

РЕГИСТРАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ТОКА ПРИ ОТРАЖЕНИИ СВЕТА ОТ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Г.А.Шерозия

Зарегистрировано протекание тока по поверхности дифракционной решетки при отражении от нее лазерного импульса. Предполагается, что явление обусловлено давлением света.

1. Как известно, поглощение свет в полупроводниках приводит к генерированию токов, обусловленных передачей импульса поглощаемых фотонов свободным носителям заряда. Представляет интерес попытка экспериментального обнаружения аналогичного явления при отражении света от проводящей металлической поверхности.

Очевидно, что при зеркальном отражении давление света не приводит к возникновению заметного электрического тока, так как при этом электроны частично вдавливаются вглубь металла, а дальнейшее их движение приостанавливается возникающим поляризационным электрическим полем. Однако, возможны случаи, когда давление света может привести к генерированию поверхностного тока. Действительно, рассмотрим, например, отражение излучения с $\lambda = 1,06$ мкм от дифракционной решетки с расстоянием между штрихами $d = 0,83$ мкм (1200 штрихов на мм). В этом случае реализуется картина отражения изображенная на рис. 1, а условие отражения имеет вид $\sin \alpha + \sin \beta = \lambda/d = 1,27$. Очевидно, что в данном случае, в отличие от зеркального отражения, имеется изменение не только составляющей импульса падающего излучения перпендикулярной отражающей поверхности (P_{\perp}), но и составляющей импульса параллельной поверхности (P_{\parallel}). При этом, по-видимому, должна изменяться также параллельная поверхности составляющая импульса электронов, участвующих в отражении света, т. е. электроны должны начать перемещаться в направлении, противоположном направлению составляющей импульса P_{\parallel} , приобретенной светом. Как видно из рис. 1, величина из-

менения P_{\parallel} равна

$$\Delta P_{\parallel} = \frac{\mathcal{E}}{c} \sin \alpha + \frac{\mathcal{E}}{c} \sin \beta = \frac{\mathcal{E}}{c} \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

где \mathcal{E} — энергия светового импульса. Силу, действующую на электрон вдоль поверхности металла, можно оценить как $F \sim \Delta P_{\parallel} / ab \delta n \tau$, где a и b — размеры луча света вдоль и поперек P_{\parallel} , δ — глубина проникновения излучения в металл ($\delta \sim 10^{-6}$ см для $\lambda \sim 10^{-4}$ см²), n — плотность свободных электронов, τ — длительность светового импульса. Тогда для величины напряжения вдоль P_{\parallel} получаем:

$$U \sim W / cb \delta n e \quad (2),$$

где W — мощность импульса света. Оценка для импульса света с $\mathcal{E} = 3$ Дж и $\tau = 40$ нс при $n = 2 \cdot 10^{23}$ см⁻³, $\delta \sim 10^{-6}$ см, $b = 4$ см дает значение $U \sim 2 \cdot 10^{-2}$ В.

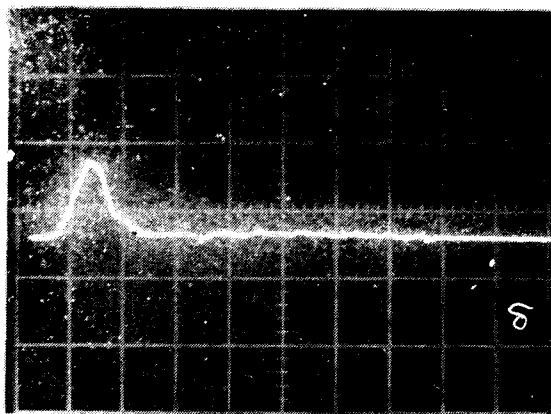
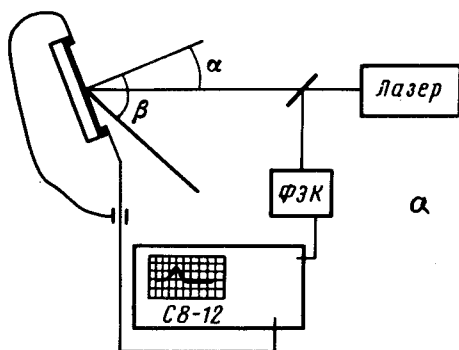


