

ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДНОЙ РЕШЕТКИ НА ДИФРАКЦИОННУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ГОЛОГРАММ В КРЕМНИИ

Балтрамеюнас Р., Велецкас Д.

Исследовано влияние амплитудной решетки на дифракционную эффективность голограммы в нелинейно поглощающих средах. Показано, что амплитудная решетка в кристалле кремния, действуя наряду с фазовой, уменьшает дифракционную эффективность голограммы и влияет на точность определения параметров возбужденной среды методом динамических голографических решеток.

Метод динамических голограмм широко применяется для определения параметров возбужденных сред, в том числе и полупроводников. Так, в ряде полупроводниковых кристаллов установлены коэффициенты амбиполярной диффузии [1], коэффициенты объемной и поверхностной рекомбинации [2-4], параметры плазмы свободных неравновесных носителей [5-6], изучена конкуренция каналов линейной и нелинейной рекомбинации [1, 2, 4, 6, 7] и др. Параметры кристаллов получены в предположении, что самодифракция света происходит на фазовой решетке. В действительности в полупроводниках из-за нелинейного поглощения света всегда образуется сложная амплитудно-фазовая дифракционная решетка. Однако во многих работах [1-7] вкладом амплитудной решетки пренебрегается по той причине, что ее эффективность не превышает 7 [1], 1.6 % [7] от фазовой. Такой вывод сделан на основании расчета величин изменения показателя преломления Δn и показателя поглощения Δk [1].

Настоящая работа посвящена экспериментальной проверке влияния амплитудной решетки на дифракционную эффективность голограмм в кристаллах кремния.

Методика эксперимента. Исследована дифракционная эффективность плоских амплитудно-фазовых решеток, полученных как на подложках из кристаллов Si образованием слоя SiO_2 (рис. 1) с толщиной $d_1=0.2$ мкм и периодом $\Lambda=80$ мкм, так и на кварцевых подложках напылением слоя CdSe с последующим выжиганием стационарной решетки излучением второй гармоники лазера на основе АИГ: Nd^{3+} ($\Lambda=15$ мкм, $d_1=0.1\div 0.2$ мкм).

Изменения фазы волны (Φ) из-за различной длины оптического пути в среде в исследованных стационарных решетках были (фазовую запись можно осуществить как путем пространственной модуляции коэффициента преломления n , так и изменением толщины слоя [8]) $\Phi^{\text{SiO}_2}=(2\pi/\lambda)nd_1=(2\pi/\lambda)\cdot 0.3$ мкм и (в зависимости от толщины слоя) $\Phi^{\text{CdSe}}=(2\pi/\lambda)\cdot(0.24\div 0.5)$ мкм, что соответствует изменению фазы для динамических решеток в кристаллах кремния.

Решетки исследовались при считывании лучом лазера с длиной волны $\lambda=1.064$ мкм. Соотношение пропускания штрихов решетки на этой длине волны определялось как $T_1/T_2=\Delta T_{1,2}$ (рис. 1) и для решетки из SiO_2 было равно $\Delta T_{1,2}=(0.985\pm 0.005)$, а для слоев CdSe в зависимости от толщины — $0.7\div 0.85$, что также соответствует изменению амплитуды волны (нелинейного пропускания) динамических решеток в кристаллах Si. Таким образом, по своим параметрам (изменению фазы, амплитуды волны, периоду) стационарные решетки были близки к динамическим в кристаллах кремния. Следует также заметить,

что роль амплитудной составляющей может зависеть и от фазового соотношения между амплитудной и фазовой компонентами. Однако, ввиду того что в кристаллах Si причиною как амплитудной, так и фазовой решеток являются неравновесные носители заряда, соотношение модуляции этих решеток на ННЗ ($\Delta n/\Delta k$) остается постоянным [9]. Следовательно, можно найти условия, при которых динамические решетки по всем своим параметрам будут идентичны стационарным.

Запись и исследование динамических решеток в кристаллах проводились первой гармоникой неодимового лазера по стандартной методике [1, 2].

Дифракционная эффективность η определялась как отношение $I_{\text{диф}}^{(1)}/I_0$, где $I_{\text{диф}}^{(1)}$ — интенсивность дифрагировавшего света в первом дифракционном максимуме, I_0 — считающаяся интенсивность с учетом отражения (поглощения).

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Самодифракция света на динамических решетках в кристаллах Si проявляется в области интенсивности возбуждения, когда наблюдается нелинейное, поглощение света на ННЗ (рис. 2). Следовательно, в области возбуждений $I_0 \geq 0.1$ МВт/см² создается смешанная амплитудно-фазовая динамическая решетка. Из-за незначительного изменения на-

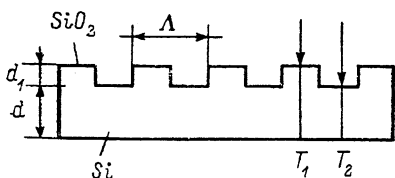


Рис. 1. Профиль дифракционной решетки в системе SiO₂-Si.

