

Согласно [4], в результате облучения пластины кремния импульсом миллисекундной длительности с энергией меньше пороговой происходит пластическая деформация пластины. Это явление сопровождается генерацией дислокаций и их выходом на поверхность. Можно предположить, что при воздействии поляризованного излучения происходит взаимодействие заряженных дефектов с электрическим полем волны накачки, что вызывает их упорядоченное выстраивание преимущественно в одном направлении.

Автор выражает благодарность А. Л. Корженевскому за полезное обсуждение результатов работы.

Литература

- [1] Прохоров А. М., Сычугов В. А., Тищенко А. В., Хакимов А. А. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. Вып. 23. С. 1409—1413.
 [2] Важенев В. В., Бонч-Бруевич А. М., Либенсон М. Н. и др. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. Вып. 15. С. 932—937.
 [3] Вейко В. П., Дорощев И. А., Имас Я. А. и др. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. Вып. 1. С. 15—20.
 [4] Вейко В. П., Имас Я. С., Либенсон М. Н. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т. 49. № 6. С. 1236—1239.

Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
24 августа 1987 г.

05; 10; 07

Журнал технической физики, т. 59, в. 6, 1989

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АМОРФНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Р. Р. Киквидзе, Н. А. Кирсанов, И. М. Минаев, А. А. Рухадзе

1. При облучении твердого тела ионизирующим излучением вблизи его поверхности может появиться значительное число носителей заряда, которые могут изменить диэлектрическую проницаемость и отражательную способность твердого тела вплоть до оптической об-

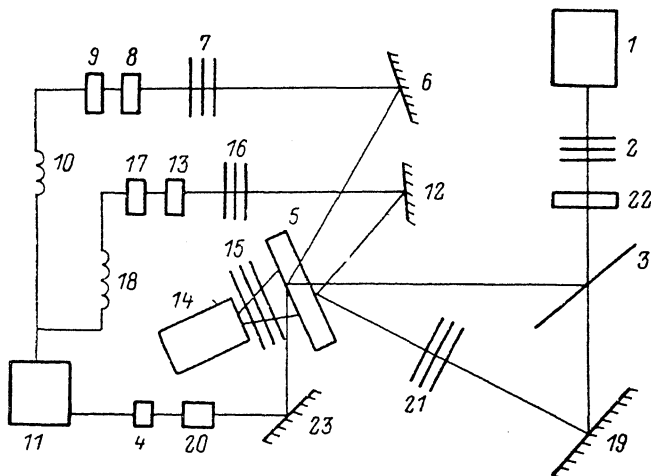


Рис. 1.

ласти спектра частот. Такое явление при облучении полупроводников ионизирующим излучением исследовано довольно полно (см. [1]). В случае полупроводников это явление обусловлено изменением плотности носителей зарядов в зоне проводимости вследствие процессов переноса (ионизации) независимо от природы ионизирующего излучения. Иное положение имеет

место при облучении диэлектрика. Здесь уже существенно различаются явления, возникающие в зависимости от того, облучается диэлектрик пучком заряженных частиц либо ионизирующим ультрафиолетовым излучением. Дело в том, что в диэлектрике в отличие от проводника при импульсном облучении пучком электронов не всегда индуцируется встречный (обратный) ток, поэтому не происходит нейтрализация заряда и тока пучка. На поверхности диэлектрика накапливается объемный заряд, плотность которого при больших токах пучка оказывается значительной и может изменить оптические характеристики диэлектрика, в частности его отражательную способность в оптической области спектра.

