

УДК 621.315.592

САМОДИФРАКЦИЯ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКЕ

Г.М. АРУТЮНЯН, С.В. АРУТЮНЯН, Т.Н. ГАРЕГИНЯН, М.К. ОГАНЕСЯН

Ереванский медицинский университет

(Поступила в редакцию 5 ноября 1995 г.)

В работе экспериментально исследовано возбуждение самодифрагированных лазерных волн высоких порядков в высокоомном полупроводниковом образце Si. Получена зависимость эффективности генерации новых волн от энергии накачки пикосекундного лазера в широком диапазоне ее значений.

С созданием лазеров – источников интенсивного когерентного излучения, значительные усилия были направлены на исследование сред с наведенной одномерной периодической структурой ("сверхрешеткой") [1-3]. Распространение волн в периодической структуре есть не что иное, как распространение электронных волн в периодическом поле кристалла [4]. Закон сохранения импульса в элементарном акте рассеяния может выполняться только при участии импульса, связанного с вектором обратной решетки. Это положение, справедливое для физики электронных волн, справедливо и для световых волн в сверхрешетке [5].

Одним из интересных явлений, имеющих место в среде с наведенным периодическим изменением оптических характеристик, является самодифракция волн, при которой пересекающиеся под некоторым углом когерентные интенсивные волны в среде индуцируют периодическое изменение диэлектрической проницаемости и сами же рассеиваются (дифрагируют) на этих периодических изменениях. Явление самодифракции наблюдалось в разных средах (в частности, в полупроводниках [6,7]) и считается одним из перспективных методов исследования оптических и кинетических процессов, протекающих в этих средах.

Как и при других нелинейно-оптических явлениях, при

самодифракции объем и характер получаемой информации также зависят от порядка наблюдаемого и исследуемого процесса, что, в свою очередь, зависит от интенсивности возбуждающих волн. В настоящее время одним из самых мощных источников когерентного излучения являются пикосекундные твердотельные лазеры, которые себя хорошо зарекомендовали для генерации различных нелинейных процессов высоких порядков и физических исследований на их основе.

Нами проведено теоретическое и экспериментальное исследование возбуждения самодифрагированных волн высоких порядков в полупроводнике (Si), представляющем интерес для опто- и квантовой электроники.

Из решений уравнений Максвелла для напряженностей дифрагированных волн $E_{2\nu+1}$ порядка $\nu=1,2,\dots$ следует:

$$E_{2\nu+1} = (\gamma_\nu E_1 + \gamma_{-\nu} E_{-1}) l, \quad (1)$$

где E_1 , E_{-1} — напряженности возбуждающих волн, l — толщина полупроводникового образца, а коэффициенты

$$\gamma_\nu = \frac{1}{2\nu+1} \sum_{k=\nu}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1} (2k)! \sigma^{2k}}{2^{4k} (k!)^2 2k} \binom{2k}{k-\nu}, \quad (2)$$

$$\gamma_{-\nu} = \frac{1}{2\nu+1} \sum_{k=\nu}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1} (2k)! \sigma^{2k}}{2^{4k} (k!)^2 2k} \binom{2k}{k-\nu-1} \quad (3)$$

определяют эффективность возбуждения новых волн произвольного порядка ν по обе стороны относительно биссектрисы угла между возбуждающими волнами. Отношение интенсивностей соседних гармоник пропорционально нелинейному параметру $\sigma^2 < 1$, причем с уменьшением угла пересечения интенсивности гармоник растут как $(\cos \theta_0)^{-2}$. Численные оценки, проведенные на основе (1)-(3), показали, что мощности существующих пикосекундных импульсов вполне достаточны для возбуждения в полупроводниковой среде самодифрагированных волн выше первого порядка, и нами было проведено экспериментальное исследование самодифракции мощных пикосекундных импульсов в высокоомном ($\rho = 4 \cdot 10^4$ ом·см) образце Si. Основное внимание было

уделено энергетической зависимости эффективности преобразования энергии накачки (возбуждающих волн) в дифрагированные волны.