Рис. 1. а — Схема установки, б — осциллограмма импульса напряжения. Развертка 50 нс/дел

Для оценки величины протекающего по поверхности тока следует учесть, что толщина слоя, в котором в данном случае действует ЭДС ($\sim 10^{-6}$ см), значительно меньше толщины нижележащего слоя металла γ , по которому происходит закорачивание тока. Для дифракционной решетки величина γ может определяться толщиной слоя металла, на котором нанесены штрихи, но не может превышать толщину скин-слоя, определяющуюся длительностью отражающего лазерного импульса (для $\tau \sim 40$ нс $\gamma \sim 10^{-3}$ см). Исходя из сказанного, по-видимому, можно считать, что величина тока будет ограничиваться сопротивлением слоя толщиной δ : $R \sim (\rho a / b \delta) \sim (\rho / \delta) \sim 3$ Ом, где ρ — удельное сопротивление (использовано значение ρAl). Для тока получаем $J \sim 10^{-2}$ А. Измерения показали, что толщина слоя метал-

ла в решетках, использованных в описанных ниже экспериментах, составляет $2 \cdot 10^{-4}$ см, а сопротивление $r \sim 10^{-2}$ Ом. Тогда, очевидно, что генерирующийся на поверхности ток будет закорачиваться и при измерениях на нагрузке 50 Ом должно быть зарегистрировано напряжение $Jr \sim 10^{-4}$ В.

2. В эксперименте использован лазер ГОС-1001, снабженный пассивным модулятором добротности, что обеспечивало отсутствие электромагнитных наводок в момент генерации лазера. Максимальная энергия в импульсе длительностью 40 нс достигала 10 Дж. Исследовалось отражение от дифракционных решеток, имеющих 1200 штрихов на мм. Для регистрации применялся широкополосный усилитель УЗ-33 ($\kappa_{yc} \approx 10$) и запоминающий осциллограф С8-12. Синхронизация осуществлялась с помощью фотоэлемента. При облучении решетки с поперечным размером 40 мм импульсом с энергией 3 Дж на дифракционной решетке был зарегистрирован импульс напряжения 30 мВ, имеющий полярность и длительность, соответствующие вышеизложенной картине (рис. 1, б). Таким образом, экспериментально зарегистрированная величина сигнала приблизительно на два порядка превышает значение, полученное из чисто классических представлений с учетом влияния закоротки, а это, по-видимому, свидетельствует об участии в процессе не всех электронов проводимости, а только их сравнительно малой части (см. формулу (2)). Влияние энергии лазерного импульса на величину сигнала исследовалось путем ослабления излучения заранее прокалиброванными оптическими фильтрами. Зависимость в пределах ошибок измерения линейна (рис. 2, а). На рис. 2, б показана зависимость от угла падения излучения. Из формулы (1) следует, что величина сигнала не должна зависеть от угла падения. Однако, в реальном случае для оценки величины сигнала необходимо использовать проекцию изменения импульса света не на поверхность решетки, а на поверхность штрихов, которые участвуют в отражении и по которым будет протекать ток (рис. 3, а).

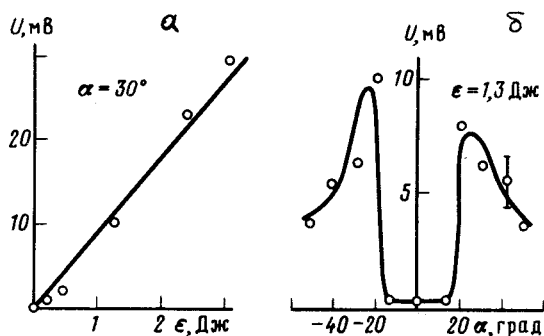


Рис. 2. а – Зависимость сигнала от энергии лазерного импульса, б – зависимость сигнала от угла падения на решетку

3. В качестве контрольных экспериментов выполнено следующее: а) при отражении от металлического зеркала сигнал отсутствовал; б) при прохождении излучения через стеклянную пластину сигнал отсутствовал (наблюдались хаотические наводки из-за разрыва контура); в) смена электродов (рис. 3, б); г) для проверки правильности выводов относительно влияния закорачивания на результат измерений напряжения была изготовлена дифракционная решетка с толщиной слоя металла $(0,5 \div 1) \cdot 10^{-5}$ см. Эксперимент подтвердил вышеизложенную картину и показал возрастание сигнала в 20 раз по сравнению с первоначально использованными решетками.

4. Так как эксперимент показал, что обнаруженное явление не может быть объяснено в рамках чисто классической картины и, возможно, потребуется привлечение квантовых представлений (эффект Комптона, см. также ³), то желательно исследование наличия сдвигки длины волны у излучения, отразившегося от решетки. Величина сдвигки при рассеянии кванта
334

на свободном электроде составляет $\sim 10^{-2}$ А, что для видимого диапазона соответствует $\sim 10^9$ Гц. Для эксперимента был собран интерферометр Майкельсона, в качестве источника излучения в котором использовался He-Ne-лазер с шириной линии генерации менее $10^5 \div 10^6$ Гц, а в одном из плеч помещалась дифракционная решетка. Очевидно, что если бы величина сдвигки превысила ширину линии генерации лазера, то на выходе интерферометра визуально интерференция не наблюдалась бы. Однако, интерференция была получена, а следовательно сдвигка длины волны, если она есть, не превышает $10^5 \div 10^6$ Гц.

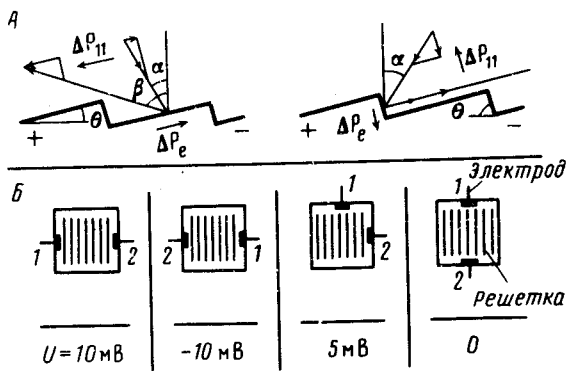


Рис. 3. а – Влияние формы штрихов на полярность сигнала, б – влияние расположения электродов на величину сигнала

5. Таким образом, в работе обнаружено: генерирование поверхностного тока при отражении мощного лазерного импульса (до 10^7 Вт·см $^{-2}$) от дифракционной решетки; показано, что величина эффекта при этом на два порядка превышает величину, получаемую из классических оценок; при отражении излучения He-Ne-лазера от решетки сдвигка длины волны отсутствует, т. е. при малых мощностях излучения явление не является квантовым. В качестве гипотезы для объяснения перечисленных результатов можно предположить следующее. Известно, что при мощности облучения $\sim 10^6$ Вт·см $^{-2}$ в металлах возникают так называемые "горячие электроны", обусловленные ступенчатым многофотонным возбуждением электронов⁴. По-видимому, можно предположить, что возникновение и величина тока при отражении мощного лазерного импульса от дифракционной решетки определяются участием в процессе "горячих электронов".

В заключение автор считает своим долгом выразить благодарность В.Б.Розанову и другим сотрудникам ФИАН за участие в обсуждении работы и ценные замечания, а также А.И.Суслову, С.П.Борисовскому, и В.И.Комиссарову за помощь в эксперименте.

Литература

1. Данишевский А.М., Кастальский А.А., Рыбкин Е.М., Ярошецкий И.Д. ЖЭТФ, 1970, 58, 5441.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики, М.: Наука, 1973, с. 567.
3. Соколов А.В. Оптические свойства металлов., М.: ГИФМЛ, 1961, с. 113.
4. Беньков А.В., Зиновьев А.В., Луговской В.Б. Письма в ЖТФ, 1980, 6, 1456.

Поступила в редакцию
21 марта 1986 г.
После переработки
14 декабря 1986 г.