2. В настоящей работе сообщается о наблюдении изменения величины отраженного сигнала на длине волны $\lambda = 0.63$ мкм от диэлектрика (стекло) при его облучении импульсным электронным пучком. Схема установки представлена на рис. 1. Измерения величины отраженного от поверхности диэлектрика сигнала проводились от передней грани по каналу *a*, от задней грани — по каналу *b*. Канал *a* состоит из He—Ne лазера 1, ослабителя 2, 50%-го зеркала 3, глухого зеркала 19, ослабителя 21 (набора светофильтров), образца диэлектрика 5 с размерами $150 \times 150 \times 4$ мм, зеркала 12, ослабителя 16, фотоприемника 13 (ФЭУ-28), усилителя 17, линии задержки 18 ($\tau_3 = 200$ нс), осциллографа 11 (С1-75). В канал *b* входят He—Ne лазер 1, ослабитель 2, 50%-ное зеркало 3, образец диэлектрика 5, зеркало 6, ослабитель 7, фотоприемник 8, усилитель 9, линия задержки 10 ($\tau_3 = 800$ нс), осциллограф 11. [Линии задержки 10 и 18 используются для задержки сигналов с усилителей 17 и 9 относительно начала развертки, выпуск которой осуществляется сигналом с зеркала 23, фотоприемника 20 и усилителя 4, что позволяет проводить измерения сразу двух сигналов, проходящих по каналам *a* и *b*. Сигнал запуска формируется вспышкой излучения плазмы, создаваемой электронным пучком в диэлектрике. Электронный пучок с энергией $\epsilon_b = 400$ кэВ, током до 300 А при диаметре $\Phi = 1.5$ см и длительностью импульса $\tau_b = 30$ нс формировался ускорителем 14, падал на поверхности задней грани образца и создавал вблизи этой поверхности объемный заряд электронов. Ток пучка регулировался набором металлических сеток 15 с коэффициентом прозрачности каждой сетки $\approx 75\%$.

Перед измерениями влияния объемного заряда электронов на величину отраженного от задней грани луча лазера проводилась калибровка обоих каналов, для чего с помощью ослабителей 7 и 16 (набора светофильтров) выравнялись амплитуды сигналов, принимаемых фотоприемниками 8 и 13 от излучения плазмы, создаваемой электронным пучком. При этом луч лазера перекрывался заслонкой 22. Амплитуды сигналов He—Ne лазера от передней и задней граней образца в отсутствие электронного пучка выравнялись с помощью ослабителя 21.

3. На рис. 2 приведены результаты измерений и осциллограмма сигналов по каналам *a* и *b* во время облучения образца электронным пучком. Видно, что амплитуда сигнала по каналу *b* заметно больше. Изменение величины отраженного сигнала по каналу *b* при максимальных токах пучка достигает $\approx 30\%$. Уменьшение тока пучка с помощью набора сеток показало, что при ослаблении тока в 2, 4 и 8 раз разница в величинах сигналов по каналам *a* и *b* все еще наблюдалась. При этом сигнал по каналу *b* уменьшался по величине. При уменьшении же тока пучка в 10 раз и больше разница в амплитудах сигналов по каналам *a* и *b* исчезает, т. е. при малых плотностях тока пучка изменения коэффициента отражения лазерного луча от задней грани образца не регистрируется.

4. Наблюдаемое явление можно объяснить изменением диэлектрической проницаемости диэлектрика в оптической области частот из-за появления вблизи облучаемой пучком поверхности носителей заряда достаточно высокой плотности. Около этой поверхности на глубине порядка глубины проникновения пучка в диэлектрик образуется тонкий слой с достаточно резкой границей и измененной проницаемостью

$$\epsilon = \epsilon_0 - \frac{4\pi e^2 n}{m\omega^2}. \quad (1)$$

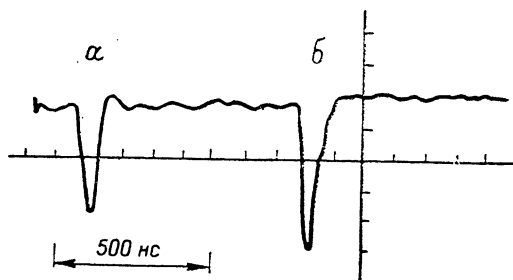


Рис. 2. Осциллограммы сигналов по каналам (а) и (б) при максимальной плотности тока пучка.