$d_1 = 0.2$ мкм, $d = 400$ мкм.

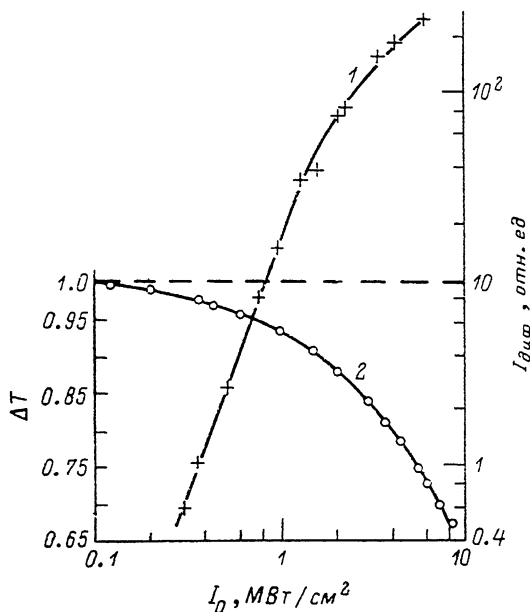


Рис. 2. Зависимость интенсивности дифракции на динамической решетке (1) и изменение пропускания (2) света в кристалле кремния ($d = 400$ мкм) от плотности мощности возбуждения.

веденного коэффициента поглощения ($\Delta \alpha \leq \alpha_0$) влиянием амплитудной решетки обычно пренебрегается и, как отмечалось выше, динамическая решетка рассматривается как чисто фазовая [1-7]. Оправдано ли такое предположение? Для выяснения этого проведена оценка влияния амплитудной решетки на дифракционную эффективность η в стационарных решетках из SiO₂-Si. Получено, что при слабом считающемся луче [$I_0 \leq 0.1$ МВт/см² и $\Delta T_{1,2} = (0.995 \pm 0.005)$] η достигает 27 % (рис. 3, кривая 1).¹ Однако с увеличением интенсивности считающегося луча наводится нелинейное поглощение в подложке из кристаллического Si, что приводит к уменьшению дифракционной эффективности. Характерно, что одновременно происходит уменьшение контраста между штрихами решетки (подложка-SiO₂) до $\Delta T_{1,2} = (0.955 \pm 0.005)$. Аналогичный результат был получен и на стационарных решетках, образованных пленкой из CdSe (рис. 3, кривая 2), где с изменением $\Delta T_{1,2}$ от 0.85 до 0.7 дифракционная эффективность также уменьшилась. Следовательно, контраст амплитудной решетки оказывает заметное влияние на величину дифракционной эффективности голограмм, т. е. увеличивающийся вклад амплитудной решетки уменьшает значение дифракционной эффективности.

¹ При таком же изменении фазы волны в динамическом режиме в кристаллах Si $\eta \leq 7$ % [1]. Однако тогда $\Delta T \leq 0.9$.

Как это отразится на дифракционной эффективности динамических голограмм? Известно, что в случае фазовой решетки в кристалле кремния (при линейном канале рекомбинации ННЗ) показатель зависимости дифракционной эффективности от интенсивности возбуждения равен $\gamma = 2$ [1, 2] (рис. 4, кривая 1). Однако полученная экспериментальная зависимость дифракционной эффективности от возбуждения при $I_0 \geq 1$ МВт/см² явно нелинейна (см. точки на рис. 4 или 2, кривая 1). Однако если предположить, что в динамическом режиме записи голограмм в кристалле кремния имеет место такая же функциональная зависимость дифракционной эффективности η от контраста амплитудной решетки ΔT , как и полученная на рис. 3 (кривая 2), то экспериментально наблюдаемую нелинейность люксдифракционной характеристики можно объяснить увеличе-

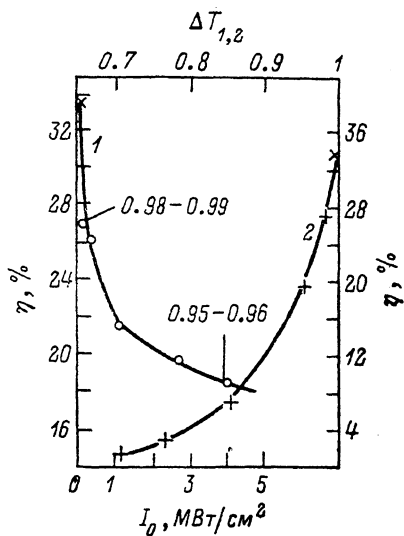


Рис. 3. Зависимость дифракционной эффективности решетки $\text{SiO}_2\text{-Si}$ от интенсивности считывающего луча (I) и для слоя CdSe от изменения пропускания $\Delta T_{1,2}$ (2).

