

УДК 5.35.211

С. М. АВАНЕСЯН

ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ: КОНЦЕНТРАЦИОННО- ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ

Приводятся результаты исследования лазерной генерации акустических импульсов в кристаллах кремния и германия. Рассмотрены процессы конкуренции различных механизмов лазерной генерации акустических импульсов.

Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

Քերպած են սիլիցիումի և գերմանիումի միարյուզեղանկրում լազերային ազդակների լազերային գրգռման էներգետիկային արդյունքները: Քննարկվում են ճախային ազդակների լազերային գրգռման տարրեր մեխանիզմների մրցակցությունը ճախի առաջացման ընթացքում:

При поглощении оптического излучения с энергией кванта $h\nu$, превышающей ширину запрещенной зоны E в непьезоактивных полупроводниках, возбуждение акустических волн происходит за счет двух различных механизмов: теплового, связанного с нагревом и остыванием кристаллической решетки, и концентрационно-деформационного, связанного с фотогенерацией электронно-дырочной плазмы. Объемные продольные акустические волны, возбуждаемые за счет концентрационно-деформационного механизма, экспериментально исследовались в [1, 2]. Экспериментальному исследованию генерации поверхностных акустических импульсов в кремнии посвящена работа [3]. В настоящей работе приводятся результаты исследований по лазерному возбуждению объемных акустических волн в полупроводниках. Особое внимание уделяется исследованию кремния в случае, когда мощность падающего излучения достаточно высока, вследствие чего необходимо учитывать процессы нелинейной рекомбинации фотовозбужденных носителей.

Волны продольного звука возбуждаются в монокристаллическом кремнии при поглощении световых импульсов длительностью $\tau_d \sim 20$ нс на длине волны $\lambda = 1,06$ мкм. Образец имел форму цилиндра диаметром 6 мм и высотой 10 мм. Оптическое излучение фокусировалось в пятно диаметром 3,5 мм на поверхности одного из оснований. Акустические импульсы регистрировались пьезодатчиком, который приклеивался к другому основанию кристалла кремния.

В эксперименте наблюдались биполярные акустические импульсы (рис. 1). Часть профиля волны, имеющая отрицательную полярность, отвечает импульсу разрежения, а другая, имеющая положительную полярность, соответствует импульсу сжатия. Симметричная форма профиля волны сохранялась, а амплитуда волны росла линейно с увеличением интенсивности оптического возбуждения практически вплоть до плотности энергии $Q \sim 60$ мДж см⁻² в световом импульсе. При до-

полнительном увеличении интенсивности темп роста амплитуды волны разрежения замедляется, а при $Q \sim Q_0 \approx 250 \text{ мДж} \cdot \text{см}^{-2}$ ее амплитуда полностью насыщается (рис. 2). Амплитуда волны сжатия в исследуемом диапазоне интенсивностей монотонно возрастает. Результаты показывают (рис. 1), что в отличие от импульса разрежения, длительность которого практически постоянна, длительность импульса сжатия уменьшается с увеличением интенсивности воздействия.

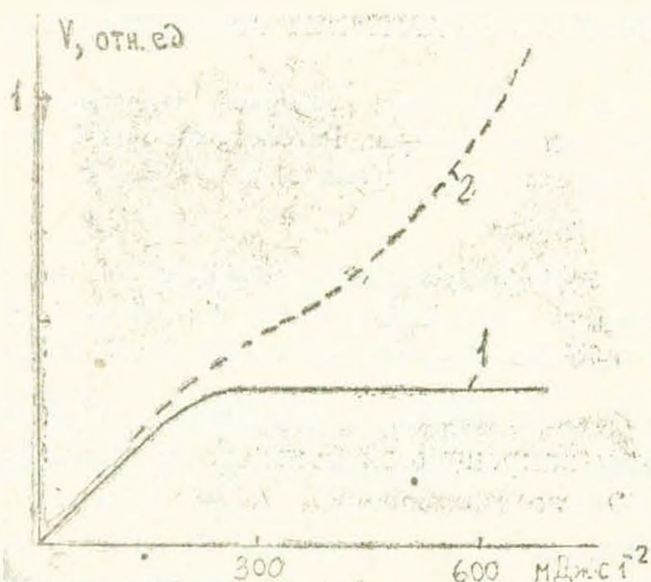


Рис. 1. Профили колебательной скорости в акустической волне: а — эксперимент (1 — $Q=0,014 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$, 2 — $Q=0,14 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$, 3 — $Q=0,53 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$), б — теория (1 — $\tau \geq 1 \text{ мкс}$, 2 — $\tau=0,9 \text{ мкс}$, 3 — $\tau=9,4 \cdot 10^{-8} \text{ с}$)

