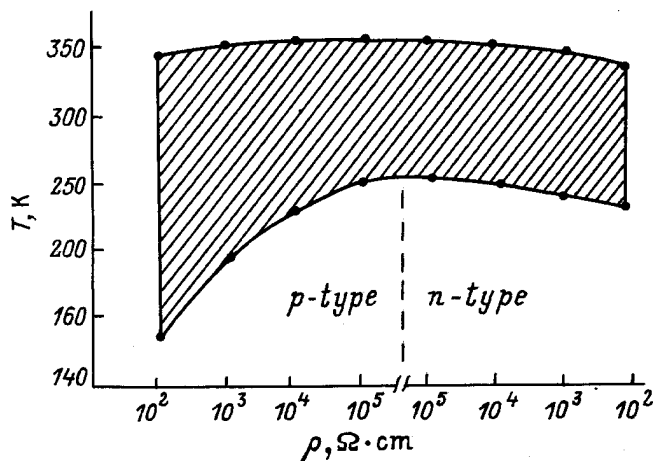


Рис. 2. Температурная область существования автоколебания тока в зависимости от удельного сопротивления для Si(S) *p*- и *n*-типа проводимости.

установить корреляцию между E_{thr} и ρ . Полученные данные показали, что автоколебания тока типа РВ в Si(S) *p*-типа наблюдаются в достаточно широком интервале значений $\rho = 10^2 \div 10^5$ Ом · см, а для *n*-типа — в интервале $\rho = 10^2 \div 10^4$ Ом · см. Как видно из рис. 1, значение пороговой напряженности электрического поля РВ линейно увеличивается с ростом удельного сопротивления и эту зависимость можно описать выражением

$$E_{thr} = E_0(1 + \alpha\rho),$$

где $E_0 = 30$ В/см — пороговая напряженность электрического поля для образца с $\rho = 3 \cdot 10^2$ Ом · см; коэффициент α составляет $\alpha = 3.19$ (Ом · см) $^{-1}$.

Следует отметить, что в отличие от РВ, исследованных в образцах Si(Mn) и Si(Zn), автоколебания тока наблюдаются в достаточно широком интервале удельного сопротивления образцов Si(S) и значение E_{thr} для них относительно низко. Амплитуда и форма автоколебаний достаточно стабильные и коэффициент модуляции в этом случае достигает 40%.

Температурные области существования автоколебаний тока в зависимости от удельного сопротивления и типа проводимости образцов Si(S) представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, для компенсированных образцов *p*-типа Si(S) верхняя граница температуры существования автоколебаний тока практически не зависит от ρ и достигает $T = 350$ К, а нижняя граница с ростом удельного сопротивления от $3 \cdot 10^2$ до 10^5 Ом · см увеличивается от 160 до 250 К. В перекомпенсированных образцах *n*-Si(S) с ростом ρ как верхняя, так и нижняя граница слабо уменьшаются и граничная область существования автоколебаний тока находится в интервале температур $230 \div 330$ К. При этом следует отметить, что в указанном интервале температур, независимо от удельного сопротивления и типа проводимости, наблюдаются четко воспроизводимые автоколебания тока. Зависимо-

сти параметров (амплитуда и частота) от температуры, электрического поля и удельного сопротивления образца Si(S) аналогичны данным, полученным в работе [13].

Таким образом, в отличие от данных из работ [1–11], нами впервые установлена четкая корреляция между условиями возбуждения, параметрами автоколебаний тока и параметрами материала. Эти исследования позволяют не только получить регулярные и стабильные автоколебания тока, но и воспроизвести это явление в достаточно широкой области температур и значений удельного сопротивления кремния, что дает возможность создания на их основе твердотельных генераторов с управляемыми параметрами.

Список литературы

- [1] N. Holonyak, S.F. Veracagua. Appl. Phys. Lett., **2**, 72 (1963).
- [2] С.П. Кальвенас. ФТП, **9**, 1685 (1975).
- [3] С.Г. Калашников, Г.С. Падо. ФТП, **3**, 1028 (1960).
- [4] Ю.И. Завадский, Б.В. Корнилов. ФТП, **11**, 1494 (1969).
- [5] М.К. Бахадырханов, А.А. Турсунов. ФТП, **14**, 965 (1989).
- [6] С.Г. Калашников, Г.С. Падо. ФТП, **3**, 1028 (1960).
- [7] И.В. Карпова, С.Г. Калашников. ФТП, **12**, 954 (1978).
- [8] А.Ш. Абдинов, В.К. Мамедов. ФТП, **14**, 754 (1980).
- [9] М.К. Бахадырханов, Б.З. Шарипов, Ш.И. Аскарлов. Письма ЖТФ, **18**, вып. 4, 52 (1992).
- [10] И.В. Карпова, С.Г. Калашников, О.В. Константинов, В.И. Перель. ФТП, **6**, 1155 (1972).
- [11] М.К. Бахадырханов, Х.М. Илиев, А. Хамидов, И.П. Парманкулов. ФТП, **25**, 1731 (1991).
- [12] О.В. Константинов, В.И. Перель. ФТП, **6**, 3364 (1964).
- [13] М.К. Бахадырханов, У.Х. Курбанова. ФТП, **28**, 1305 (1994).

Редактор Т.А. Полянская

Conditions for excitation of auto-oscillation current in Si(S) and their correlation with material parameters

M.K. Bakhadyrkhanov, U.Kh Kurbanova, N.F. Zikrillaev

Tashkent State University,
700095 Tashkent, Uzbekistan

Abstract A study has been made of conditions for excitation of auto-oscillation RW type current in a sulphur doped silicon, and their dependence upon electrophysical parameters of Si(S) samples. It has been found that specific resistance and the type of conductivity in Si(S) samples correlate with the electric field parameters and temperature excitation of RW type current. These data allowed us to obtain and reproduce regular oscillations with controlled parameters.