Цифры показывают изменение контраста решетки на $\text{SiO}_2\text{-Si}$. На рисунок нанесены точки максимального значения $\eta = 33.9\%$ для идеальной фазовой решетки [3].

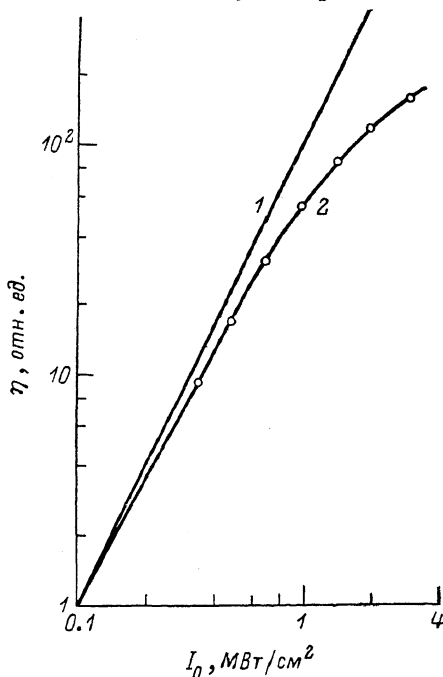


Рис. 4. Зависимости дифракционной эффективности от I_0 .

1 — теоретическая для фазовой решетки в Si [1, 2]; 2 — для амплитудно-фазовой решетки с учетом зависимости η от ΔT , согласно результатам рис. 2 и 3. Точки на кривой 2 — эксперимент.

вающимся вкладом амплитудной решетки, создаваемой нелинейным поглощением света ННЗ. Сплошная кривая 2 на рис. 4 получена из кривой 1 с учетом экспериментального изменения пропускания ΔT от уровня возбуждения в кристалле кремния (рис. 2, кривая 2) и соответствующего ему (т. е. ΔT) уменьшения η согласно кривой 2 на рис. 3. Как видно из результатов, приведенных на рис. 4, кривая 2 полностью совпадает с экспериментальными результатами (точки). Следовательно, амплитудная решетка в кристалле кремния, существенно влияя на дифракционную эффективность, заметно меняет наклон люксдифракционной характеристики. Поэтому, например, по изменению наклона люксдифракционной характеристики нельзя однозначно судить о смене каналов рекомбинации [1]. Ввиду изложенного следует также обратить внимание на точность определения ряда параметров возбужденной среды методом динамических голографических решеток. Очевидно, что значения таких параметров, как коэффициент амбиполярной диффузии носителей, время жизни ННЗ, сечение захвата центром рекомбинации носителей и др., в силу проявления амплитудной решетки будут зависеть от интенсивности возбуждающих динамическую решетку лучей лазера. Точность определения параметров среды будет тем выше, чем ниже уровень возбуждения.

Таким образом, из-за нелинейного поглощения света в кристалле (двухфотонного, двухступенчатого, неравновесными носителями) в интерференционном поле излучения лазера образуется смешанная амплитудно-фазовая динамическая решетка. Пренебрежение вкладом амплитудной решетки может привести как к увеличению погрешности в определении параметров среды, так порой и к тривиальной интерпретации отдельных экспериментальных результатов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Вайткус Ю., Ярашюнас К. // Лит. физ. сб. 1979. Т. 19. № 2. С. 211—231.
- [2] Балтрамеюнас Р., Вайткус Ю., Велецкас Д. // Лит. физ. сб. 1981. Т. 21. № 3. С. 83—93.
- [3] Вайткус Ю., Пятраускас М., Ярашюнас К. // ФТП. 1982. Т. 16. В. 6. С. 1013—1018.
- [4] Гаубас Э., Вайткус Ю., Ярашюнас К. // Лит. физ. сб. 1981. Т. 21. № 5. С. 77—85.
- [5] Мизрухин Л. В., Пешко И. И., Соскин М. С., Хижняк А. И. // УФЖ. 1983. Т. 28. В. 5. С. 675—683.
- [6] Gaubas E., Jarašiūnas K., Vaitkus J. // Phys. St. Sol. (a). 1982. V. 69. P. K87—K90.
- [7] Вайткус Ю., Гаубас Э., Ярашюнас К. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1981. Т. 45. В. 8. С. 1474—1484.
- [8] Миллер М. Голография. Л., 1979. 139 с.
- [9] Вайткус Ю., Ярашюнас К., Гаубас Э., Тинфавичюс Э., Кулевичюс Ч., Мишкинис Ю. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т. 49. В. 6. С. 1173—1178.

Институт физики АН ЛитССР
Вильнюс

Получена 5.04.1988
Принята к печати 11.11.1988