Масштаб по вертикальной оси 1 В/дел, скорость развертки 500 нс/дел.

Здесь n — плотность создаваемых пучком носителей заряда, $\epsilon_0 \approx 1.1-1.3$ — диэлектрическая проницаемость диэлектрика в отсутствие облучения, $\omega = 3 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ — частота излучения, m и e — масса и заряд электронов. Именно от этого слоя, с его внутренней поверхности, и происходит, по-видимому, отражение лазерного излучения. Для того чтобы изменение отражательной способности образца при этом было порядка наблюдаемого, поправка к ϵ_0 в (1) должна превышать величину 0.1—0.3, а диэлектрическая проницаемость в облученной области должна стать меньше единицы. Это означает, что плотность носителей $n \geq 3 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Объяснить такую плотность носителей без учета эффекта накопления поверхностного заряда электронов в диэлектрике при облучении пучком невозможно. Действительно, глубина проникновения электронов с $\gamma = 1 + \epsilon_b/mc^2$ в диэлектрике составляет

$$\Delta \approx 1.5 \cdot 10^{21} \frac{(\gamma - 1)^2}{\gamma N_0} \text{ см}, \quad (2)$$

где $N_0 \approx 3 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ — плотность атомов в диэлектрике.

При пренебрежении торможением электронов вследствие накопления заряда для наших параметров пучка $\Delta \approx 0.2$ мм. Поэтому, даже если вся энергия пучка идет на ионизацию атомов диэлектрика, плотность носителей при максимальной плотности тока пучка ($j_b = 100 \text{ А/см}^2$) не превышает значения

$$n = \frac{\epsilon_b j_b \tau_b}{3eI\Delta} \ll 10^{19} \text{ см}^{-3}. \quad (3)$$

Здесь n_b — плотность электронов пучка, u — их скорость, а $I \approx 10$ эВ — энергия ионизации атомов диэлектрика.

Таким образом, необходимо, чтобы электроны пучка тормозились в диэлектрике более интенсивно, застревая в очень тонком слое. Это может происходить, если на поверхности образца накопится в течение импульса пучка заряд достаточной плотности, чтобы затормозить электроны пучка. Поверхностная плотность такого заряда $n_s = n_b u \tau_b$, при максимальной плотности тока пучка $n_s \approx 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. На слое с толщиной $\Delta \approx 0.2$ мм такой заряд создает потенциал $U \approx 400$ кэВ, который способен полностью затормозить пучок. Вместе с тем из-за большой частоты столкновений электронов ($\nu_e \geq 10^{14} \text{ с}^{-1}$) носители заряда не могут покинуть диэлектрик, происходит накопление заряда и эффективное торможение электронов пучка. При этом более чем на порядок уменьшается толщина слоя (по сравнению с Δ), в которой застревают электроны, и более чем на порядок возрастает плотность носителей заряда (3), что уже достаточно для объяснения наших экспериментов.

Согласуется с экспериментами и оценка минимального тока пучка, когда еще наблюдается описанное выше явление. Действительно, при уменьшении тока пучка на порядок по сравнению с максимальным значением потенциал поверхностного заряда также упадет на порядок и станет несущественным. Торможение электронов перестает иметь место, и плотность носителей заряда, согласно (3), оказывается недостаточной для изменения отражательной способности облучаемой пучком поверхности.

Авторы благодарны А. Г. Шкварунцу и П. С. Стрелкову за ценные критические замечания.

Литература

- [1] Тягай В. А., Снитко О. В. Электроотражение света в полупроводниках. Киев: Наукова думка, 1980. 302 с.

Тбилисский
государственный университет
Физический факультет

Поступило в Редакцию
13 ноября 1987 г.
В окончательной редакции
22 февраля 1988 г.