

Silvaco TCAD器件仿真

器件特性获取方式及结果分析



主要内容

第一部分

电极接触特性

第二部分

器件特性的获取方式

第三部分

结果分析

第四部分

总结

1 电极接触特性

第一部分

电极接触特性 ←

第二部分

器件特性的获取方式

第三部分

结果分析

第四部分

总结

1.1 电极接触的定义

- 电极的接触状态由**contact**定义，参数有功函数参数，边界情形，寄生参数，电极连接参数，浮栅电容参数等
- 接触的类型有：
 - 功函数和肖特基接触
 - 设置电流边界
 - 外接电阻、电容和电导
 - 浮动接触
 - 电极短接
 - 电极开路



1.2 电极接触定义的例子

肖特基接触

```
contact name=gate workfunction=4.8
```

由接触材料定义肖特基接触

```
contact name=gate n.polysilicon
```

定义肖特基接触势垒的高度

```
contact name=anode workfunction=4.9 barrier alpha=1e-7
```

定义接触为电流边界

```
contact name=drain current
```



1.2 电解接触定义的例子（续）

接触时外电阻和电容定义

```
contact name=source resistance=50.0 capacitance=20e-12 \  
inductance=1e-6
```

接触的分布电阻

```
contact name=source con.resistance=0.01
```

电极间短接

```
contact name=base common=collector
```

gate1的电压始终等于gate2电极的电压加上0.1V

```
contact name=gate1 common=gate2 factor=0.1
```

开路接触的三种方法：

1、删掉电极； 2、定义很大的外电阻； 3、设置成电流边界，电流=0

2 器件特性的获取方式

第一部分

电极接触特性

第二部分

器件特性的获取方式 ←

第三部分

结果分析

第四部分

总结

2.1 器件特性获取的思路

- 实际情况下器件的特性都要通过仪器进行测试得到
- 测试结果通常是端电流/电压特性，可改变电信号（直流、交流、瞬态以及特征波形）、环境温度、光照、压力或磁场等得到端电流/电压随这些量的变化
- 仿真也以这种思路
- 本课程不关注S参数、霍尔效应、光电特性、单粒子翻转、噪声特性的仿真

2.2 直流特性

- 直流特性包括：IV特性、转移特性、Gummel Plot、输出特性、击穿特性

所有电极零偏

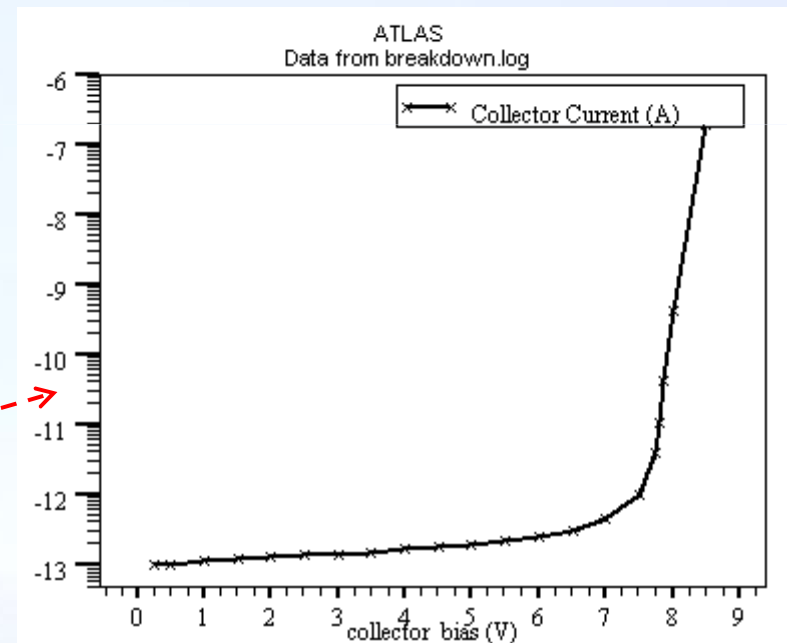
```
solve init
```

求解基极电压0.1V

```
solve vbase=0.1
```

扫描阳极电压 (0.05V~1V)

```
solve vanode=0.05 vstep=0.05 vfinal=1 \  
name=anode
```



2.2 直流特性（续）

```
solve init
```

```
solve vbase=0.05 vstep=0.05 vfinal=0.8 \  
    name=base
```

```
contact name=base current
```

```
#
```

```
solve ibase=1.e-6
```

```
save outf=bjt_ib_1.str master
```

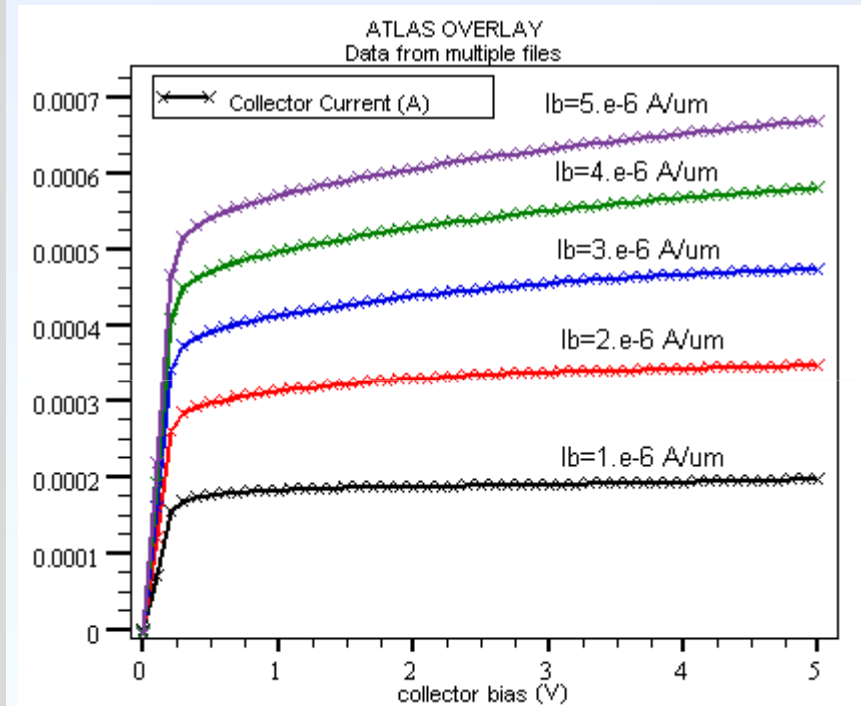
```
...
```

```
load inf=bjt_ib_1.str master
```

```
log outf=bjt_ib_1.log
```

```
solve vcollector=0.0 vstep=0.25\  
    vfinal=5.0 name=collector
```

```
...
```

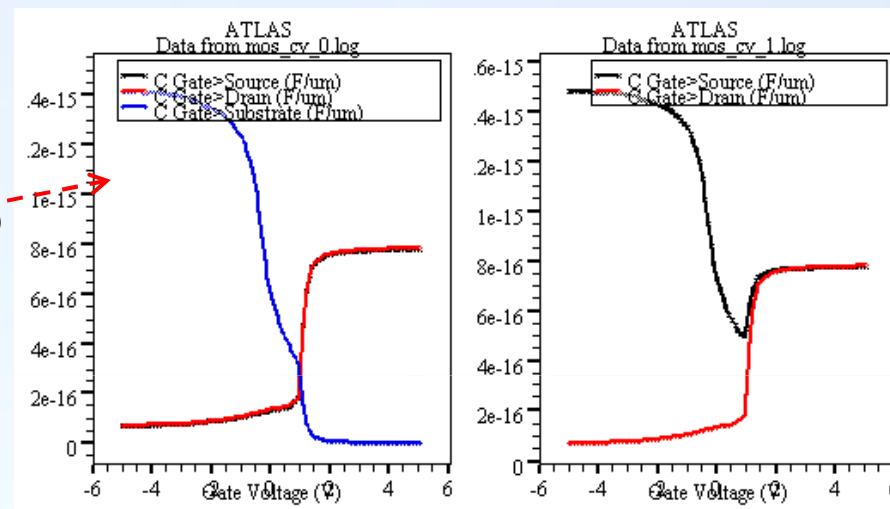


2.3 交流小信号特性

- 交流仿真可以得到器件的CV特性，交流增益和S参数

MOS的CV（频率不变，变直流偏置）

```
solve vgate=-5 vstep=0.1 vfinal=5.0 \  
name=gate ac freq=1e6
```



频率从1GHz增加到11GHz，以1GHz为步长

```
solve vbase=0.7 ac freq=1e9 fstep=1e9 nstep=10
```

从1MHz开始，频率翻倍，10次后为 $2^{10} \times 1\text{MHz} = 1.024\text{GHz}$

```
solve vbase=0.7 ac freq=1e6 fstep=2 mult.f nstep=10
```

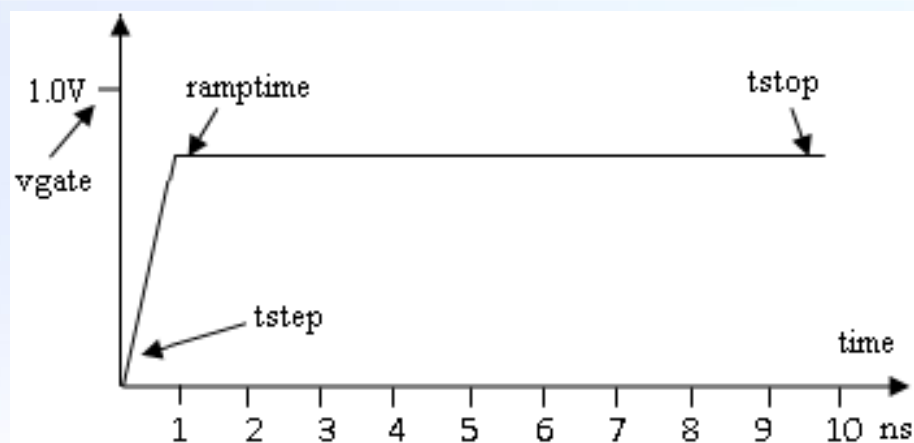
2.4 瞬态特性

- 瞬态仿真用于时间相关的测试或响应

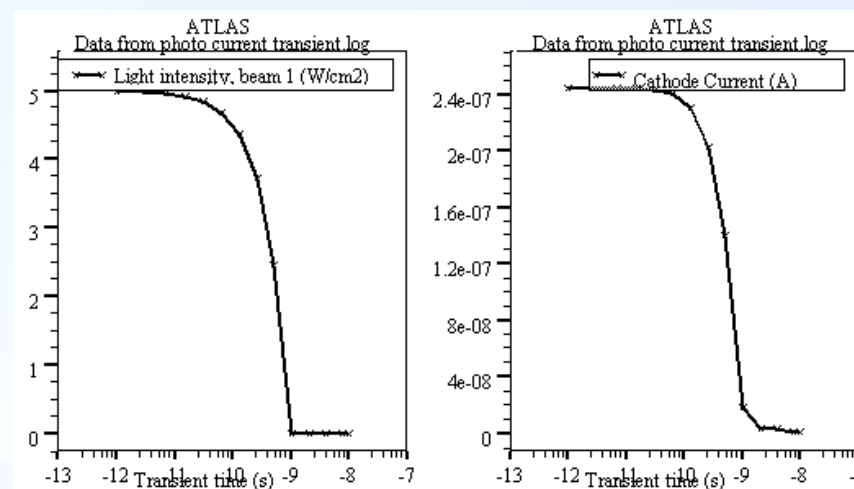
在ramptime时间内栅压加到1.0V，然后保持直到tstop

```
solve vgate=1.0 ramptime=1e-9 tstep=0.1e-9 tstop=1e-8
```

瞬态参数示意图



光电探测器的瞬态响应



2.5 Curvetrace

- Curvetrace可以设置复杂的扫描方式，自动得到I-V特性
- Curvetrace和solve联合使用可用于击穿电压仿真、CMOS闩锁仿真和二次击穿仿真

```
go atlas
```

```
init infile=IGBT.str
```

```
...
```

```
curvetrace contr.name=collector step.init=0.05 \  
  nextst.ratio=1.1 mincur=1e-13 end.val=1e-3 \  
  curr.cont
```

```
solve init
```

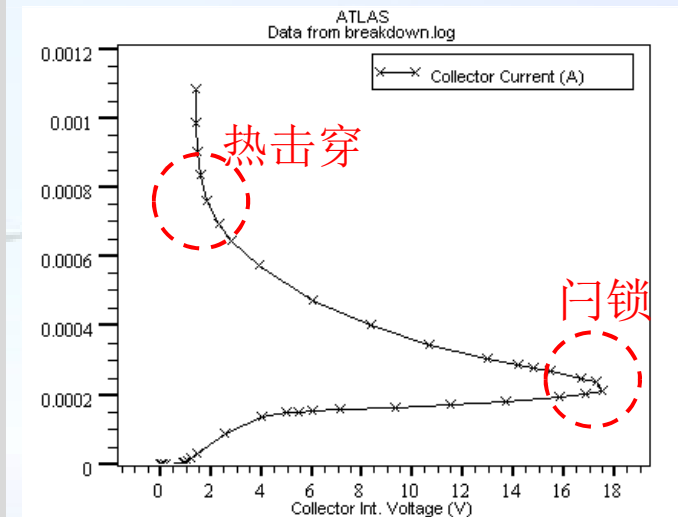
```
solve vgate=0.1 vstep=0.1 vfinal=10 name=gate
```

```
log outfile=breakdown.log
```

```
solve curvetrace
```

```
tonyplot breakdown.log
```

IGBT闩锁效应仿真



2.6 热学特性

- 热特性仿真时模型必须指定lat.temp，且至少要定义一个热接触，热接触状态由thermcontact描述

thermcontact num=<n> <position> [ext.temper=<n>] [alpha=<n>]

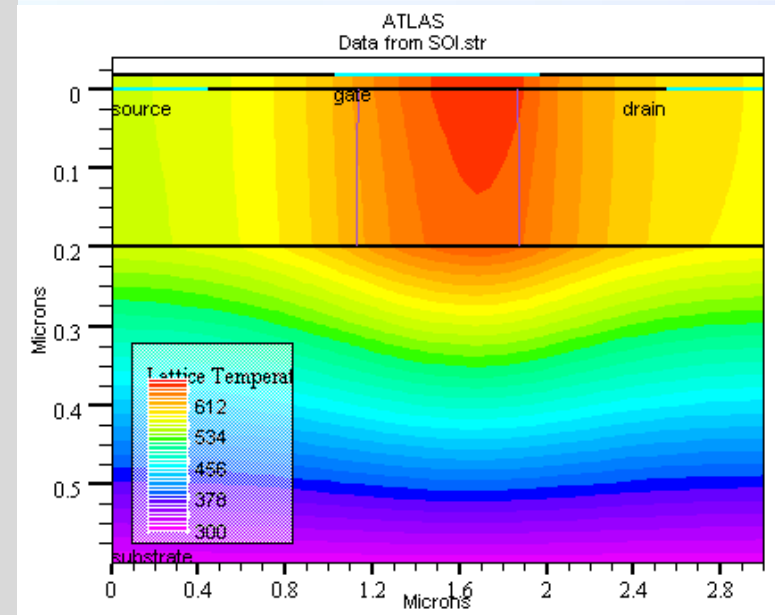
晶格自加热仿真时SOI的热分布，Vgate=10.V，Vdrain=3.0V

```
go atlas
init infile=SOI_pre.str

models arora consrh auger bgn fldmob lat.temp
impact selb

thermcontact number=1 y.min=0.6 \
    ext.temper=300

solve vgate=0.5
solve vdrain=0.1 vstep=0.1 vfinal=5 name=drain
save outfile=SOI.str
```



2.7 计算方法

```
method gummel newton trap itlimit=20 maxtrap=6
```

需要注意的几个地方：

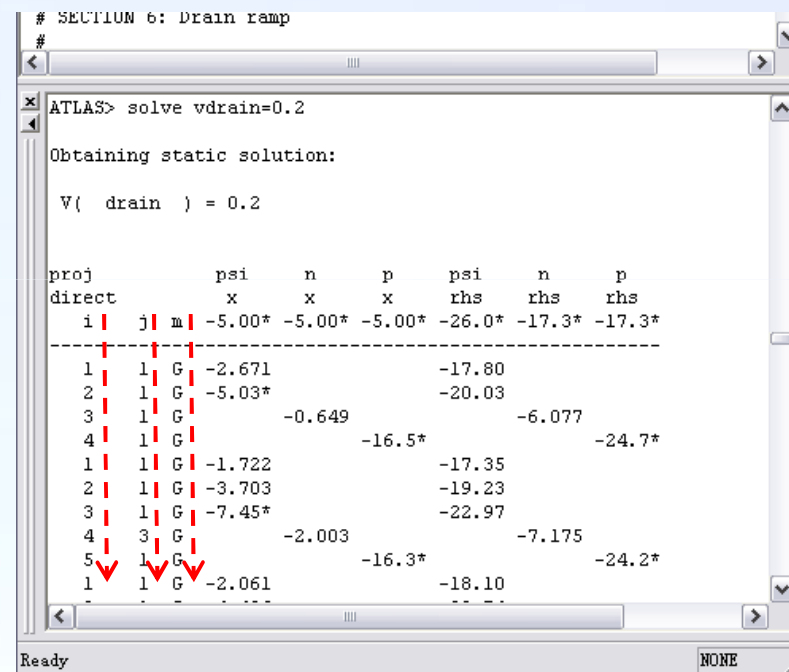
itlimit是迭代的次数上限；

maxtrap设置步长折回的次数；

电流边界情形不能用gummel

报错信息：

“trap times more than 4 times”



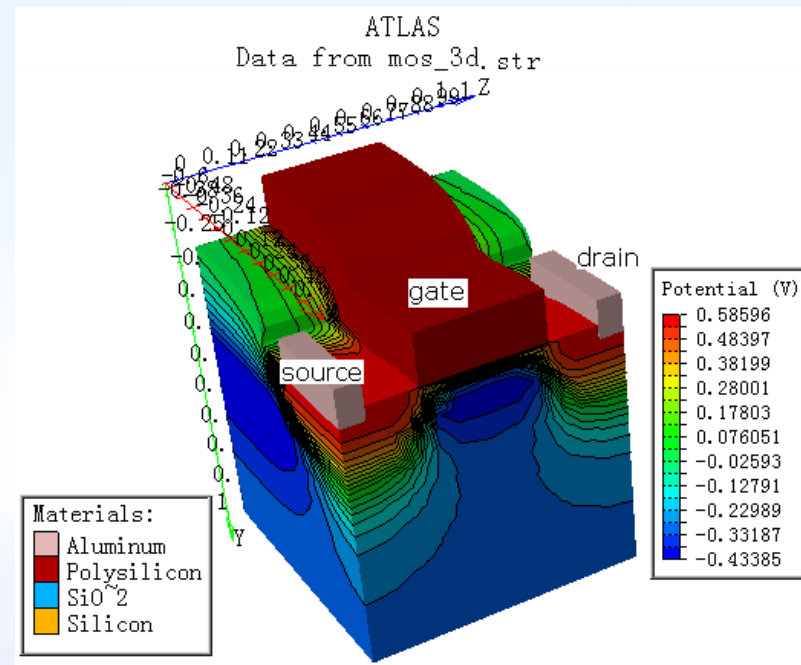
```
# SECTION 6: Drain ramp
#
ATLAS> solve vdrain=0.2
Obtaining static solution:
V( drain ) = 0.2
```

proj			psi	n	p	psi	n	p
direct	i	j	x	x	x	rhs	rhs	rhs
	1	1	-5.00*	-5.00*	-5.00*	-26.0*	-17.3*	-17.3*
1	1	1	-2.671			-17.80		
2	1	1	-5.03*			-20.03		
3	1	1		-0.649			-6.077	
4	1	1			-16.5*			-24.7*
1	1	1	-1.722			-17.35		
2	1	1	-3.703			-19.23		
3	1	1	-7.45*			-22.97		
4	3	1		-2.003			-7.175	
5	1	1			-16.3*			-24.2*
1	1	1	-2.061			-18.10		

Ready NONE

2.8 三维器件仿真

- 三维器件仿真流程和语法可参照二维仿真
- 位置坐标是三维数据
- 物理模型少数会有差别



3 结果分析

第一部分

电极接触特性

第二部分

器件特性的获取方式

第三部分

结果分析 ←

第四部分

总结

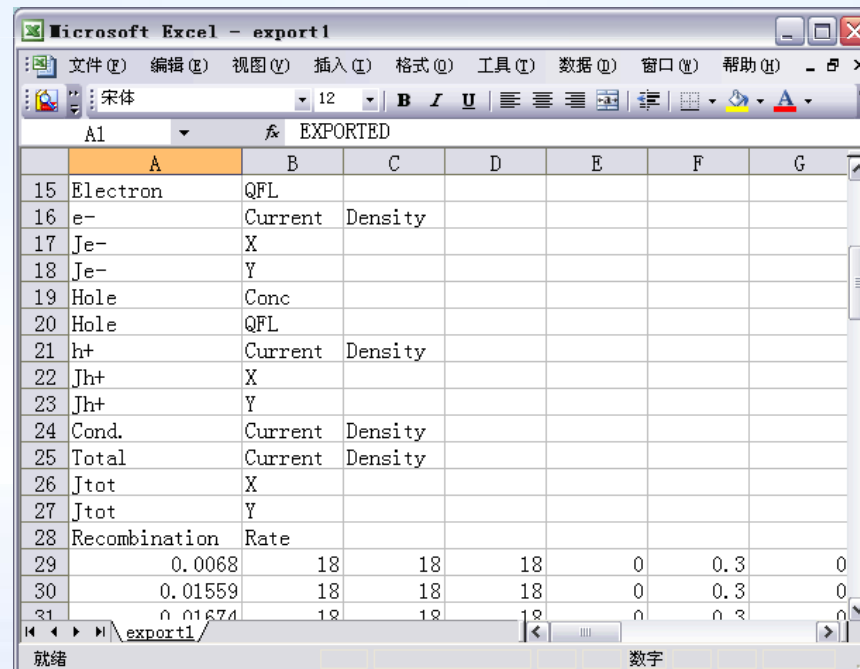
3 结果分析

- 结果的类型
 - 实时输出 (output.txt)
 - 结构文件 (*.str)
 - 日志文件 (*.log)
- 结果分析
 - Tonyplot显示
 - 导出数据