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Источником накачки служит пикосекундный генератор ПГС-1 одиночных импульсов с длительностью 30-40 пс и энергией 0.1-0.3 мДж. Основная доля энергии накачки после прохождения бипризмы Френеля падала на образец в виде двух пучков под некоторым малым углом ($\theta_0 \approx 5-7^\circ$). Энергия основного пучка, проходящего через образец, а также энергии волн, возбужденных в среде из-за нелинейного взаимодействия, регистрировались фотодиодами ФД-24К и подавались на двухлучевые осциллографы С8-14. Одновременно регистрировалась энергия накачки с помощью отщепления 4% от энергии импульса накачки. Без специального усиления сигналов от фотодиодов надежно регистрировались дифрагированные волны до четвертого порядка включительно.

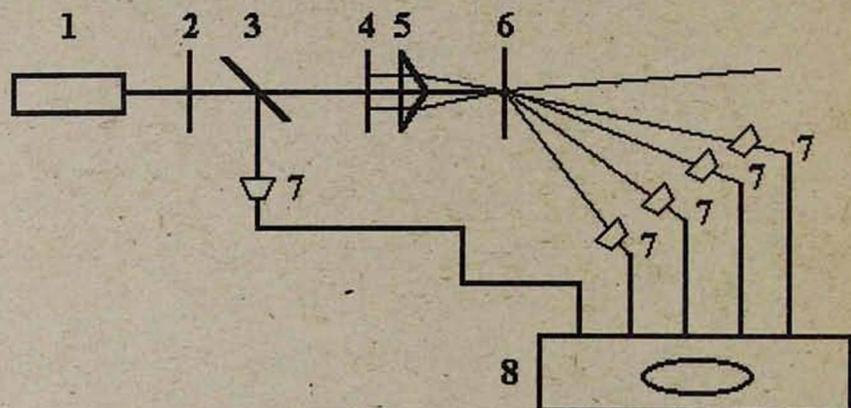


Рис.1. Схема экспериментальной установки для исследования явления самодифракции интенсивных пикосекундных импульсов в полупроводниковом образце: 1 – генератор одиночных пикосекундных импульсов, 2 – пассивный фильтр, 3 – стеклянная пластинка, 4 – диафрагма с двумя отверстиями, 5 – бипризма Френеля, 6 – полупроводниковый образец (Si), 7 – детекторы излучения (фотодиоды ФД-24К), 8 – двухлучевой осциллограф.

На эксперименте снята зависимость эффективности генерации новых волн от энергии накачки в широком диапазоне ее значений. Заметим при этом, что выходные импульсы пикосекундного генератора, в

сушности, обладают флуктуационной природой, т.е. энергия и длительность импульсов флуктуируют в некоторых пределах. Это, в общем случае, сказывается и на фазовой структуре полученных пикосекундных импульсов. Для того, чтобы по возможности избежать фазовых изменений в возбуждающих импульсах, подбирались лишь импульсы с наиболее вероятными значениями энергии, а изменение энергии на входе в среду осуществлялось с помощью пассивных фильтров.

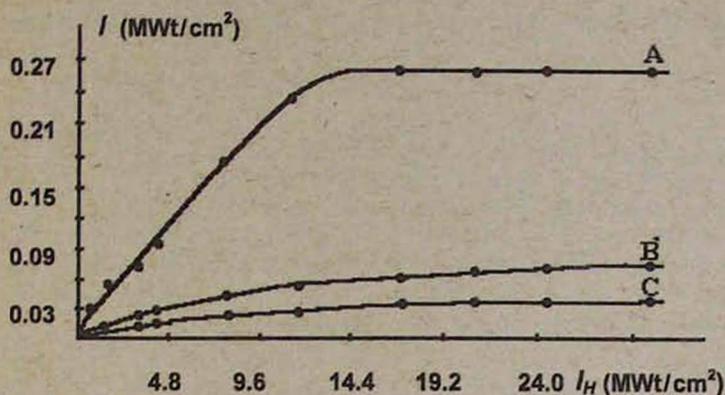


Рис.2. Зависимость интенсивности самодифрагированных волн в полупроводнике (Si) от интенсивности накачки.