Возбуждение звуковых волн в полупроводниках происходит как за счет теплового расширения кристаллической решетки при ее нагреве, так и за счет изменения равновесной плотности вещества при рождении электронно-дырочных пар. Волновое уравнение для одномерных возмущений колебательной скорости V в пренебрежении затуханием акустических волн можно представить в виде

$$\rho_0 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - C_0^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \right) = D \frac{\partial^2 n}{\partial t \partial x} - k\beta \frac{\partial^2 T}{\partial t \partial x}, \quad (1)$$

где C_0 — скорость продольного звука, ρ_0 — равновесная плотность, D — константа деформационного потенциала, k и β — модуль и коэффициент объемного расширения, n — концентрация фотовозбужденных электронов, T — температура. Уравнение (1), конечно, учитывает тот факт, что в полупроводниках с $D > 0$ (Si) концентрационно-деформационный и термоупругий механизмы акустических возмущений генерируют и импульсы противоположной полярности. В этом смысле кремний очень удобный кристалл для идентификации различных механизмов генерации акустических импульсов. Предварительные оценки показали, что для описания пространственно-временного поведения n и T

можно не учитывать процессы фотонной теплопроводности и диффузию свободных носителей

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \alpha (1 - R) I (h\nu)^{-1} \exp(-\alpha x) f(2t/\tau_R) - n\tau_R^{-1}, \quad (2)$$

$$\rho_0 C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha (1 - R) I (h\nu - E_g) (h\nu)^{-1} \exp(-\alpha x) f(2t/\tau_R) + E_g n\tau_R^{-1}. \quad (3)$$

Здесь α и R — коэффициенты поглощения и отражения света, I — интенсивность падающего излучения, τ_R — время электронно-дырочной безизлучательной рекомбинации, C_p — теплоемкость вещества, а функция $f(2t/\tau_R)$ описывает форму светового импульса. Время жизни неравновесных носителей τ_R является в общем случае функцией концентрации неравновесных носителей n .

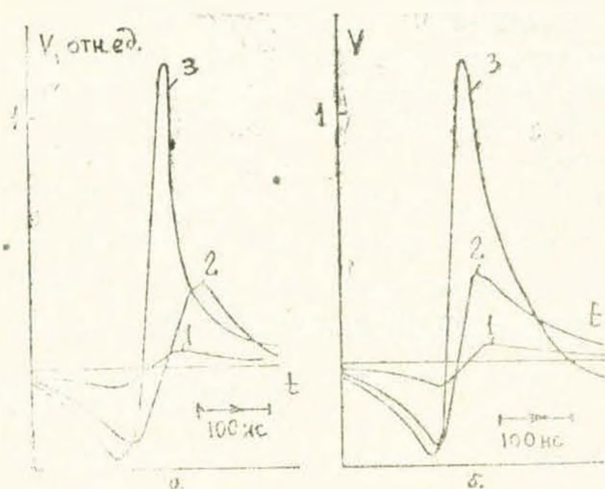


Рис. 2. Зависимость амплитуды импульса разрежения (1) и сжатия (2) от плотности энергии падающего излучения