3.1 结构文件导出数据

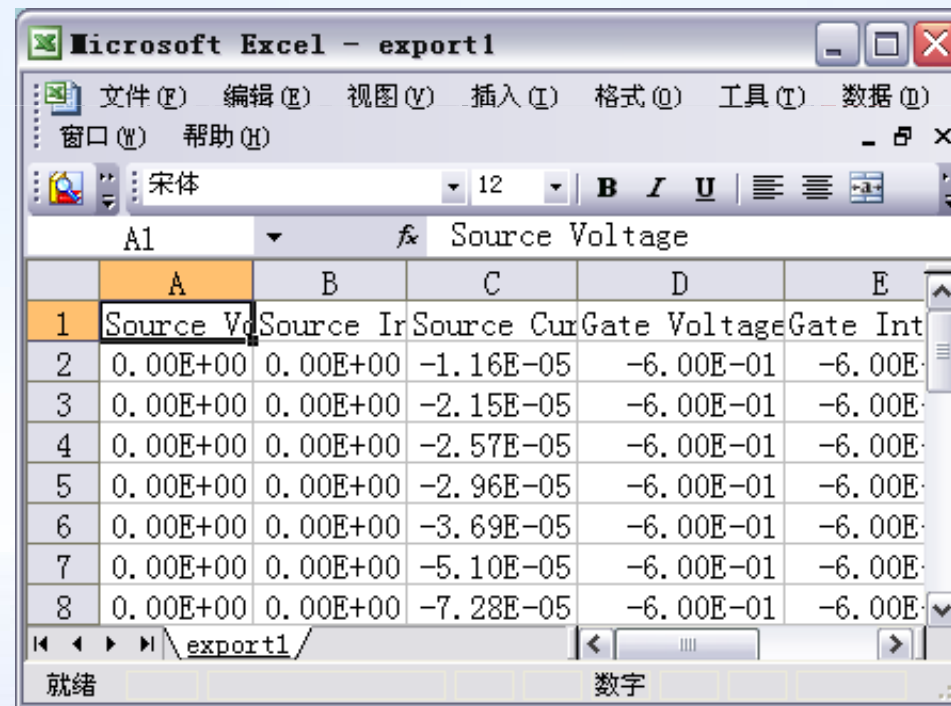
- 1、Cutline
- 2、File>Export
- 3、Format选择Tonyplot User Data
- 4、路径，文件名，OK!



	A	B	C	D	E	F	G
15	Electron	QFL					
16	e-	Current	Density				
17	Je-	X					
18	Je-	Y					
19	Hole	Conc					
20	Hole	QFL					
21	h+	Current	Density				
22	Jh+	X					
23	Jh+	Y					
24	Cond.	Current	Density				
25	Total	Current	Density				
26	Jtot	X					
27	Jtot	Y					
28	Recombination	Rate					
29		0.0068	18	18	18	0	0.3
30		0.01559	18	18	18	0	0.3
31		0.01674	18	18	18	0	0.3

3.2 日志文件导出数据

- 1、File>Export
- 2、Format选择Comma Separated Values
- 3、路径，文件名，OK!



The screenshot shows a Microsoft Excel window titled "Microsoft Excel - export1". The menu bar includes "文件(F)", "编辑(E)", "视图(V)", "插入(I)", "格式(O)", "工具(T)", "数据(D)", "窗口(W)", and "帮助(H)". The toolbar shows the font "宋体", size "12", and bold, italic, and underline options. The active cell is A1, containing the formula "Source Voltage". The table below shows the data:

	A	B	C	D	E
1	Source Vd	Source Ir	Source Cur	Gate Voltage	Gate Int
2	0.00E+00	0.00E+00	-1.16E-05	-6.00E-01	-6.00E-
3	0.00E+00	0.00E+00	-2.15E-05	-6.00E-01	-6.00E-
4	0.00E+00	0.00E+00	-2.57E-05	-6.00E-01	-6.00E-
5	0.00E+00	0.00E+00	-2.96E-05	-6.00E-01	-6.00E-
6	0.00E+00	0.00E+00	-3.69E-05	-6.00E-01	-6.00E-
7	0.00E+00	0.00E+00	-5.10E-05	-6.00E-01	-6.00E-
8	0.00E+00	0.00E+00	-7.28E-05	-6.00E-01	-6.00E-

The status bar at the bottom shows "就绪" (Ready) and "数字" (Numbers).

4 总结

- 本课程的内容：
 - 电极接触特性
 - 器件特性的获取方式
 - 器件特性的获取思路、直流特性、交流小信号特性、瞬态特性、**curvetrace**、热学特性、计算方法、三维器件仿真
 - 结果分析
- 下一课主要内容
 - 电路仿真模块
 - 电路仿真流程

欢迎提问

谢谢！