Экспериментальные результаты представлены на рис.2. По оси ординат отложены значения интенсивностей основного (A) и дифрагированных волн первого (B) и второго (C) порядков на выходе из среды, а по абсциссе – интенсивность накачки на входе в среду. Видно, что в области относительно больших интенсивностей (10-15 МВт/см²) энергия возбуждающих волн в среде больше не растет с увеличением ее входного значения. Это, на наш взгляд, обусловлено усилением потерь на более интенсивно протекающие нелинейно-оптические явления и, в первую очередь, на резонансное поглощение и многофотонную ионизацию. Тем более, что при очень высоких значениях энергий накачки (>30 МВт/см²) в образце наблюдаются необратимые изменения и пробой вещества. Насыщенный же характер кривых для самодифрагированных волн обусловлен, естественно, вышеуказанным поведением возбуждающих интенсивностей в среде.

Сопоставление кривых B и C с кривой A указывает на высокую

эффективность преобразования (самодифракции) мощных пикосекундных импульсов (до 5-10%) в дифрагированные импульсы, что существенно превосходит аналогичную эффективность для относительно маломощных наносекундных импульсов.

Таким образом, в настоящей работе реализован максимум эффективности по энергии процесса самодифракции в полупроводнике. Дальнейшего увеличения эффективности можно добиться улучшением геометрических факторов экспериментальных узлов, и особенно, улучшением фазовой структуры волновых фронтов возбуждающих волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. N.Blombergen and A.J.Sievers. Appl. Phys. Lett, 17, 483 (1970).
2. C.L.Tang and P.P.Bey. J. Quantum. Electr., QE-9, 9 (1973).
3. A.Miller and D.A.B.Miller. J. Appl. Phys. B, 28, 92 (1992).
4. Ch.Kittel. Introduction to Solid State Physics. John Wiley and Sons Inc., 1963.
5. H.A.MacKenzie, B.S.Wherrett, H.A.Allattar, and S.Y.Yuen. J. Phys. B, 17, 2141 (1984).
6. J.Hegarty, M.D.Sturge, A.C.Crossard, and W. Wiegmann. Appl. Phys. Lett., 40, 132 (1982).
7. H.Hang and S.Schmitt-Rink. J. Opt. Soc. Amer. B, 2, 1135 (1985).

ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴՉՈՒՄ ԲԱՐՉՐ ԿԱՐԳԵՐԻ ԻՆՔՆԱԴԻՖՐԱԿՑԻԱՆ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՍԱՆ ՀԱՄԱՐ

Գ.Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ս.Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Թ.Ն. ԳԱՐԵԳԻՆՅԱՆ,
Մ.Կ.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

Աշխատանքում փորձական եղանակով հետազոտված է բարձր դիմադրությամբ կիսահաղորդչային նմուշում (Si) ինքնադիֆրակցիայի ենթարկված բարձր կարգերի լազերային ալիքների գրգռումը: Ստացված է նոր ալիքների զեներացման արդյունավետության կախվածությունը պիկովայրկյանային լազերի պոմպային էներգիայից:

HIGHER ORDER SELF-DIFFRACTION FOR LASER RADIATION IN A SEMICONDUCTOR

G.M. HAROUTUNIAN, S.V. HAROUTUNIAN, T.N. GAREGINIAN, and M.K. OGANESIAN

Excitation of self-diffracted laser waves of high orders in a high-resistance semiconductor sample of Si is investigated experimentally. Dependence of the efficiency of generation of new waves on the pumping energy of a picosecond laser in a wide range of its values is obtained.