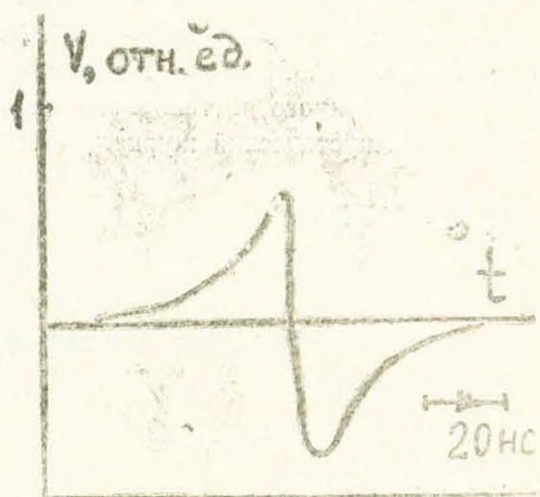


Рис. 3. Характерный профиль акустического импульса. Ge, $\lambda = 1,06$ мкм

Анализ показал, что данная математическая модель при естественном предположении уменьшения характерного времени жизни неравновесных носителей с увеличением интенсивности оптического воздействия качественно описывает все экспериментальные наблюдения. На рис. 1 представлены результаты машинного счета. Таким образом, в этом случае (Si, $\lambda = 1,06$ мкм) концентрационно-деформационный механизм является преобладающим. При увеличении плотности мощности падающего излучения уменьшается длительность импульса сжатия из-за уменьшения времени рекомбинации носителей.

При возбуждении акустических импульсов в кристалле Si излучением $\lambda = 0,53$ мкм, а также в Ge ($\lambda_1 = 1,06$ мкм и $\lambda_2 = 0,53$ мкм) наблюдаются двухполярные импульсы, причем, фаза сжатия опережает во времени фазу разрежения. На рис. 3 представлен характерный профиль акустического импульса при поглощении в кристалле германия излучения с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм. Амплитуда импульса растет линейно при повышении плотности мощности падающего излучения

вплоть до порога плавления приповерхностных слоев кристалла. Это указывает на преобладание теплового механизма генерации акустических импульсов. Поскольку в этом случае глубина поглощения светового излучения составляет доли микрометра, концентрация неравновесных носителей оказывается достаточно большой. Вследствие этого уменьшается время рекомбинации носителей, в течение лазерного импульса происходит эффективная перекачка энергии в фононную подсистему, что приводит к преобладанию теплового механизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gauster W. B., Habing D. H. Electric volume effect in Silicon//Phys. Rev. Lett. — 1967. — V. 18, № 24. — P. 1058—1061.
2. Аванесян С. М., Гусев В. Э: Генерация звука в процессе релаксации фотовозбуждения у поверхности полупроводникового кристалла//Изв. АН СССР. Сер. физическая. — 1987.—Т. 51. № 2.—С. 248—253.
- 3: Аванесян С. М. и др. Генерация поверхностных акустических волн за счет деформационного и теплового механизма при оптическом воздействии на кристалл // Акустический журнал. — 1986.—Т. 32, № 4.—С. 562—564.

ИРФЭ АН РА

28. VIII, 1992.

Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVI, 2—3, с. 52—56.

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.396.679

Р. С. АВАКЯН, К. Р. АГАБАБЯН, М. Ц. АЙВАЗЯН, Ю. Н. КАЗАНЦЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ЧАСТОПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕТОК

Исследуется прохождение электромагнитной волны сквозь систему, состоящую из произвольного числа частопериодических решеток (период решетки намного меньше по сравнению с длиной волны). Предполагается, что решетки образованы идеально проводящими проводниками с произвольной формой поперечного сечения. Для «сшивания» полей на решетках применяются эквивалентные граничные условия. Теоретически и экспериментально исследованы электрические характеристики регулируемого частотного фильтра на основе трех частопериодических решеток с проводниками круглого поперечного сечения. Результаты эксперимента хорошо согласуются с расчетами.

Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

Հետազոտվում է էլեկտրամագնիսական ալիքի անցումը կամայական թվով հաճախադարձության ցանցերի համակարգով (ցանցի պարբերությունը շատ ավելի փոքր է ալիքի երկարությունից): Ենթադրվում է, որ ցանցերը կազմված են կամայական լայնական հատույթով իզոնալական հաղորդիչ լարերից: Ցանցերի վրա դաշտերի «կարման» համար կիրառվում են համարժեք սահմանային պայմաններ: Տեսականորեն և փորձնականորեն հետազոտված են շրջանային ընդլայնական հատույթով հաղորդալարերից կազմված երեք հաճախադարձության ցանցերի հիման վրա հաճախային դիտչի էլեկտրական բնութագրերը:

Փորձի արդյունքները լավ համաձայնեցվում են հաշվարկների հետ: